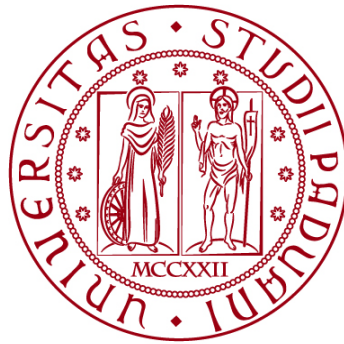


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

**ANALISI DI INTEROPERABILITÀ TRA MODELLI BIM E
AMBIENTI DI SIMULAZIONE ENERGETICA: STUDIO DELLO
STANDARD IFC PER LA PROGETTAZIONE IMPIANTISTICA**

Relatore:
Prof. CARLO ZANCHETTA

Laureanda:
VALENTINA LEVORATO
1151769

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

SOMMARIO

ABSTRACT	1
INTRODUZIONE.....	3
CAPITOLO PRIMO SIMULAZIONE E DIAGNOSI ENERGETICA: ASPETTI DISCIPLINARI E PROTOCOLLI OPERATIVI	5
1 LA SIMULAZIONE ENERGETICA	5
1.1 <i>Simulazione energetica in regime stazionario e/o in regime semi-stazionario</i>	6
1.2 <i>Simulazione energetica in regime dinamico</i>	7
2 LA DIAGNOSI ENERGETICA	8
2.1 <i>Diagnosi di I livello: leggera</i>	10
2.2 <i>Diagnosi di II livello: standard</i>	10
2.3 <i>Diagnosi di III livello: dettagliata</i>	10
2.4 <i>Fasi del processo di diagnosi</i>	11
2.5 <i>Differenza tra Diagnosi energetica e certificazione energetica (APE)</i>	11
3 IL QUADRO NORMATIVO ENERGETICO	13
3.1 <i>Quadro normativo energetico europeo</i>	13
3.2 <i>Quadro normativo energetico italiano</i>	17
4 VALIDAZIONE DEI SOFTWARE PER LA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI	31
CAPITOLO SECONDO L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO: COMPONENTI E LORO DIMENSIONAMENTO	35
1 L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO	35
1.1 <i>Generazione di calore</i>	37
1.2 <i>Distribuzione del calore</i>	38
1.3 <i>Trasferimento del calore</i>	42
1.4 <i>Dimensionamento dell'impianto di riscaldamento</i>	47
1.5 <i>Impianto centralizzato e impianto autonomo</i>	50
1.6 <i>Riferimenti normativi</i>	51
CAPITOLO TERZO STRUMENTI OPERATIVI PER LA DIAGNOSI ENERGETICA	53
1 INTRODUZIONE.....	53
2 EDILCLIMA	54
2.1 <i>EC700- Calcolo prestazioni energetiche degli edifici</i>	54
2.2 <i>Interoperabilità con software di BIM authoring</i>	57
3 ALTRI SOFTWARE	59
3.1 <i>Energy plus</i>	60
3.2 <i>Mc4Suite</i>	62
3.3 <i>Green Building Studio</i>	62
3.4 <i>TerMus</i>	63
3.5 <i>Termolog</i>	63
CAPITOLO QUARTO PROTOCOLLI PER LO SCAMBIO INFORMATIVO.....	65
1 L'INTEROPERABILITÀ.....	65
2 I FORMATI APERTI	66
3 INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)	66
3.1 <i>Formati di file</i>	69
3.2 <i>Model View Definition (MDV)</i>	69

3.3	<i>Linguaggio EXPRESS e file di testo</i>	73
3.4	<i>Architettura dello schema di dati IFC</i>	75
4	GREEN BUILDING EXTREME MARKUP LANGUAGE (GBXML)	81
4.1	<i>Descrizione dello schema dati</i>	81
5	IFC E GBXML A CONFRONTO	83
6	IFC PER L'ANALISI ENERGETICA.....	85
6.1	<i>Geometria dell'involucro</i>	87
6.2	<i>Model View Definition</i>	87
6.3	<i>Inserimento di vani e zone termiche</i>	88
6.4	<i>Carichi interni</i>	88
6.5	<i>Materiali</i>	88
6.6	<i>Ponti termici e ombreggiamenti</i>	89
6.7	<i>Sistemi HVAC</i>	89
6.8	<i>Space Boundary</i>	89
CAPITOLO QUINTO METODOLOGIA E CASO STUDIO		92
1	METODOLOGIA	92
2	CASO STUDIO.....	92
2.1	<i>Modello architettonico</i>	95
2.2	<i>Semplificazione del modello</i>	99
2.3	<i>Posizionamento</i>	100
2.4	<i>Gestione degli elementi costruttivi</i>	102
2.5	<i>Gestione di vani e zone termiche</i>	107
2.6	<i>Impianti</i>	114
2.7	<i>Ponti termici e ombreggiamenti</i>	118
2.8	<i>Parametri IFC</i>	119
2.9	<i>Classificazione OmniClass</i>	123
2.10	<i>Model View Definition</i>	126
3	DIAGNOSI ENERGETICA	132
3.1	<i>Importazione tramite IFC</i>	132
3.2	<i>Importazione tramite EC770</i>	141
4	INTEROPERABILITÀ TRA SOFTWARE A CONFRONTO.....	147
4.1	<i>TerMus</i>	147
4.2	<i>Termolog</i>	148
CAPITOLO SESTO CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI		150
1	CONCLUSIONI	150
2	SVILUPPI FUTURI	153
APPENDICI		154
APPENDICE 1 – ABACO DEI LOCALI		154
APPENDICE 2 – ABACO DEI VANI		159
BIBLIOGRAFIA		166
INDICE DELLE TABELLE		173
INDICE ICONOGRAFICO		175

La presente tesi ha come obiettivo quello di analizzare nel dettaglio il processo che dalla modellazione BIM porta all'analisi energetica del modello BEM, mettendone in risalto le potenzialità, i vantaggi e le criticità dal punto di vista della validazione dei risultati e dell'interoperabilità tra i software considerati.

Lo studio si focalizza prevalentemente sulla tematica della progettazione impiantistica e si ripromette di analizzare quali dati e informazioni, utili all'ambito energetico, possano essere trasmessi da un programma di BIM authoring ad un ambiente per la simulazione energetica.

Nell'elaborato si è svolta un'iniziale analisi sullo stato dell'arte in cui sono stati raccolti aspetti disciplinari e operativi relativi agli ambiti di interesse. In un primo studio si sono ricercate le caratteristiche proprie di simulazione e diagnosi energetica. È stata poi approfondita la differenza tra simulazione in regime stazionario, semi-stazionario e dinamico, con particolare attenzione al quadro normativo di riferimento.

Nel secondo capitolo, si è trattata la tematica degli impianti, fondamentali per redigere un'analisi accurata in un ambiente di audit energetico. In particolare si è studiato l'impianto di riscaldamento: come questo genera, distribuisce e trasferisce il calore, i suoi componenti e il dimensionamento dell'intero sistema.

Il capitolo successivo ha come focus la valutazione dei software che attualmente vengono utilizzati per le analisi energetiche, ponendo l'attenzione sulle differenze tra questi e i loro principali vantaggi e svantaggi in termini di interoperabilità. In particolare è stato analizzato il programma EC700-Calcolo prestazioni energetiche degli edifici, ed il suo grado di dialogo con Autodesk Revit, attraverso le due possibili metodologie applicabili: esportazione tramite IFC e utilizzo del plug-in EC770-*Integrated Design for Revit*.

Nel quarto capitolo è presentata un'analisi di letteratura sui principali formati utilizzati dai software per la simulazione energetica: IFC e gbXML. Presentando le caratteristiche proprie di ognuno dei due standard, nella seconda parte del capitolo si sono individuate le proprietà che l'IFC, formato di riferimento per l'elaborato, deve possedere per essere adatto all'importazione in un software per l'analisi energetica.

Lo studio prosegue, dunque, con il capitolo dedicato alla sperimentazione, che condensa le conoscenze acquisite nei capitoli precedenti, nell'applicazione della metodologia individuata ad un caso studio reale. Qui vengono definite le caratteristiche proprie del formato IFC per la creazione di uno standard utile all'esportazione di un file in un ambiente di simulazione energetica. Viene quindi effettuata una diagnosi energetica per osservare quali dati inseriti nel software di BIM authoring vengono riconosciuti da EC700 e permettono di velocizzare l'utilizzo del programma. Nel capitolo in questione si è svolto anche un confronto tra i risultati ottenuti dall'importazione in EC700 del file IFC e quelli conseguiti utilizzando il plug-in EC770: sono stati riconosciuti vantaggi e svantaggi delle due

modalità operative e dei parametri legati al procedimento applicato. Nell'ultimo paragrafo si è poi voluto paragonare il grado di interoperabilità tra modelli BIM modellati in Revit ed esportati in IFC e diversi software per l'analisi energetica. Sono quindi stati indagati quali parametri e proprietà del formato aperto in questione riuscissero a riconoscere TerMus e Termolog.

Nel capitolo conclusivo sono poi stati analizzati i risultati ottenuti e le conseguenti osservazioni che conducono l'elaborato alle considerazioni finali. Analizzando le informazioni che EC700 riconosce, si sono raccolti una serie di dati relativi agli impianti che il programma di simulazione energetica potrebbe estrapolare direttamente da programmi di modellazione quali Revit, rendendo più efficace il loro dialogo e permettendo così di estendere il concetto di interoperabilità anche alla tematica impiantistica.

INTRODUZIONE

Il concetto di efficienza energetica è di fondamentale importanza per il raggiungimento degli obiettivi stabiliti dall'Unione Europea, per affrontare al meglio l'attuale fase di transizione energetica alla quale stiamo assistendo e per la salvaguardia ambientale. Essa permette una diminuzione delle emissioni di gas serra e il contenimento dei cambiamenti climatici. Per aumentarla e ridurre i consumi degli edifici, è necessario un approccio finalizzato all'ottimizzazione del sistema edificio-impianto, coinvolgendo l'involucro edilizio, gli impianti di climatizzazione e gli altri servizi energetici presenti nella struttura.

Dal punto di vista energetico, in particolare, durante l'intera fase progettuale i progettisti si concentrano prevalentemente sull'analisi dettagliata della forma di un edificio, del contesto all'interno del quale esso è inserito, dei materiali che lo caratterizzano e di tutto ciò che riguarda i sistemi elettrico, meccanico ed idraulico. Ad oggi, per giungere allo scopo finale dell'efficienza energetica, lo studio di quelle che sono le prestazioni energetiche proprie dell'edificio oggetto di analisi deve essere una priorità.

Per poter dimensionare l'intero edificio al meglio, evitando sprechi e consumi eccessivi, è necessario quindi prendere in considerazione la digitalizzazione della progettazione che coinvolge soggetti provenienti da ambiti professionali differenti che cooperano per la riuscita di un progetto inserendovi all'interno svariate informazioni di natura geometrica, strutturale ed energetica. È quindi fondamentale una collaborazione efficace e organizzata non solo tra tutte le figure professionali chiamate in causa ma anche tra i software utilizzati.

Lo scopo può essere raggiunto attraverso l'uso di formati aperti come per esempio IFC o gbXML. Per poter esportare informazioni attraverso questi formati e poterli riconoscere in ambienti per la simulazione energetica è necessario l'inserimento di determinate proprietà e la standardizzazione del processo necessario a produrre tale file di esportazione. Questo utilizzo dei dati e il dialogo che ne può derivare tra software può abbattere il numero degli errori che si possono produrre e ridurre il tempo necessario a portare a termine una simulazione in ambito energetico.

SIMULAZIONE E DIAGNOSI ENERGETICA: ASPETTI DISCIPLINARI E PROTOCOLLI OPERATIVI

1 LA SIMULAZIONE ENERGETICA

L'edificio è un sistema complesso e i fenomeni energetici che si sviluppano al suo interno riguardano l'involucro, gli impianti, la destinazione d'uso e la presenza di un numero elevato di macchinari o persone che producono calore. Tenere in considerazione tali fenomeni, differenti e in continua relazione tra loro, nella progettazione di un immobile permette di ottimizzare le scelte risparmiando sui costi di costruzione, di manutenzione e sui consumi.

L'attenzione alle problematiche ambientali, sviluppatasi anche nel settore edilizio, ha spinto la maggior parte dei Paesi ad adoperarsi per il contenimento dei consumi energetici; in Italia sono stati emanati una serie di strumenti normativi che hanno portato, per tutti gli edifici in procinto di realizzazione e per quelli soggetti ad importanti interventi di riqualificazione, all'obbligo del calcolo del fabbisogno energetico normalizzato dell'edificio e alla successiva verifica della rispondenza di quest'ultimo ai limiti imposti dalla legge. Il calcolo del fabbisogno energetico di un edificio indica la quantità di energia necessaria per assicurare al suo interno un clima ed un comfort tali da garantire le condizioni di benessere degli occupanti e fornire loro alcuni servizi come la climatizzazione estiva e invernale, la ventilazione, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione. L'attività di analisi energetica, necessaria per verificare la rispondenza ai requisiti prestazionali cogenti, e l'attestato di prestazione energetica si abbinano quindi al concetto di simulazione energetica degli edifici.¹

La simulazione energetica consiste nella realizzazione di un modello che, utilizzando degli strumenti avanzati, riesce a descrivere al meglio le caratteristiche dell'edificio e dell'impianto studiato così da poter acquisire le informazioni relative al comportamento termofisico degli elementi se sottoposti a fenomeni differenti. L'obiettivo principale della simulazione energetica non è tanto quello di prevedere esattamente i consumi dell'edificio analizzato, bensì fornire dati utili a capirne meglio il comportamento in modo da poter confrontare diverse strategie progettuali e scegliere quella che garantisce, a parità di comfort, il minor utilizzo di energia.

Ad oggi, sono disponibili diverse procedure per il calcolo, con metodologie più o meno dettagliate, a cui corrispondono altrettanti software implementati con tali procedure. Grazie

¹ Denza A., *Simulazione dinamica energetica degli edifici*. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>.

allo sviluppo di questa disciplina è possibile classificare in due categorie fondamentali i sistemi di calcolo utilizzati in base alla tipologia di regime in cui viene condotta la simulazione energetica:

- simulazione energetica in regime stazionario e/o in regime semi-stazionario;
- simulazione energetica in regime dinamico.

La differenziazione sopracitata riguarda la diversa tipologia di semplificazione adottata nella rappresentazione fisica dell'edificio e, soprattutto, l'unità oraria utilizzata. È proprio quest'ultima la principale differenza tra i due sistemi di calcolo: i software tradizionali calcolano i consumi e le prestazioni secondo un regime stazionario (stagionale) o semi-stazionario (mensile), mentre quelli che si occupano di simulazione dinamica calcolano i dati secondo un intervallo temporale più limitato che può arrivare anche al minuto (Figura 1.1).²

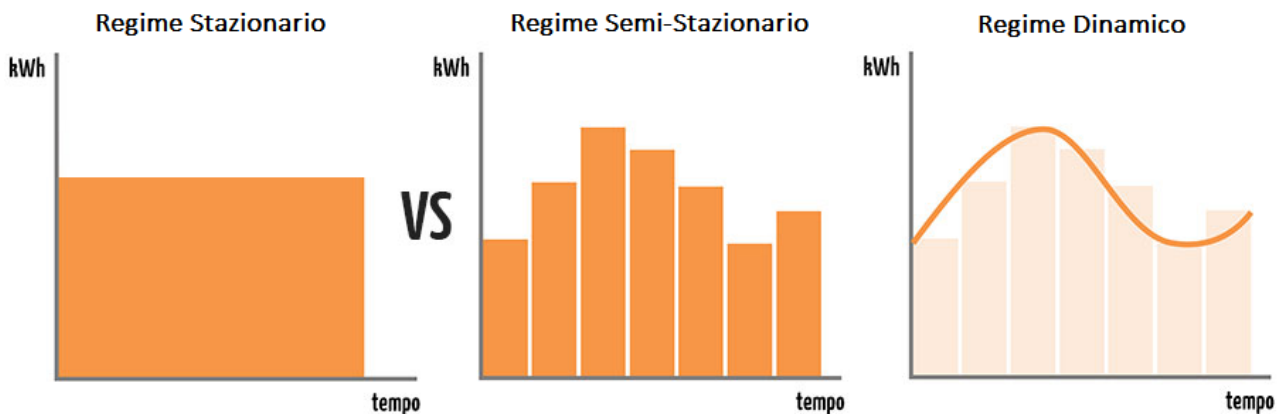


Figura 1.1: Rappresentazione schematica delle diverse tipologie di analisi. Da sinistra: stazionario-semi stazionario-dinamico.

1.1 Simulazione energetica in regime stazionario e/o in regime semi-stazionario

La simulazione energetica in regime stazionario adotta un intervallo temporale stagionale (stagione di riscaldamento o di raffrescamento), mentre per la simulazione energetica semi-stazionaria tale intervallo coincide con un singolo mese. Questa approssimazione temporale è una semplificazione che viene adottata per rendere più scorrevole l'esecuzione dell'analisi, portando a delle approssimazioni sulla modellazione e sull'utilizzo dei parametri presi in esame.

Il modello numerico appare quindi semplificato e prevede un trasferimento di energia tra edificio ed ambiente esterno in condizioni fisse. Il bilancio energetico viene dunque portato a termine unicamente come un confronto tra le temperature interne ed esterne dell'edificio, avendo come elemento di separazione una parete con una trasmittanza termica definita e

² Gallotta A., *Simulazioni energetiche: stazionarie, semi-stazionarie, dinamiche*, 20 giugno 2015. Consultabile in: <https://www.architetturaecosostenibile.it/green-life/curiosita-ecosostenibili/simulazioni-energetiche-stazionarie-dinamiche-403>.

costante nel tempo e mantenendo costanti all'interno dell'intervallo temporale di simulazione sia le modalità di utilizzo dell'edificio sia le condizioni climatiche. Si tratta in sostanza di un calcolo della potenza media trasferita attraverso l'involucro in base a condizioni al contorno medie (stagionali o mensili) e ad apporti termici medi. Moltiplicando il valore ottenuto per il periodo di tempo dell'intervallo temporale di simulazione e, nel caso di simulazione semi-stazionaria, sommando i contributi di tutti gli intervalli (mesi), si ottiene il fabbisogno energetico dell'involucro edilizio. Da quest'ultimo è possibile calcolare anche il consumo energetico, secondo i due regimi, utilizzando dei fattori di correlazione che tengono conto del sistema impiantistico utilizzato. Questi due tipi di simulazioni sono spesso utilizzate nelle fasi iniziali della progettazione per aver un'idea di base sulle caratteristiche dell'edificio oppure per effettuare dei confronti tra edifici.³

1.2 Simulazione energetica in regime dinamico

I software utilizzati per l'analisi secondo regime dinamico hanno un livello di precisione molto elevato poiché calcolano i dati secondo un intervallo temporale limitato, che arriva anche al minuto, e considerano il fattore di inerzia termica: la capacità dell'immobile di immagazzinare calore. I calcoli eseguiti non saranno quindi approssimativi ma si discosteranno di poco dalle condizioni reali dell'edificio; ciò è reso possibile anche dalle premesse proprie di ogni operazione: le condizioni di partenza nei calcoli energetici, per ciascun intervallo di tempo, sono il risultato dei calcoli condotti per l'intervallo di tempo precedente. Questa considerazione permette di valutare la temperatura interna dei locali e gli impianti termici non più come dei dati imposti, ma come i risultati della simulazione energetica. È possibile, quindi, inserire l'impianto e osservare come fluttua la temperatura interna dei locali al variare delle forzanti del sistema. Queste non sono fissate, come nel caso precedente, ma programmate nel tempo attraverso l'utilizzo di schede temporali (occupazione, apporti gratuiti, ecc.) e di file climatici ricavati da elaborazioni statistiche. L'enorme numero di dati processati, unito alla caratteristica intrinseca delle metodologie dinamiche di avere intervalli temporali di simulazione molto brevi, comporta oneri di calcolo molto elevati che oggi sono eseguibili attraverso software avanzati in tempi ragionevoli.

L'evoluzione dei parametri interni dei locali è seguita anche dagli impianti in maniera continuativa: questo si attiva, seguendo le curve prestazionali e di rendimento funzione delle condizioni operative proprie dell'intervallo di tempo di simulazione, solo quando non sono soddisfatte le temperature di comfort o di set-point. L'impianto quindi dipende tanto dalla sua potenza quanto dalle condizioni in cui esso opera.

La simulazione energetica, condotta secondo regime dinamico, fornisce perciò

³ Di Giorgio D., *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici nZEB*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>.

informazioni dettagliate sul modo in cui il sistema edificio-impianto reagisce alle sollecitazioni sia interne che esterne fornendo dati energetici di dispersione attraverso l'involucro e di consumo combustibile che, integrati su tutto il periodo di simulazione, danno come risultati il fabbisogno energetico e il consumo energetico.

La precisione che è propria di questo tipo di analisi la rende ottimale per le attività di progettazione avanzata come la diagnosi energetica, la realizzazione di edifici a energia quasi zero, nZEB (*nearly Zero Energy Building*), e lo studio bioclimatico.⁴

La bioclimatica consiste nella valorizzazione degli elementi atmosferici del sito di edificazione al fine di ottenere buone condizioni di comfort all'interno degli spazi abitabili a prescindere dall'utilizzo di sistemi impiantistici di climatizzazione. Risultano quindi di fondamentale importanza: l'orientamento dell'edificio, il grado di coibentazione dell'involucro edilizio, la massa termica del singolo ambiente, il controllo della radiazione solare entrante dai componenti trasparenti dell'involucro, la ventilazione naturale e l'umidificazione. Lo sfruttamento della ventilazione naturale, ad esempio, offre sia la possibilità di raffrescamento naturale diurno, sia la possibilità di smaltimento notturno del calore immagazzinato nella struttura durante il giorno. Il posizionamento di bocchette di ventilazione, l'altezza e la disposizione delle finestre e la previsione delle logiche comportamentali degli occupanti, sono accorgimenti che, pur modificando l'aspetto architettonico, possono migliorare notevolmente le condizioni di comfort interno.⁵

2 LA DIAGNOSI ENERGETICA

La diagnosi energetica degli edifici è ad oggi un tema di notevole interesse in ragione dell'attuale contesto legislativo, europeo ed italiano. Secondo quanto afferma il Decreto Legislativo 115/2008, per diagnosi energetica, o audit energetico, si intende quella procedura sistematica volta a fornire un'analisi energetica dell'edificio, a simulare possibili interventi di risparmio, ad identificare le prestazioni raggiungibili a valle degli interventi, a quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati. È quindi una pratica necessaria per giungere alla successiva progettazione dell'edificio o di un suo intervento.⁶ Tale decreto prevede l'obbligo di diagnosi energetiche degli edifici pubblici o ad uso pubblico in caso di interventi di ristrutturazione degli impianti termici o edilizie che

⁴ Di Giorgio D., *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici Nzeb*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>.

⁵ Di Giorgio D., *Simulazione Energetica Dinamica: 16 motivi per cui devi assolutamente utilizzarla*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/06/09/simulazione-energetica-dinamica-16-motivi-per-utilizzarla.html>.

⁶ Soma D., *La diagnosi energetica con il software Edilclima: i punti di forza ed il valore aggiunto*. Consultabile in <https://webapi.ingegno-web.it/immagini/file/byname?name=EDILCLIMA%20DIAGNOSI%20ENERGETICHE.pdf>.

riguardino almeno il 15% della superficie esterna dell'involucro edilizio che racchiude il volume lordo riscaldato.

Per disciplinare l'analisi e le modalità con cui gli operatori potranno eseguirla è stato redatto da AICARR (Associazione Italiana Condizionamento dell'Aria Riscaldamento e Refrigerazione) un documento tecnico denominato "Linee guida per l'efficienza energetica". La diagnosi energetica è una procedura che richiede l'intervento di un operatore esperto e qualificato, definito anche REDE (referente della diagnosi), il quale ha il compito di definire la prestazione energetica dell'edificio e proporre concreti interventi di miglioramento.⁷ La prestazione energetica dell'edificio, con l'entrata in vigore del Decreto Ministeriale del 26 giugno 2015, è espressa tramite l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile (*Global Energy Performance*- $EP_{gl,nren}$) e corrisponde all'energia totale consumata dall'edificio climatizzato per metro quadrato di superficie ogni anno. L'indice $EP_{gl,nren}$ è la somma dell'energia derivante da:

- la climatizzazione estiva;
- la climatizzazione invernale;
- la modalità di produzione dell'acqua sanitaria;
- la ventilazione;
- l'illuminazione artificiale;
- il trasporto di persone e cose.⁸

La funzione di referente della diagnosi può essere svolta da un singolo professionista, una società di servizi, da un Ente Pubblico competente o da un team di lavoro. Prima che il REDE possa procedere è necessario che concordi con il committente il livello di dettaglio con cui l'analisi verrà condotta; il grado di accuratezza con cui si svolgerà il processo sarà strettamente dipendente dall'obiettivo e dalle esigenze dell'utente finale.⁹

Allo stato attuale per eseguire la diagnosi energetica degli edifici, si deve fare riferimento alle seguenti norme tecniche:

- UNI CEI EN 16247-1: 2012 "Diagnosi Energetiche - Parte 1: Requisiti generali", che definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica comune a tutte le diagnosi energetiche;
- UNI CEI EN 16247-2: 2014 "Diagnosi Energetiche - Parte 2: Edifici", che si applica alle

⁷ AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*, pp. 8-11.

⁸ Tripodi P., *Cosa si intende per indice di prestazione energetica*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/attestato-prestazione-energetica-ape-firenze/indice-di-prestazione-energetica>.

⁹ AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*, pp. 14.

diagnosi energetiche specifiche per gli edifici, definendone i requisiti, la metodologia e la reportistica;

- UNI CEI EN 16247-5: 2015 “Diagnosi energetiche - Parte 5: Competenze dell’auditor energetico”, che specifica le competenze che deve possedere il REDE (Referente della Diagnosi Energetica);
- UNI/TS 11300, in materia di Prestazioni energetiche degli edifici.

La diagnosi energetica può possedere tre differenti livelli che hanno, di conseguenza, durate, livello di dettaglio e spese economiche diversi. La scelta del livello di diagnosi da effettuare dipende sostanzialmente da tre fattori determinanti: l’ambito d’intervento, il grado di accuratezza e gli obiettivi proposti.

2.1 Diagnosi di I livello: leggera

La diagnosi leggera viene condotta su di un unico sottosistema impiantistico effettuando poche misurazioni degli impianti sul campo e ricavando il potenziale di miglioramento per mezzo di semplici fogli di calcolo. Per effettuare questo tipo di analisi ci si impiega pochi giorni; il suo scopo è quello di stimare il potenziale di risparmio energetico ed economico grazie all’indicazione delle ORE a basso costo di investimento. Le ORE sono delle opportunità di risparmio energetico, ossia degli interventi di modifica e/o sostituzione di singole componenti dell’involucro e/o degli impianti termici dell’edificio o della gestione degli stessi finalizzati al miglioramento delle prestazioni energetiche. Può essere utile anche come indicazione generale per poi approcciarsi a diagnosi più specifiche.

2.2 Diagnosi di II livello: standard

La diagnosi standard analizza in maniera disaggregata tutti i sistemi impiantistici effettuando misurazioni dettagliate che poi saranno inserite all’interno di un software per il calcolo del potenziale di miglioramento in regime stazionario. Il fine di tale analisi è quella di fornire un’indicazione delle ORE e degli scenari di intervento da applicare sull’edificio tramite analisi energetica, economica e multicriteriale.

2.3 Diagnosi di III livello: dettagliata

La diagnosi di III livello si propone di analizzare anch’essa in maniera disaggregata tutti i sistemi impiantistici tramite misure dettagliate degli impianti. L’analisi avviene secondo modello di calcolo in regime dinamico e per poterla portare a termine è necessario disporre di settimane, se non mesi, di lavoro. L’analisi dettagliata fornisce come risultato la valutazione del consumo di energia primaria suddiviso per funzione d’uso, vettore energetico e profili d’uso. L’indicazione delle ORE fornita è accurata e offre scenari di intervento da applicare sull’edificio tramite l’analisi energetica, economica e multicriteriale.¹⁰

¹⁰ AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*, pp. 14-15.

2.4 Fasi del processo di diagnosi

Le tre diagnosi sopracitate seguono il medesimo processo, così da poter standardizzare l'approccio a vantaggio di un maggior controllo delle operazioni e di una maggior qualità nell'esecuzione. Il quadro normativo vigente in materia ha contribuito a definire i vari passaggi della procedura, così riassumibili:

- rilievo in loco dell'edificio, composto da fabbricato ed impianti;
- analisi energetica dell'edificio;
- validazione del modello di calcolo, effettuato attraverso un confronto tra i consumi calcolati ed i consumi reali (consumi storici);
- approvata l'affidabilità del modello, simulazione dei possibili scenari di risparmio energetico secondo l'applicazione di differenti interventi;
- redazione del rapporto finale definito anche relazione di diagnosi energetica.¹¹

Le fasi del processo sono progressive e dipendenti in maniera consequenziale e la loro durata deve essere definita in un cronoprogramma operativo.¹²

Concluso il processo di diagnosi vi è una fase di traduzione operativa dei risultati per il miglioramento delle prestazioni energetiche dell'edificio, definita "Implementazione delle ORE". Questa ha inizio nel momento in cui la committenza mette a disposizione i fondi per l'attuazione degli interventi individuati.¹³

2.5 Differenza tra Diagnosi energetica e certificazione energetica (APE)

La diagnosi energetica e la certificazione energetica (per il rilascio dell'Attestato di Prestazione Energetica, detto anche APE), pur avendo delle attività comuni, hanno scopi differenti. L'Attestato di Prestazione Energetica entrato in vigore in Italia con il Decreto Legislativo 192/05, è un documento obbligatorio per legge che racchiude al suo interno alcune delle informazioni che stanno alla base della diagnosi energetica. Certificazione e diagnosi sono, però, due processi differenti, che danno informazioni sull'immobile piuttosto diverse. La differenza sostanziale tra APE e diagnosi energetica è che il primo si basa su un calcolo standard, mentre, nel secondo caso, il calcolo è il risultato di una serie di dati di input non standardizzati. La diagnosi energetica, infatti, non considera solo l'immobile per intraprendere l'analisi, ma anche l'attività che si svolge al suo interno; la certificazione, invece, valuta le prestazioni energetiche di un immobile solo ed esclusivamente in base alle sue caratteristiche costruttive,

¹¹ Soma D., *La diagnosi energetica con il software Edilclima: i punti di forza ed il valore aggiunto*. Consultabile in <https://webapi.ingegno-web.it/immagini/file/byname?name=EDILCLIMA%20DIAGNOSI%20ENERGETICHE.pdf>.

¹² AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*, pp. 17.

¹³ AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici, Linee Guida*, pp. 18.

non tenendo in considerazione i consumi effettivi, le apparecchiature installate né la tipologia d'utenza.¹⁴

La certificazione energetica viene realizzata con l'obiettivo di poter paragonare, attraverso un'analisi energetica, edifici differenti in condizioni stazionarie e non stazionarie secondo un atto formale di attribuzione ad una singola unità immobiliare di un indice di prestazione energetica e successiva classificazione caratterizzante il consumo energetico dell'edificio. La classe energetica dell'edificio è determinata sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio EP_{gl,nren}, per mezzo del confronto con una scala di classi prefissate, ognuna delle quali rappresenta un intervallo di prestazione energetica definito. Tale correlazione viene eseguita calcolando l'indice di prestazione di un edificio con le medesime caratteristiche dell'edificio analizzato, dotandolo di tecnologie standard nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi.

A questo valore di riferimento vengono poi applicati dei coefficienti moltiplicativi o riduttivi che vanno a definire i range massimi e minimi di ogni classe energetica. Ogni classe energetica è contrassegnata da una lettera in cui G rappresenta la classe caratterizzata dall'indice più elevato, quello con maggiori consumi, mentre A corrisponde alla classe energetica con il miglior indice di prestazione e perciò minori consumi (Figura 1.2).

	Classe A4	$\leq 0,40 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$0,40 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe A3	$\leq 0,60 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$0,60 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe A2	$\leq 0,80 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$0,80 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe A1	$\leq 1,00 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$1,00 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe B	$\leq 1,20 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$1,20 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe C	$\leq 1,50 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$1,50 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe D	$\leq 2,00 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$2,00 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe E	$\leq 2,60 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
$2,60 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)} <$	Classe F	$\leq 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$
	Classe G	$> 3,50 EP_{gl,nren,rif,standard (2019/21)}$

Figura 1.2: Scala di classificazione degli edifici su base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{gl,nren}

La certificazione risulta quindi molto utile perché permette di confrontare le caratteristiche energetiche di immobili differenti ma, al tempo stesso, propone solo un'idea del

¹⁴ Pifferi E., *Certificazione energetica VS diagnosi energetica*, 25 marzo 2015. Consultabile in: <https://www.certificazione-energetica-bologna.it/certificazione-energetica-vs-diagnosi-energetica/>.

consumo energetico potenziale dell'edificio.¹⁵

La diagnosi ha un obiettivo differente rispetto alla certificazione. Essa infatti è un procedimento che, oltre a definire un indice di prestazione energetica, fornisce elementi utili ad evidenziare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati. La diagnosi energetica è quindi importante per conoscere come l'energia viene utilizzata all'interno di un'azienda o di un edificio in un determinato periodo di tempo e ad individuare gli interventi utili per ottimizzare i consumi energetici.¹⁶

3 IL QUADRO NORMATIVO ENERGETICO

Il risparmio energetico e la produzione di energia da fonti rinnovabili sono, ai nostri giorni, argomenti di grande rilievo. La produzione di energia tramite l'utilizzo di combustibili fossili impatta pesantemente sull'ambiente e sul clima, a causa delle sostanze inquinanti e i gas serra da essi emessi in gran quantità, responsabili del surriscaldamento globale e dei cambiamenti ambientali. Risulta evidente, in questo contesto, che temi come la riduzione dei consumi, l'impiego di risorse energetiche rinnovabili e di tecnologie più efficienti siano centrali per l'Unione Europea e l'Italia. Traccia delle ricerche svolte e dei dialoghi portati a termine sono le leggi emanate da ognuno dei due soggetti.

Tra queste di fondamentale importanza sono la Direttiva 2009/29/CE, che sancisce alcuni degli obiettivi che l'unione europea si pone per il 2020, la Direttiva 2018/844 che si propone di elaborare un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato entro il 2050 e la Direttiva 2018/2002 che si punta a rimuovere gli ostacoli sul mercato dell'energia e di superare le carenze che frenano l'efficienza nella fornitura e nell'uso di quest'ultima.

3.1 Quadro normativo energetico europeo

3.1.1 *Direttiva 2009/29/CE*

Il piano Clima-Energia, definito anche strategia "20 20 20", contenuto all'interno della Direttiva 2009/29/CE, è costituito da un insieme di leggi volte a garantire che l'Unione Europea raggiunga i propri obiettivi in materia di clima ed energia entro il 2020. La direttiva, entrata in vigore nel 2009, si pone tre finalità da raggiungere: la riduzione dei gas ad effetto serra del 20%, la riduzione dei consumi energetici del 20% aumentando l'efficienza energetica e il ricavo del 20% del fabbisogno energetico da fonti rinnovabili. Per la realizzazione della strategia 20 20 20,

¹⁵ Denza A., Lauria M., *Certificazione energetica (APE)*, 18 marzo 2013. Consultabile in: <https://www.certificato-energetico.it/certificazione-energetica.html>.

¹⁶ Denza A., Lauria M., *Indice di prestazione energetica (APE)*, 12 ottobre 2014. Consultabile in: <https://www.certificato-energetico.it/articoli/prestazione-energetica.html>.

lo strumento di riduzione e pianificazione dei consumi nazionali è rappresentato dal Pae (piano d'azione sull'efficienza energetica). Il Pae identifica, inoltre, le misure di miglioramento dell'efficienza energetica a livello settoriale. Nel residenziale le misure riguardano le prestazioni energetiche degli edifici e i consumi degli apparecchi; nel terziario, oltre alle prestazioni energetiche, il condizionamento efficiente, l'illuminazione pubblica e degli interni.¹⁷

3.1.2 Direttiva 2010/31/UE

La direttiva mira a migliorare le prestazioni energetiche degli edifici nell'ambito dell'Unione Europea stabilendo i requisiti di rendimento energetico ottimali per edifici o unità immobiliari. Tali requisiti sono misure necessarie di minima relative alla prestazione energetica che non impediscono agli Stati di prevedere provvedimenti più rigorosi e di differenziarli tra edifici di nuova costruzione o già esistenti, secondo quanto previsto dall'Articolo 4 "Fissazione di requisiti minimi di prestazione energetica".

All'Articolo 8 la direttiva si occupa degli impianti tecnici e afferma che, al fine di ottimizzare il consumo energetico dei sistemi tecnici per l'edilizia, gli Stati possono stabilire requisiti relativi al rendimento energetico globale, alla regolazione, al controllo e all'installazione degli impianti tecnici sia negli edifici già esistenti che di nuova costruzione.

Infine, secondo l'Articolo 9, gli Stati si impegnano ad elaborare piani nazionali che promuovano la costruzione di edifici ad energia quasi zero.¹⁸ Questi ultimi sono definiti come *"edifici ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"*.(DIRETTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO Del 19 Maggio 2010 Sulla Prestazione Energetica Nell'edilizia (Rifusione), n.d.).

3.1.3 EN ISO 52016-1:2017

Il calcolo del fabbisogno per riscaldamento e raffrescamento dell'involucro è descritto nelle norme ISO EN 52016-1 e ISO EN 52017-1, facenti parte della serie ISO 52000, che è stata riservata al calcolo della prestazione energetica degli edifici. La norma EN ISO 52016-1:2017 entra in vigore il 19 luglio 2017 e sostituisce la EN ISO 13790, la EN 15255 e la EN 15265. Le principali novità riguardano:

- abolizione del metodo stagionale;
- revisione del metodo di calcolo mensile;
- integrazione con il gruppo delle norme EPB (normativa ISO 52000-1);
- integrazione per il calcolo dei carichi termici estivi e invernali;
- introduzione del metodo di calcolo dinamico orario.

¹⁷ Direttiva n. 2009/29/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 23 aprile 2009.

¹⁸ Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 19 maggio 2010.

La norma presa in esame specifica i metodi di calcolo, utilizzati per edifici residenziali, non residenziali o parte di questi, per la valutazione di:

- fabbisogno energetico (sensibile) per il riscaldamento e il raffrescamento su base di calcoli orari e mensili;
- fabbisogno energetico latente per la (de-) umidificazione, sulla base di calcoli orari e mensili;
- temperatura interna, basata su calcoli orari;
- carico sensibile di riscaldamento e raffrescamento, basato su calcoli orari;
- carico di umidità e di calore latente per la (de-) umidificazione, sulla base di calcoli orari;
- carico sensibile di riscaldamento o raffrescamento di progetto e del carico latente di riscaldamento di progetto, utilizzando un intervallo di calcolo orario;
- condizioni dell'aria di mandata per fornire la necessaria umidificazione e deumidificazione.¹⁹

La EN ISO 52016 descrive in dettaglio due evoluzioni dei metodi di calcolo già presenti nella EN ISO 13790:2008:

- un metodo di calcolo mensile semi-stazionario: consiste nel calcolo, totalmente indipendente tra un intervallo temporale e il successivo, del fabbisogno dell'involucro;
- un metodo di calcolo orario dinamico "semplificato" che tiene conto dell'accumulo di calore sia nell'aria che in alcuni strati di ciascuna struttura opaca delimitante la zona termica.

Nella UNI TS 11300 venivano utilizzati metodi statici che, pur essendo efficaci ai fini del calcolo dei fabbisogni estivi e invernali, presentano dei limiti che diventano evidenti nei calcoli in edifici con sistemi impiantistici vasti e complessi, carichi termici variabili, presenza di diverse attività degli occupanti, diverse condizioni d'uso degli impianti. Situazione simile anche nel caso del calcolo del fabbisogno di energia per il raffrescamento, a causa delle rapide variazioni delle condizioni esterne che rendono poco affidabili i risultati ottenuti dai metodi statici su base mensile.²⁰ Il metodo di calcolo orario consente quindi di ottenere con precisione il fabbisogno di energia di un edificio, ponendo attenzione anche all'inerzia termica e alle proprietà termoisolanti dell'edificio. La possibilità di valutare con precisione i carichi termici di picco estivi e invernali, ottenendo risultati molto vicini alla realtà, rende il dimensionamento degli impianti più efficiente evitando sovradimensionamenti indesiderati. Il metodo semi-stazionario e il metodo dinamico sono stati approfonditi nei paragrafi, rispettivamente 1 e 2, del capitolo 1.

¹⁹ UNI, *EN ISO 52016-1:2017*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/en-iso-52016-1-2017/>.

²⁰ Laurent S., *Il nuovo metodo orario dinamico per il calcolo dei fabbisogni dell'edificio nel nuovo pacchetto EPDB*, Ingenio, 14 novembre 2019. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/23568-il-nuovo-metodo-orario-dinamico-per-il-calcolo-dei-fabbisogni-delledificio-nel-nuovo-pacchetto-epdb>.

3.1.4 Direttiva UE 2018/844

La Direttiva UE 30 maggio 2018/844, che dimostra l'impegno dell'Unione nell'elaborare un sistema energetico sostenibile, competitivo, sicuro e decarbonizzato entro il 2050, modifica le seguenti direttive:

- Direttiva 2010/31/UE riguardante la prestazione energetica degli edifici (riscrittura della Direttiva 2002/91/CE EPBD);
- Direttiva 2012/27/UE riguardante l'efficienza energetica (DEE).

Gli impegni fissati dall'Unione dell'energia e il quadro politico per l'energia e il clima per il 2030 vertono a ridurre ulteriormente le emissioni di gas a effetto serra di almeno il 40% (quindi del 80-95% se si considerano i livelli di emissioni del 1990), ad aumentare la quota di consumo di energie da fonti rinnovabili ed a realizzare un risparmio energetico conformemente alle ambizioni dell'Unione.

Per raggiungere tali obiettivi, gli Stati membri e gli investitori devono dotarsi di misure tese a decarbonizzare il parco immobiliare, cui è riconducibile circa il 36% di tutte le emissioni di CO₂ nell'Unione, cercando un equilibrio efficace in termini di costi di decarbonizzazione dell'approvvigionamento energetico e riduzione di consumo energetico finale. È quindi auspicabile gli Stati sostengano e favoriscano trasformazioni efficaci degli Edifici ad Energia quasi Zero, in particolare mediante un aumento delle ristrutturazioni profonde.²¹

La direttiva introduce anche il concetto di Indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza; l'obiettivo di quest'ultimo è quello di *“sensibilizzare i proprietari e gli occupanti sul valore dell'automazione degli edifici e del monitoraggio elettronico dei sistemi tecnici per l'edilizia e dovrebbe assicurare gli occupanti circa i risparmi reali di tali nuove funzionalità migliorate”*. (Direttiva (UE) 2018/844 Del Parlamento Europeo e Del Consiglio, 30 Maggio 2018, n.d.)

3.1.5 Direttiva 2018/2002

La Direttiva 2018/2002, entrata in vigore il 24 dicembre 2014, modifica la precedente Direttiva 2012/27/UE, principale strumento legislativo sull'efficienza energetica fino a quel momento. Fa parte del pacchetto di misure adottate a livello europeo, denominato *Clean Energy Package*, che fissa il quadro regolatorio per il raggiungimento dei nuovi obiettivi europei nel 2030. Essa, con i suoi 4 articoli e un allegato, si prefigge poi di migliorare l'informazione sul consumo di riscaldamento e raffreddamento al fine di promuovere il ruolo attivo dei consumatori e di potenziare la frequenza dell'informazione mediante l'introduzione dell'obbligo di leggibilità a distanza dei contatori di calore.

L'Articolo 1, al punto 1, aggiorna gli obiettivi dell'Unione in materia di efficienza energetica: dal 20% entro il 2020 ad almeno il 32,5% entro il 2030 e getta le basi per ulteriori

²¹ Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 30 maggio 2018.

miglioramenti rispetto a questo tema. Nel punto 3, invece, sostituisce l'Articolo 7 della Direttiva 2012/27/UE che si occupa dei regimi obbligatori di efficienza energetica ed estende la portata di questa norma fino al 2030. Stabilisce inoltre in dettaglio le modalità di calcolo e gli obblighi di realizzazione cumulativa di risparmio energetico nell'uso finale che gli Stati membri devono realizzare.

Sempre l'Articolo 1, al punto 8, prevede che gli Stati membri garantiscano che le informazioni di fatturazione e consumo siano precise e basate sul consumo effettivo per tutti gli utenti finali provvisti di contatori e contabilizzatori. Tale obbligo può essere soddisfatto tramite un sistema di autolettura periodica, in cui il cliente può comunicare i dati del contatore al fornitore di energia.

L'Articolo 2 fissa il termine per il recepimento della direttiva al 25 giugno 2020, gli articoli 3 e 4 ne disciplinano, rispettivamente, l'entrata in vigore e gli stati membri interessati.²²

3.2 Quadro normativo energetico italiano

Il dibattito sull'analisi energetica ha inizio in Italia a partire dagli anni Settanta del Novecento quando, in risposta alla crisi petrolifera europea, viene emanata la Legge n. 373 del 1976 che prevedeva vincoli per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici e la prescrizione per l'isolamento termico degli edifici.²³ Tale settore è oggi regolamentato da una serie di leggi a carattere internazionale, nazionale e regionale che pongono delle linee guida in materia di energia rinnovabile, efficienza energetica e contenimento dei consumi.

3.2.1 Legge n. 10 del 9 gennaio 1991

La Legge n.10 del 9 gennaio 1991 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" nasce con l'intento di ridurre i consumi di energia e di migliorare le condizioni di compatibilità ambientale nell'utilizzo dell'energia, in accordo con la politica energetica della Comunità economica europea negli edifici pubblici e privati, qualunque sia la loro destinazione d'uso.

Grazie all'avanguardia dei suoi contenuti la Legge 10/91 fu un punto di riferimento legislativo a livello europeo; molti Paesi infatti presero spunto riguardo la suddivisione del territorio in zone climatiche, la durata giornaliera di attivazione e i periodi di accensione degli impianti termici.

Nell'Articolo 1 "Finalità e ambito di applicazione" si evidenzia come, facendo un uso razionale dell'energia, proponendo il contenimento dei consumi nella produzione e nell'utilizzo

²² Direttiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 11 dicembre 2018.

²³ Legge 30 marzo 1976, n.373 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici".

di manufatti e utilizzando fonti rinnovabili di energia, si può arrivare a ridurre i consumi e migliorarne le condizioni di compatibilità ambientale a parità di servizio reso e di qualità di vita. La politica di risparmio energetico quindi è un insieme complesso di azioni volto al miglioramento dei processi tecnologici e che utilizzano e trasformano energia e dev'essere considerata di fondamentale importanza per il pubblico interesse e la pubblica utilità.

Nell'Articolo 19 "Responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia" la legge individua un insieme di aziende che nell'anno precedente hanno avuto un consumo di energia superiore ad una determinata cifra, queste dovranno comunicare al Ministro dell'industria, del commercio e dell'artigianato il nominativo del tecnico responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia. Questi ultimi individuano le azioni, gli interventi, le procedure e quanto altro necessario per promuovere l'uso razionale dell'energia.

Nell'Articolo 26 "Progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici e di impianti" si evidenzia ancora in cui tutti i nuovi impianti, siano essi di edifici pubblici o privati, devono essere progettati e messi in opera in modo tale da contenere al massimo i consumi di energia termica ed elettrica. Inoltre, i nuovi edifici pubblici sono obbligati a soddisfare il fabbisogno energetico favorendo la conservazione, il risparmio e l'uso razionale dell'energia.

La legge propone l'inserimento di limiti nel consumo dell'energia termica ed elettrica dipendenti dalla destinazione d'uso degli edifici stessi e dalla zona climatica di appartenenza e si impegna per la prima volta a gestire le modalità progettuali e regolare il sistema edificio-impianto come evidenziato nell'Articolo 27 "limiti ai consumi di energia".²⁴

3.2.2 Decreti attuativi alla Legge 10/91

La Legge 10 del 1991 è stata in gran parte modificata e integrata nel corso degli anni da vari decreti, rispecchiando chiaramente l'intento e la necessità crescente di contenere i consumi energetici globali nel campo delle costruzioni.

Si parla talvolta di decreti attuativi, già previsti dalla Legge 10/91 stessa in occasione della sua prima formulazione, ma anche di decreti che ne hanno abrogato o modificato alcuni articoli, sostituendoli o aggiornandoli.

3.2.2.1 Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412

Il D.P.R. del 26 agosto 1993, n.412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n.10" nell'Articolo 2 suddivide il territorio nazionale in 6 zone climatiche in funzione dei gradi-giorno indipendentemente dalla loro ubicazione geografica. Ogni Comune può essere assegnato ad una zona dalla A alla F, dove A sono quelli che presentano un numero di gradi-

²⁴ Legge 9 gennaio 1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

giorno non superiore a 900, mentre, i Comuni appartenenti alla zona F, hanno un numero di gradi-giorno superiore a 3000.

I gradi-giorno sono definiti, secondo l'Articolo 1 del medesimo Decreto, come la somma estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, fissata a 20 °C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Nel Decreto, inoltre, vengono definiti anche i limiti relativi al periodo annuale di esercizio dell'impianto termico a seconda della zona climatica di riferimento.²⁵

3.2.2.2 Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n.551

Il D.P.R. del 21 dicembre 1999, n.551 modifica e integra alcuni punti rimasti in dubbio nel precedente decreto attuativo esposto. In particolare le precisazioni sono riguardanti i controlli sugli impianti: notevoli responsabilità vengono ora affidate a installatori e manutentori.

All'Articolo 17 "Istruzione o completamento del catasto degli impianti termici" si pongono le basi per poter costruire un catasto degli impianti, o completare quello già esistente, attraverso la collaborazione delle società distributrici di combustibile per il funzionamento degli impianti, che fornirà titolarità e ubicazione degli impianti, con gli Enti locali competenti.²⁶

3.2.3 Decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192

In data 8 ottobre 2005 è entrato in vigore il Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia, il quale stabilisce i criteri, le condizioni e le modalità per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici al fine di favorire lo sviluppo, la diversificazione energetica e la valorizzazione e l'integrazione delle fonti rinnovabili. Tali migliorie contribuiscono a conseguire gli obiettivi nazionali di limitazione delle emissioni di gas a effetto serra posti dal protocollo di Kyoto e a promuovere la competitività dei comparti più avanzati attraverso lo sviluppo tecnologico. Gli obiettivi del presente decreto, elencati nell'Articolo 1, sono:

- definire il metodo di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- applicare i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche agli edifici;
- definire i criteri generali per la certificazione energetica degli edifici;
- garantire le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;

²⁵ Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10".

²⁶ Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n.551 "Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia".

- stabilire i criteri per garantire la qualificazione e l'indipendenza degli esperti;
- promuovere l'uso razionale dell'energia anche attraverso l'informazione e la sensibilizzazione degli utenti finali, la formazione e l'aggiornamento degli operatori del settore.

Nell'Articolo 4 "Adozione di criteri generali, di una metodologia di calcolo e requisiti della prestazione energetica" sono definiti i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi finalizzati al contenimento dei consumi di energia e al raggiungimento degli obiettivi disciplinando la progettazione, l'installazione e l'esercizio degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici. Nello stesso sono definiti anche i requisiti professionali e i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti a cui affidare la certificazione energetica degli edifici; i requisiti minimi verranno poi rivisti e aggiornati ogni cinque anni.

Con l'Articolo 6 "Certificazione energetica degli edifici di nuova costruzione" prende finalmente forma e si individuano tutta una serie di parametri e grandezze atte a definire la bontà del sistema edificio-impianto di una unità immobiliare nelle sue più diverse configurazioni. Questo obbliga, entro un anno dalla data di entrata in vigore del decreto, a dotare gli edifici di un attestato di certificazione energetica redatto secondo i criteri dell'Articolo 4 e che verrà poi allegato in caso di compravendita dell'intero immobile. Tale attestato ha durata di dieci anni a partire dal suo rilascio.²⁷

3.2.4 Decreto legislativo 30 maggio 2008, n.115

Il Governo, con decreto legislativo del 30 maggio 2008, n. 115, ha dato attuazione alla Direttiva 2006/32/CE del Parlamento europeo, riguardante gli obiettivi, i meccanismi, gli incentivi e il quadro istituzionale necessari per eliminare le barriere che ostacolano un efficiente uso finale di energia, inoltre crea le condizioni per lo sviluppo e la promozione di un mercato dei servizi energetici per il miglioramento dell'efficienza energetica agli utenti finali. Lo scopo del nuovo provvedimento, come spiegato all'Articolo 1, è quello di contribuire al miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento energetico e alla tutela dell'ambiente, con la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, e dell'efficienza degli usi finali dell'energia per quanto concerne i costi e i benefici. Tra le novità più importanti compaiono la deroga alle "distanze dei confini" per i maggiori spessori delle murature per gli isolamenti termici, l'individuazione dell'energy manager in ogni comune, e delle norme tecniche di calcolo per la certificazione energetica.

Nell'Articolo 16 "Qualificazione dei fornitori e dei servizi energetici" allo scopo di promuovere un processo di incremento del livello di qualità e competenza tecnica per i fornitori di servizi energetici, è approvata, una procedura di certificazione volontaria per le ESCO (Energy

²⁷ Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192 "Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Service Company): imprese specializzate nella identificazione e conseguimento del risparmio energetico a costo zero per i committenti.

Il provvedimento, all'Articolo 17 "Misurazione e fatturazione del consumo energetico", incarica le imprese di distribuzione di fornire agli utenti finali i contatori individuali che riferiscano informazioni sul loro consumo effettivo e sul tempo d'uso. I clienti saranno quindi in grado autonomamente di poter procedere alla lettura dei propri contatori in modo semplice e comprensibile.

Le metodologie di calcolo e i requisiti dei soggetti per l'esecuzione delle diagnosi energetiche e la certificazione energetica degli edifici sono contenute nell'Allegato 3 del presente decreto.²⁸ L'attività di certificazione energetica viene portata a termine da soggetti abilitati definiti tecnici abilitati o tecnici operanti, secondo quanto segue dalla definizione: *"Si definisce tecnico abilitato un tecnico operante sia in veste di dipendente di enti ed organismi pubblici o di società di servizi pubbliche o private (comprese le società di ingegneria) che di professionista libero od associato, iscritto ai relativi ordini e collegi professionali, ed abilitato all'esercizio della professione relativa alla progettazione di edifici ed impianti, asserviti agli edifici stessi, nell'ambito delle competenze ad esso attribuite dalla legislazione vigente"* (Decreto Legislativo 30 Maggio 2008, n.115 "Attuazione Della Direttiva 2006/32/CE Relativa All'efficienza Degli Usi Finali Dell'energia e i Servizi Energetici e Abrogazione Della Direttiva 93/76/CEE," n.d.)

3.2.5 Legge 3 agosto 2013, n. 90

Il decreto entrato in vigore dal 6 giugno 2013 e convertito in legge con modificazioni dalla Legge 3/08/2013 n. 90, recepisce la Direttiva 2010/31/UE stabilendo i nuovi criteri per l'aggiornamento degli standard prestazionali degli edifici di nuova costruzione e degli edifici soggetti a ristrutturazioni importanti (involucro, impianti e fonti rinnovabili), aggiornando il Decreto Legislativo 192/2005.

Il presente decreto aggiunge, all'Articolo 5 "Modificazioni al decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, in materia di edifici a energia quasi zero", informazioni in materia di edifici a energia quasi zero; impone infatti a partire dal 31 dicembre 2018 di essere ad energia quasi zero agli immobili pubblici di nuova costruzione (dal 1° gennaio 2021 la disposizione viene applicata a tutti gli edifici di nuova costruzione).

Tra le novità più rilevanti, all'Articolo 6 "Modificazioni al decreto legislativo 19 agosto 2005, n.192, in materia di attestato di prestazione energetica, rilascio e affissione", c'è l'obbligo per chi vende o affitta un immobile di allegare al contratto di vendita l'attestato di prestazione energetica dell'edificio, pena la nullità del contratto. Gli edifici di nuova costruzione e quelli

²⁸ Decreto legislativo 30 maggio 2008, n.115 "Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della Direttiva 93/76/CEE".

sottoposti a ristrutturazioni importanti, sono dotati di tale attestato prima del rilascio del certificato di agibilità. La validità massima dell'attestato di prestazione energetica scade al decorso del decimo anno purché questo rimanga aggiornato ad ogni intervento di ristrutturazione o riqualificazione che modifichi la classe energetica dell'edificio o dell'unità immobiliare.

Rispetto al precedente decreto del 2005 vengono introdotti, tra le altre cose, un articolo relativo all'ambito finanziario, dagli incentivi all'abbattimento delle barriere di mercato, con la conferma e l'estensione delle proroghe per le detrazioni fiscali relative a ristrutturazioni e riqualificazioni energetiche.²⁹

3.2.6 Decreto Ministeriale 26 giugno 2015

Il 16 luglio 2015 sono stati pubblicati in Gazzetta Ufficiale i tre nuovi decreti attuativi della Legge 90/14, costituente a sua volta, il recepimento della Direttiva 2010/31/UE. Questi, emanati come D.M. 26 giugno 2015, ridefiniscono le regole nazionali in materia di prestazioni energetiche degli edifici. In particolare, i primi due decreti riguardano, rispettivamente, i requisiti minimi per le verifiche di legge ed i modelli di relazione tecnica, il terzo predispone le linee guida nazionali per la certificazione energetica. I tre decreti sono entrati in vigore il 1° ottobre 2015 con lo scopo di definire le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari.

3.2.6.1 Requisiti minimi- D.M. 26 giugno 2015

Il decreto "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici" è entrato in vigore con lo scopo di definire le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici, ivi incluso l'utilizzo delle fonti rinnovabili, nonché le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche degli edifici e unità immobiliari. Il provvedimento prevede un differente approccio in base alla tipologia di edificio ed intervento da eseguire; in base alla tipologia di intervento vengono stabiliti i diversi requisiti e le verifiche di legge. Le tipologie di intervento previste e riassunte nella Tabella 4 "Prescrizioni, requisiti e verifiche in funzione della tipologia di intervento" sono:

- nuova costruzione;
- demolizione e ricostruzione;
- ampliamento e sopraelevazione con nuovo impianto o estensione di un impianto;

²⁹ Legge 3 agosto 2013, n. 90. "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".

- ristrutturazione importante
 - di primo livello
 - di secondo livello;
- riqualificazione energetica
 - riguardante l'involucro
 - installazione nuovo impianto
 - ristrutturazione di impianto
 - sostituzione del generatore.

All'Articolo 3 del provvedimento sono elencate le norme tecniche nazionali per il calcolo della prestazione energetica degli edifici, che sono:

- raccomandazione CTI 14/2013 "Prestazioni energetiche degli edifici – Determinazione dell'energia primaria e della prestazione energetica EP per la classificazione dell'edificio";
- UNI/TS 11300 - 1 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva e invernale";
- UNI/TS 11300 - 2 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, la ventilazione e l'illuminazione";
- UNI/TS 11300 - 3 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva";
- UNI/TS 11300 - 4 "Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per riscaldamento di ambienti e preparazione acqua calda sanitaria";
- UNI EN 15193 "Prestazione energetica degli edifici - Requisiti energetici per illuminazione".³⁰

3.2.6.2 Relazione tecnica- D.M. 26 giugno 2015

Il secondo decreto del 26 giugno 2015 "Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici" definisce, in funzione delle diverse tipologie evidenziate nel primo decreto, come poter compilare la relazione tecnica di progetto. Negli allegati sono inserite le relazioni tecniche rispettivamente di:

- Allegato 1 contenente la relazione tecnica per le nuove costruzioni, ristrutturazioni importanti di primo livello ed edifici ad energia quasi zero;

³⁰ Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici". Consultabile in: <https://www.nextville.it/normativa/2715/dm-sviluppo-economico-26-giugno-2015/>.

- Allegato 2 contenete la relazione tecnica per edifici soggetti a riqualificazione energetica e ristrutturazioni importanti di secondo livello. Costruzioni esistenti con riqualificazione dell’involucro edilizio e di impianti termici;
- Allegato 3 contenente la relazione tecnica per gli edifici soggetti a riqualificazione energetica degli impianti tecnici.³¹

3.2.6.3 Certificazione energetica- D.M. 26 giugno 2015

L’ultimo provvedimento, “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 –Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”, si pone la finalità di favorire l’applicazione omogenea e coordinata dell’attestazione della prestazione energetica degli edifici e delle unità immobiliari su tutto il territorio nazionale. Il presente decreto definisce:

- le Linee guida nazionali per l’attestazione della prestazione energetica degli edifici;
- gli strumenti di raccordo, concertazione e cooperazione tra lo Stato e le regioni;
- la realizzazione di un sistema informativo comune per tutto il territorio nazionale per la gestione di un catasto nazionale degli attestati di prestazione energetica e degli impianti termici.³²

3.2.7 UNI CEI EN 16247

La serie di norme UNI CEI EN 16247 si prefigge di aiutare le aziende europee a rispettare i requisiti fissati dalla Direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica, che stabilisce una serie di misure per ridurre i consumi energetici sul territorio dell’unione europea e a garantire un uso più efficiente dell’energia in tutte le fasi della catena energetica. La capacità di realizzare una diagnosi energetica secondo procedure riconducibili a standard riconosciuti è un punto fondamentale per il processo di miglioramento dell’efficacia energetica. Ecco che le norme in questione definiscono i requisiti, le metodologie comuni e i prodotti delle diagnosi energetiche. Il pacchetto, costituito da cinque parti è così diviso:

- UNI CEI EN 16247-1:2012 “Diagnosi energetiche- Parte 1: Requisiti generali” definisce i requisiti, la metodologia comune e i prodotti delle diagnosi energetiche. Si applica a tutte le forme di aziende ed organizzazioni, a tutte le forme di energia e di utilizzo della stessa, con l’esclusione delle singole unità immobiliari residenziali. Definisce i requisiti generali comuni a tutte le diagnosi energetiche.
- UNI CEI EN 16247-2:2014 “Diagnosi energetiche- Parte 2: Edifici” è applicabile alle diagnosi energetiche specifiche per gli edifici. Essa definisce i requisiti, la metodologia

³¹ Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell’applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici”. Consultabile su: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15A05199/sg>.

³² Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 –Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici”.

e la reportistica di una diagnosi energetica relativa a un edificio o a un gruppo di edifici, escludendo le singole residenze private.

- UNI CEI EN 16247-3:2014 “Diagnosi energetiche- Parte 3: Processi” definisce i requisiti, la metodologia e la reportistica di una diagnosi energetica nell’ambito di un processo, relativamente a:
 - organizzare e condurre una diagnosi energetica;
 - analizzare i dati ottenuti con la diagnosi energetica;
 - riportare e documentare i risultati della diagnosi energetica.

La norma si applica ai luoghi in cui l’uso di energia è dovuto al processo.

- UNI CEI EN 16247-4:2014 “Diagnosi energetiche- Parte 4: Trasporti” determina i requisiti, la metodologia e la reportistica specifici per le diagnosi energetiche nel settore dei trasporti e affronta ogni situazione in cui viene effettuato uno spostamento.
- UNI CEI EN 16247-5:2014 “diagnosi energetiche- Parte 5: Competenze dell’auditor energetico”.³³

3.2.8 UNI TS 11300

La norma UNI TS 11300 è nata con l’obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la determinazione delle prestazioni energetiche degli edifici ed è suddivisa attualmente in sei parti:

3.2.8.1 Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale

“La specifica tecnica definisce le modalità per l’applicazione nazionale della UNI EN ISO 13790:2008 con riferimento al metodo mensile per il calcolo dei fabbisogni di energia termica per riscaldamento e per raffrescamento. La specifica tecnica è rivolta a tutte le possibili applicazioni previste dalla UNI EN ISO 13790:2008 calcolo di progetto (design rating), valutazione energetica di edifici attraverso il calcolo in condizioni standard (asset rating) o in particolari condizioni climatiche e d’esercizio (*tailored rating*).”

3.2.8.2 Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l’illuminazione in edifici non residenziali

“La specifica tecnica fornisce dati e metodi di calcolo per la determinazione dei fabbisogni di energia termica utile per il servizio di produzione di acqua calda sanitaria, nonché

³³ UNI, *Diagnosi energetiche: pubblicate in lingua italiana le prime quattro parti della UNI CEI EN 16247*, 25 agosto 2015. Consultabile in: https://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4155%3Adiagnosi-energetiche-pubblicate-in-lingua-italiana-le-prime-quattro-parti-della-uni-cei-en-16247&catid=170&Itemid=2612.

di energia fornita e di energia primaria per i servizi di climatizzazione invernale e acqua calda sanitaria. Essa fornisce inoltre il metodo di calcolo per la determinazione del fabbisogno di energia primaria per il servizio di ventilazione e le indicazioni e i dati nazionali per la determinazione dei fabbisogni di energia primaria per il servizio di illuminazione in accordo con la UNI EN 15193.

La specifica tecnica fornisce dati e metodi per il calcolo dei rendimenti e delle perdite dei sottosistemi di generazione alimentati con combustibili fossili liquidi o gassosi.

La specifica tecnica si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti: per il solo riscaldamento, misti o combinati per riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria, per sola produzione acqua calda per usi igienico-sanitari, per i sistemi di sola ventilazione, per i sistemi di ventilazione combinati alla climatizzazione invernale, per i sistemi di illuminazione negli edifici non residenziali.”

3.2.8.3 Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva”

“La specifica tecnica fornisce dati e metodi per la determinazione: dei rendimenti e dei fabbisogni di energia dei sistemi di climatizzazione estiva; dei fabbisogni di energia primaria per la climatizzazione estiva. La specifica tecnica si applica unicamente ad impianti fissi di climatizzazione estiva con macchine frigorifere azionate elettricamente o ad assorbimento. La specifica tecnica si applica a sistemi di nuova progettazione, ristrutturati o esistenti: per il solo raffrescamento; per la climatizzazione estiva. La specifica tecnica non si applica ai singoli componenti dei sistemi di climatizzazione estiva per i quali rimanda invece alle specifiche norme di prodotto.”

3.2.8.4 Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria

“La specifica tecnica calcola il fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e la produzione di acqua calda sanitaria nel caso vi siano sottosistemi di generazione che forniscono energia termica utile da energie rinnovabili o con metodi di generazione diversi dalla combustione a fiamma di combustibili fossili trattata nella UNI/TS 11300-2.

Si considerano le seguenti sorgenti di energie rinnovabili per produzione di energia termica utile: solare termico; biomasse; fonti aeree, geotermiche e idrauliche nel caso di pompe di calore per la quota considerata rinnovabile; e per la produzione di energia elettrica: solare fotovoltaico.”

3.2.8.5 Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e delle quote di energia da fonti rinnovabili

“La presente specifica tecnica fornisce metodi di calcolo per determinare in modo univoco e riproducibile applicando la normativa tecnica citata nei riferimenti normativi il fabbisogno di energia primaria degli edifici sulla base dell'energia consegnata ed esportata; la

quota di energia da fonti rinnovabili. La presente specifica tecnica fornisce inoltre precisazioni e metodi di calcolo che riguardano, in particolare:

- le modalità di valutazione dell’apporto di energia rinnovabile nel bilancio energetico;
- la valutazione dell’energia elettrica esportata;
- la definizione delle modalità di compensazione dei fabbisogni con energia elettrica attraverso energia elettrica prodotta da rinnovabili;
- la valutazione dell’energia elettrica prodotta da unità cogenerative.”

3.2.8.6 Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori e scale mobili

“La presente specifica tecnica fornisce dati e metodi per la determinazione del fabbisogno di energia elettrica per il funzionamento di impianti destinati al sollevamento e al trasporto di persone o persone accompagnate da cose in un edificio, di seguito detti impianti, sulla base delle caratteristiche dell’edificio e dell’impianto. I suddetti metodi di calcolo tengono in considerazione solo il fabbisogno di energia elettrica nei periodi di movimento e di sosta della fase operativa del ciclo di vita.

La presente specifica tecnica si applica ai seguenti impianti: ascensori; montascale; piattaforme elevatrici; montacarichi e montauto; scale mobili; marciapiedi mobili. La presente specifica tecnica si applica alle seguenti tipologie di edifici: edificio residenziale; albergo; ufficio; ospedale; edificio adibito ad attività scolastiche e ricreative; centro commerciale; edificio adibito ad attività sportive; edificio adibito ad attività industriali e artigianali; edificio adibito al servizio di trasporto pubblico (stazione, aeroporto, ecc.).

La presente specifica tecnica può essere applicata a tipologie di edifici diverse da quelle indicate, previa una valutazione preliminare specifica del traffico richiesto. L’Appendice A fornisce, a titolo informativo, esempi di calcolo del fabbisogno energetico.”³⁴

3.2.9 UNI EN ISO 52016:2018

Il 1° marzo 2018 è stata pubblicata in Italia la norma UNI EN ISO 52016:2018, in vigore in Europa dal 21 giugno 2017. Questa norma sostituisce cinque procedure di calcolo fondamentali per l’analisi dei fabbisogni e delle temperature interne:

- UNI EN 15265:2008 - Calcolo del fabbisogno di energia per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti mediante metodi dinamici - Criteri generali e procedimenti di validazione;
- UNI EN 15255:2008 - Calcolo del carico sensibile di raffrescamento di un ambiente - Criteri generali e procedimenti di validazione;
- UNI EN ISO 13790:2008 - Prestazione energetica degli edifici - Calcolo del fabbisogno

³⁴ CTI, *Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici*. Consultabile in: <https://www.cti2000.eu/la-uni-ts-11300/>.

- di energia per il riscaldamento e il raffrescamento, norma sulla quale si fonda la UNI TS 11300-1:2014 per la determinazione dei fabbisogni di energia termica;
- UNI EN ISO 13791:2012 - Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione - Criteri generali e procedure di validazione;
 - UNI EN ISO 13792:2012 - Prestazione termica degli edifici - Calcolo della temperatura interna estiva di un locale in assenza di impianti di climatizzazione.

La norma definisce le procedure di calcolo dei fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento (su base oraria o mensile), nonché il metodo di calcolo per le temperature interne e per i carichi termici sensibili e latenti (su base oraria). La norma tratta modifica i metodi di calcolo finora utilizzati:

- abolendo il metodo di calcolo stagionale;
- revisionando il metodo mensile;
- operando una radicale riscrittura del metodo di calcolo orario e definendo un metodo di calcolo dinamico orario per il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti.³⁵

La norma illustra le regole basilari per la definizione delle zone termiche, i dati in input essenziali all'applicazione dei metodi di calcolo presentati, ovvero quello dinamico orario semplificato e quello mensile, e descrive i rispettivi algoritmi di risoluzione e i dati in output. I dati di input sono ad esempio:

- dati climatici;
- dati di impianto e apporti;
- dati geometrici e termo-fisici.

Essa fa parte di una serie di norme denominate EPB "Energy Performance of Buildings" che mirano all'armonizzazione internazionale della metodologia per la valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici. La struttura delle normative appartenenti a questo pacchetto è studiata per renderle flessibili e maggiormente adattabile alle tecniche costruttive diffuse all'interno di ciascuna nazione che adotterà questa metodologia di calcolo. In particolare, l'appendice A della norma UNI EN ISO 52016-1 descrive il modello di calcolo e i parametri di input specificati a livello nazionale diversi da quelli prestabiliti a livello europeo riportati nell'appendice B. L'appendice nazionale A apporta delle modifiche rispetto all'appendice B, riguardo le modalità di valutazione del comportamento termico dinamico degli elementi opachi. Differente sarà anche l'individuazione e la quantificazione dei nodi capacitivi e degli strati resistivi: la posizione dell'Italia è quella di adottare un modello RC diverso da quello europeo, nel quale le strutture hanno un numero di nodi pari agli strati di cui sono composte e

³⁵ Castagna A., *Calcolo dinamico orario con la UNI EN ISO 52016-1*, Logical. Consultabile in: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/logicalsoft/PDF/ebook/Logical+Soft+-+il+Calcolo+Dinamico+Orario+con+la+UNI+EN+ISO+52016.pdf>.

i nodi rappresentano esattamente l'interfaccia tra ogni singolo strato.³⁶

3.2.10 Decreto-Legge 19 maggio 2020, n.34

Il D.L. 19 maggio 2020 n. 34 "Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19", innerva i tentativi di rilancio dell'edilizia e dell'impiantistica (già avviati dall'ormai lontano 2013 e mai veramente decollati) oltre a quelli, di minore impatto sul sistema economico, sul fotovoltaico e sulle centraline di ricarica. Tra le varie misure messe in atto, all'Articolo 119 "Incentivi per l'efficientamento energetico, sisma bonus, fotovoltaico e colonnine di ricarica di veicoli elettrici", viene innalzata la detrazione fiscale, che raggiunge il 110% per interventi di:

- efficientamento energetico di edifici condominiali o unifamiliari;
- miglioramento statico e della tenuta sismica di edifici anche non abitativi;
- installazione di impianti fotovoltaici e colonnine di ricarica per mobilità elettrica;
- adeguamento, anche edilizi ed impiantistici, necessari per lo svolgimento in sicurezza di attività produttive e commerciali.

Questo si traduce nel totale recupero delle spese effettuate, con in più un guadagno del 10%. Un ulteriore aspetto interessante è rappresentato dalla possibilità di cedere il credito fiscale all'impresa o a una società finanziaria, rendendo tali interventi praticamente gratuiti così da incentivare l'adozione di misure volte all'efficientamento energetico.

Il decreto, infine, richiede che tali interventi consentano il miglioramento di almeno due classi energetiche; è necessario, dunque, predisporre un APE (Attestato di Prestazione Energetica) pre e post intervento che dimostrino il raggiungimento degli obiettivi richiesti.³⁷

Il decreto Rilancio è stato pubblicato in Gazzetta ufficiale il 18 luglio 2020 come legge 17 luglio 2020, n. 77.

3.2.11 Decreto legislativo 10 giugno 2020, n.48

Continuando a trattare il tema dell'efficienza energetica è necessario menzionare il decreto legislativo del 10 giugno 2020, n.48 "Attuazione della 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", composto da diciotto articoli ed entrato in vigore l'11 giugno 2020.

L'obiettivo del provvedimento è quello di intervenire sul patrimonio immobiliare

³⁶ di Perna C., Summa S., Tarabelli L., *Il nuovo metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1*. Consultabile in: <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=uni-en-iso-52016-1-perna-cil-180.pdf>.

³⁷ Decreto Legge 19 maggio 2020, n.34 "Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19".

italiano, con specifiche azioni volte al miglioramento delle prestazioni energetiche degli edifici anche tramite l'applicazione di requisiti minimi alla prestazione di edifici nuovi, nonché di edifici esistenti sottoposti a ristrutturazione importante. Con l'Articolo 6 "Adozione di criteri generali, di una metodologia di calcolo e requisiti della prestazione energetica", vengono introdotte modifiche importanti all'Articolo 4 del D.Lgs. 192/2005 come ad esempio:

- la rilevanza della fattibilità tecnica, funzionale, ambientale ed economica dei sistemi alternativi ad alta efficienza in fase di progettazione per la realizzazione di nuovi edifici o per la ristrutturazione importante di quelli esistenti;
- la predisposizione, nel momento della sostituzione del generatore di calore, di dispositivi autoregolanti che controllino separatamente la temperatura in ogni vano dell'unità immobiliare;
- il rispetto da parte dei requisiti dei parametri del benessere termo-igrometrico degli ambienti interni, della sicurezza in caso di incendio e dei rischi connessi ad attività sismica.

Applicando tali predisposizioni sarà promossa l'installazione di sistemi di automazione e controllo degli impianti presenti negli edifici anche come alternativa ai controlli fisici.

Grazie alle novità introdotte dal decreto sarà possibile accelerare la ristrutturazione economicamente efficiente degli edifici esistenti, promuovere l'uso di tecnologie informatiche ed intelligenti per garantire agli edifici di operare e consumare in maniera quanto più efficiente possibile, integrare le strategie di ristrutturazione a lungo termine per favorire la mobilitazione di risorse economiche e la realizzazione di edifici ad emissioni zero entro il 2050.³⁸

3.2.12 Decreto Legislativo 14 luglio 2020, n.73

Il D.Lgs. del 14 luglio 2020, n.73 è l'attuazione della Direttiva (UE) 2018/2002, che modifica a sua volta la Direttiva 2012/27/UE e si compone di ventun articoli riguardanti il miglioramento dell'efficienza energetica, principio da porre al primo posto secondo l'Unione Europea.

L'Articolo 3 "Obiettivo nazionale di risparmio energetico" individua la necessità di una riduzione, pari a 20 milioni di tonnellate, dell'utilizzo di petrolio nei consumi di energia primaria entro il 2020.

All'Articolo 8 "Diagnosi energetiche e sistemi di gestione dell'energia" si dà importanza alla periodicità con cui le grandi imprese devono eseguire una diagnosi energetica: il tempo che può decorrere tra un'analisi e quella successiva è di quattro anni a partire dal 5 dicembre 2015 e i dati devono essere comunicati all'ENA che ne curerà la conservazione.

³⁸ Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n.48 "Attuazione della 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".

Il provvedimento, all'Articolo 19 tratta i requisiti minimi in materia di informazioni di fatturazione e consumo per il riscaldamento, il raffreddamento e il consumo di acqua calda per uso domestico, rendendo il consumatore ancora più consapevole rispetto al precedente provvedimento del 2008 in relazione ai suoi consumi effettivi. Il decreto predispose che nelle fatture vengano inseriti alcuni dati e informazioni utili come ad esempio:

- I pressori correnti effettivi e il consumo energetico effettivo;
- informazioni sul mix di combustibili utilizzato e, nel caso di calore da impianti di teleriscaldamento con una potenza termica nominale totale superiore a 20 MW, sulle relative emissioni annuali di gas a effetto serra, sul mix di combustibili utilizzato e sul fattore di conversione in energia primaria, nonché una descrizione delle diverse tasse, imposte e tariffe applicate;
- raffronto tra il consumo corrente di energia dell'utente finale e il consumo nello stesso periodo dell'anno precedente, sotto forma di grafico, corretto per le variazioni climatiche nel caso del riscaldamento e del raffreddamento;
- confronti con il consumo di un utente finale medio o di riferimento appartenente alla stessa categoria di utenza.³⁹

4 VALIDAZIONE DEI SOFTWARE PER LA PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI

Ai sensi dell'art.7 del D.M. del 26 giugno 2015, cosiddetto "Requisiti Minimi", il CTI svolge un'attività di verifica dei software commerciali e degli strumenti di calcolo della prestazione energetica degli edifici. Il CTI, Comitato Termotecnico Italiano, è un ente federato all'UNI che ha lo scopo di svolgere, in ambito nazionale e internazionale, attività normativa e di unificazione dei vari settori della termotecnica e della produzione e utilizzazione di energia termica. Per perseguire i suoi scopi il CTI ha la facoltà di:

- collaborare con Organo Pubblici, Enti, Aziende e Associazioni che ne condividono gli scopi;
- collaborare e mantenere i rapporti con gli Organismi Europei internazionali di normazione che interessano il settore termotecnico;
- promuovere e partecipare a studi, pubblicazioni, riunioni, discussioni, iniziative di carattere scientifico e tecnico, esperienze e ricerche che attengono al settore termotecnico;
- realizzare ogni altra attività utile o necessaria al raggiungimento degli scopi sociali.⁴⁰

L'8 giugno 2016 è entrato in vigore il regolamento utilizzato tutt'oggi per la verifica degli

³⁹ Decreto Legislativo 14 luglio 2020, n.73 "Attuazione della Direttiva (UE) 2018/2002 che modifica la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica".

⁴⁰ Comitato Termotecnico Italiano, *Breve storia del CTI*. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=1>.

strumenti di calcolo e dei software commerciali in materia di calcolo della prestazione energetica ed il 29 giugno dello stesso anno il CTI ha pubblicato l'elenco degli applicativi informatici certificati. Dal quel giorno possono essere utilizzati, come strumento di calcolo della prestazione energetica degli edifici, solo i software presenti nell'elenco del CTI.

Il "regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI" in conformità con il Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico 26 Giugno 2015 stabilisce le modalità di verifica che i software devono rispettare, tra cui:

- gli indici di prestazione energetica calcolati dal software o dallo strumento di calcolo devono avere uno scostamento massimo del $\pm 5\%$ rispetto ai corrispondenti dati determinati con l'applicazione dello strumento nazionale;
- il software o lo strumento di calcolo che utilizza metodi semplificati deve riportare uno scostamento massimo compreso fra il $+20\%$ e il -5% rispetto ai corrispondenti dati determinati con l'applicazione dello strumento nazionale.⁴¹

L'integrazione al regolamento avvenuta il 2 dicembre 2019 prevede un controllo del mantenimento dei requisiti necessari all'ottenimento del certificato di garanzia di conformità da effettuare con cadenza biennale.

Si riporta nella tabella di seguito, l'elenco degli applicativi certificati (Tabella 1.1):⁴²

Tabella 1.1: Applicativi certificati secondo il Comitato Termotecnico Italiano (Comitato Termotecnico Italiano, Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62.>)

Produttore	Denominazione	Metodo semplificato	Protocollo	Versione	Certificato	Versione validata
Blumatica S.r.l.	Blumatica Energy	No	n. 69 (29/06/2016)	6.2.0.0	n. 64 (15/03/2017)	6.2.0.15
Logical Soft S.r.l.	Termolog EpiX	No	n. 70 (29/06/2016)	7 rel. 2016.11	n. 65 (15/03/2017)	7 rel. 2016.43
Namirial S.p.A.	Namirial Termo	No	n. 71 (29/06/2016)	4.0.0.300	n. 66 (15/03/2017)	4.1.3

⁴¹ Comitato Termotecnico Italiano, *Regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI*, 7 giugno 2016.

⁴² Comitato Termotecnico Italiano, *Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo*. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62.>

			6)		7)	
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 72 (29/06/2016)	40.00	n. 67 (15/03/2017)	40.00m
Analist Group S.r.l.	TermiPlan	No	n. 73 (29/06/2016)	2017 – 6.0	n. 68 (15/03/2017)	2017 – 6.1.3
Italsoft Group S.r.l.	Termiko One	No	n. 74 (29/06/2016)	2.0	n. 69 (15/03/2017)	2.1.3
Cype Ingenieros S.A.	Cypetherm C.E.	No	n. 75 (29/06/2016)	2017.a	n. 70 (15/03/2017)	2017.h
Geo Network S.r.l.	Euclide Certificazione Energetica	No	n. 76 (29/06/2016)	8.01	n. 71 (15/03/2017)	8.01p
Mc4Software Italia S.r.l.	Mc4 Suite	No	n. 77 (29/06/2016)	2017 rel.1.0	n. 72 (15/03/2017)	2017 rel. 1.05
Topoprogram & Service di Giuseppe Mangione & C. sas	Energetika 2000	No	n. 78 (29/06/2016)	14.00	n. 76 (03/07/2017)	14.00.01 8
Edilclima S.r.l.	EC 700 calcolo prestazioni energetiche degli edifici	No	n. 79 (01/07/2016)	7.0.0	n. 73 (15/03/2017)	7.2.0
Watts Industries Italia S.r.l.	Stima10/TFM	No	n. 80 (01/07/2016)	10.0	n. 74 (15/03/2017)	10.0.03

Mc4Software Italia S.r.l.	www.ape-online.it	No	n. 81 (01/07/2016)	3.0	n. 77 (03/07/2017)	3.1
Aermec S.p.A.	Masterclima MC 11300	No	n. 82 (05/07/2016)	3.00	n. 75 (15/03/2017)	3.09
ENEA e ITC-CNR	DOCET	Sì	n. 83 (14/07/2016)	3.16.06.47	n. 78 (12/04/2018)	3.16.06.47
ing. S. Daniele Alberti e ing. Antonio Mazzon	Lex10 Professional	No	n. 84 (19/07/2016)	8.00.0010	n. 79 (03/07/2017)	8.05.0100
Tep s.r.l.	Leto	No	n. 85 (19/07/2016)	4.0.0.4	n. 80 (03/07/2017)	4.0.2.5
Mc4Software Italia S.r.l.	Celeste	No	n. 86 (06/12/2016)	3.0	n. 81 (03/07/2017)	3.0
Acca Software S.p.A.	TerMus	No	n. 87 (26/06/2018)	50.00a BIM	N. 82 (11/10/2018)	50.00d BIM

1 L'IMPIANTO DI RISCALDAMENTO

La progettazione degli impianti, rappresenta un'attività molto importante, dalla quale dipendono sia le scelte architettoniche da effettuare sia i futuri consumi energetici dell'involucro. Gli impianti termici sono realizzati con lo scopo di mantenere, all'interno degli ambienti, condizioni termoigrometriche adeguate alla loro destinazione d'uso e favorire il benessere termico dell'occupante.⁴³ Per benessere termico si intende quella condizione psicofisica di soddisfazione per i parametri termoigrometrici e ambientali cosicché l'individuo percepisca una sensazione di neutralità termica non provando nessun disagio causato da un eccessivo riscaldamento o raffreddamento localizzato in qualsiasi parte del corpo.⁴⁴ Questi parametri sono: temperatura dell'aria, temperatura media radiante delle superfici che delimitano l'ambiente, umidità relativa dell'aria e velocità dell'aria. Essi vengono raccolti nell'equazione del benessere di Fanger dove risulta possibile determinare quali combinazioni delle grandezze caratterizzanti l'ambiente siano in grado di assicurare condizioni di benessere agli individui (Equazione 2.1).⁴⁵

$$f\left(\frac{M}{A}, \eta, R'_{ab}, t_{mr}, t_a, i_a, w_a\right) = 0$$

Equazione 2.1: Equazione di Fanger

Dove:

M, η : in relazione all'attività svolta (A=superficie del corpo umano)

R'_{ab}: in funzione dell'abbigliamento

t_{mr}, t_a, i_a, w_a: dipendenti dall'ambiente

Nella progettazione è quindi necessario tener in considerazione, attraverso una simulazione energetica, l'impatto della combinazione edificio-impianto sull'occupante in base al tipo di utenza e alla destinazione d'uso dell'edificio.

Per poter progettare in maniera adeguata un impianto è necessario tener a mente le

⁴³ Moretti E., *Classificazione degli impianti: gli impianti di riscaldamento*.

⁴⁴ Taidelli Palmizi A., *L'impianto di riscaldamento nella casa sana*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2005.

⁴⁵ Magrini A., *La progettazione degli impianti di climatizzazione degli edifici*, Roma, EPC LIBRI, 2004.

fasi progettuali qui riportate:

- individuazione delle specifiche di progetto: i dati progettuali quali temperatura interna, esterna, umidità relativa dell'ambiente, velocità dell'aria ambiente ecc.;
- calcolo dei carichi termici della struttura in funzione delle condizioni ambientali esterne ed interne;
- scelta della tipologia impiantistica da realizzare per raggiungere le specifiche di progetto;
- dimensionamento dei componenti d'impianto;
- schematizzazione della soluzione impiantistica;
- dimensionamento delle reti di distribuzione dei fluidi;
- disegno esecutivo degli impianti⁴⁶

Sono impianti termici gli impianti di: riscaldamento, climatizzazione, condizionamento e gli apparecchi autonomi. Tra questi il riscaldamento, come componente più importante della climatizzazione degli spazi, necessita di una progettazione più accurata.⁴⁷ Questo impianto ha il compito di modificare nella stagione fredda la temperatura dell'aria e quelle superficiali medie di pareti, soffitto e pavimenti allo scopo di renderle adeguate alle necessità degli occupanti. Il calcolo del calore che l'impianto deve fornire si basa sul concetto che l'edificio debba essere mantenuto in equilibrio termico alle temperature interne prescritte e ad una temperatura esterna convenzionale fissata, e debba esservi ristabilito lo stato di regime, se modificato da cause esterne.⁴⁸ La temperatura ottimale nei locali riscaldati si attesta nel nostro Paese intorno al valore di 20°C, che costituisce anche il limite fissato dall'Articolo 4 del Dpr 412/93 per quasi tutti i locali abitati. Un limite più ristretto, 18°C, viene riservato ai locali adibiti ad attività industriali, artigianali e assimilabili. Le suddette temperature possono essere superate per esigenze tecnologiche o di produzione per edifici industriali. Nell'operare queste scelte è necessario prestare attenzione alle reali condizioni d'uso dei locali e anche alle esigenze del personale che vi opera all'interno.⁴⁹

Gli impianti di riscaldamento possono essere di tipo diverso a seconda della destinazione d'uso degli edifici, del fluido termovettore utilizzato, dal costo e quindi dalla qualità che si desidera avere. Ogni impianto è composto di tre sezioni fondamentali: generazione, distribuzione e trasferimento del calore che devono essere correttamente dimensionate per poter trasportare tutta l'energia prodotta a destinazione: se si sottodimensiona una di queste sezioni tutto l'impianto funzionerà male o non funzionerà affatto.

⁴⁶ Cammarata G., *Impianti termotecnici- Volume II- Impianti di Riscaldamento*, 21 agosto 2016.

⁴⁷ Taidelli Palmizi A., *L'impianto di riscaldamento nella casa sana*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2005.

⁴⁸ *Manuale Ideal riscaldamento*, Milano, Ideal-Standard S.p.a., 1963.

⁴⁹ Bearzi V., *Impianti di riscaldamento- guida alla progettazione del sistema edificio-impianto*, Milano, Tecniche Nuove, 2012.

1.1 Generazione di calore

La prima componente di un sistema di riscaldamento è la generazione del calore che può avvenire in diversi modi, a seconda della tecnologia adottata. Tra i generatori è possibile effettuare una classificazione funzionale:

- caldaia: apparecchio destinato a scaldare un liquido, generalmente acqua, a produrne eventualmente la vaporizzazione e predisporre i fluidi prodotti- acqua, olio o vapore- agli usi termici di destinazione;
- generatore termico: complesso impiantistico che comprende caldaia, bruciatore o sistema di alimentazione del focolare e sistemi aggregati di espulsione dei prodotti della combustione, di alimentazione per rabbocco del liquido vaporizzato, di sicurezza, misura e controllo con relativa strumentazione meccanica, elettrica ed elettronica;
- gruppo termico: termine di significato analogo a quello di generatore termico, composto però da un insieme in grado di fornire servizi, come il riscaldamento e la produzione dell'acqua calda sanitaria, incorporando lo scaldacqua con relativo scambiatore.

Si possono classificare i generatori termici a seconda del fluido termovettore:

- ad acqua calda: vettore termico preferito per quasi tutti gli utilizzi termici poiché molto adatta agli scambi per il suo calore specifico, la sua semplicità di trasporto dell'energia termica e il suo basso impatto ambientale;
- ad acqua surriscaldata;
- a olio diatermico;
- ad aria calda;
- a vapore.

Si distinguono poi generatori o gruppi termici:

- a combustione di gas;
- a combustione di liquidi;
- a combustione di solidi;
- policombustibili.⁵⁰

Queste, bruciando un combustibile, permettono di scaldare il fluido ventilconvettore presente nel sistema.⁵¹ Sono cinque, in particolare, i fattori che contribuiscono al calcolo della corretta potenza ideale per poter riscaldare l'ambiente in maniera ottimale:

⁵⁰ Bearzi V., *Impianti di riscaldamento- guida alla progettazione del sistema edificio-impianto*, Milano, Tecniche Nuove, 2012, p. 132-133.

⁵¹ *L'impianto di riscaldamento: una panoramica sui componenti e sul loro funzionamento*, 19 giugno 2020. Consultabile in: <https://www.ectmingeria.it/2020/06/19/come-e-fatto-impianto-di-riscaldamento-funzioni-tipologie/>.

- il volume dell'ambiente da riscaldare, quindi il totale in metri cubi;
- il grado di isolamento termico della stanza;
- la temperatura esterna media;
- la qualità degli infissi (es. presenza o meno di doppi vetri);
- numero di finestre presenti.

Tale potenza viene calcolata in kW ed è ottenuta moltiplicando il volume della stanza per il coefficiente di coibentazione, che può variare da 0,4 a 0,6, ovvero da buono a scarso isolamento termico.⁵²

1.1.1 Caldaia

La caldaia è l'elemento dell'impianto nel quale il calore ottenuto dalla combustione viene trasferito al fluido termovettore. A seconda del materiale di costruzione, la caldaia può essere a elementi di ghisa o di acciaio. Le caldaie di ghisa durano più a lungo perché resistono meglio alla corrosione. A causa del peso eccessivo vengono fornite a elementi separati e devono essere assemblate sul posto; ciò ne consente l'impiego anche in locali di difficile accesso dove sarebbe impossibile installare delle caldaie monoblocco. Le caldaie di acciaio sono invece formate da un grosso cilindro di lamiera immerso nell'acqua e attraversato dai fumi molto caldi prodotti dalla combustione. Hanno un ottimo rendimento e una buona tenuta alla pressione idrostatica; per questo motivo sono consigliabili per il riscaldamento di edifici molto alti. Le caldaie di acciaio possono essere: a tubi di fumo, a tubi d'acqua, monoblocco.

In entrambi i tipi di caldaia bisogna far sì che la temperatura dell'acqua all'ingresso non risulti mai inferiore a circa 55 °C, perché in questo caso il vapore acqueo contenuto nei fumi potrebbe condensare sulla superficie interna della caldaia determinando processi di corrosione.

Il rendimento è una caratteristica fondamentale di una caldaia. Si chiamano ad alto rendimento le caldaie che, con vari accorgimenti, consentono un rendimento di produzione pari o superiore al 90% del rendimento teorico.

1.2 Distribuzione del calore

Per la distribuzione del calore gli impianti di riscaldamento si servono di condutture grazie alle quali il fluido termovettore si distribuisce dal generatore ai terminali attraverso dei circuiti. Schematicamente si possono distinguere in due principali categorie: a colonne montanti e complanari. Lo schema a colonne montanti presenta tre tipologie:

- a pioggia: schema più antico, originariamente destinato alla circolazione naturale dove da un unico punto di scarico si ottiene il completo svuotamento di tutto il sistema

⁵² Guida per il calcolo dell'impianto di riscaldamento della casa, 5 novembre 2018. Consultabile in: https://www.pgCasa.it/articoli/riscaldamento/guida-per-il-calcolo-dell'impianto-di-riscaldamento-della-casa__11793.

(Figura 2.1);

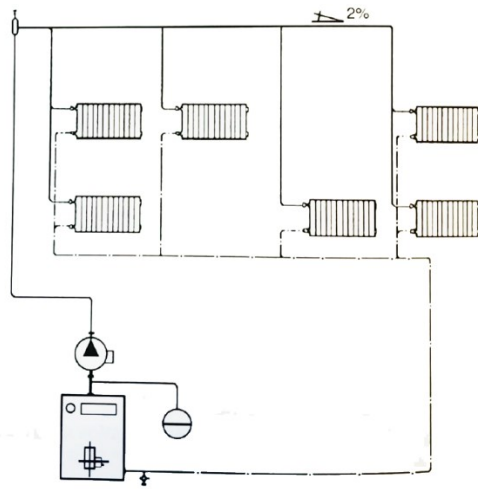


Figura 2.1: Schema impianto a pioggia

- a sorgente: i dorsali principali corrono tipicamente a soffitto del piano cantine e le colonne montanti si rastremano verso l'alto. La circolazione naturale risulta meno favorita ma anche in questo caso da un unico punto di scarico è possibile ottenere il completo svuotamento del sistema (Figura 2.2);

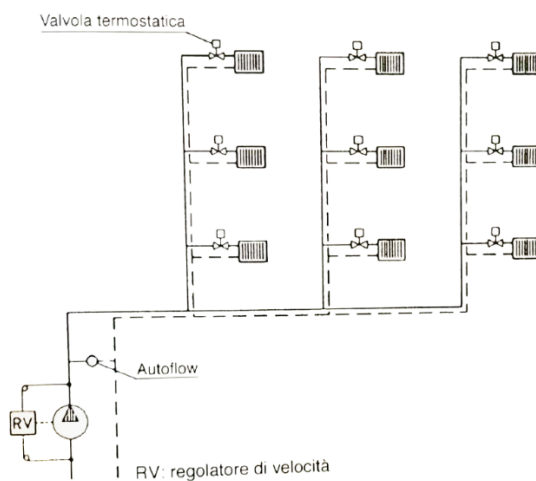


Figura 2.2 Schema impianto a sorgente

- a sifone: è utile per servire i radiatori di un edificio esistente, installando i dorsali di distribuzione nella soffitta, senza necessità di rottura del pavimento. Per svuotare tale impianto è necessario agire al piede di ogni colonna (Figura 2.3).⁵³

⁵³ Bearzi V., *Impianti di riscaldamento- guida alla progettazione del sistema edificio-impianto*, Milano, Tecniche Nuove, 2012, p. 164-165.

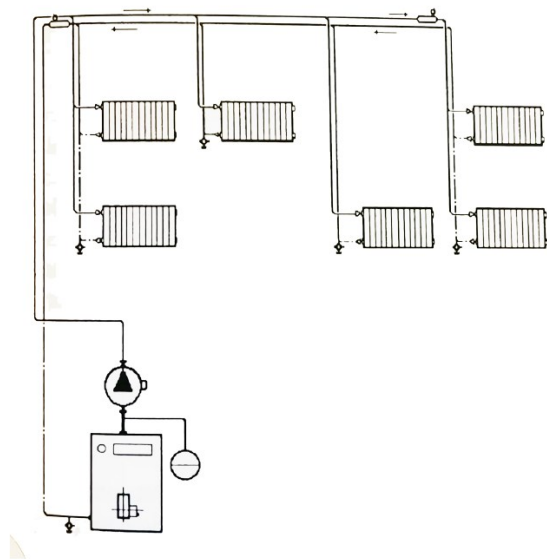


Figura 2.3: Schema impianto a sifone

Per quanto riguarda lo schema complanare esso può essere distinto in:

- ad anello monotubo: si tratta di una distribuzione sul perimetro della superficie da scaldare dove i corpi scaldanti sono posti in serie, quattro o sei per ciascuna colonna montante. È generalmente dotato di un'unica tubazione per l'andata e per il ritorno sulla quale sono inseriti in derivazione i corpi scaldanti. Con questa disposizione la temperatura dell'acqua che alimenta i singoli corpi scaldanti è progressivamente minore, indicazione da tener in considerazione al fine del calcolo della superficie di cambio dei corpi scaldanti. La lunghezza delle tubazioni è ridotta e permette una maggior garanzia sulla tenuta. (Figura 2.4);

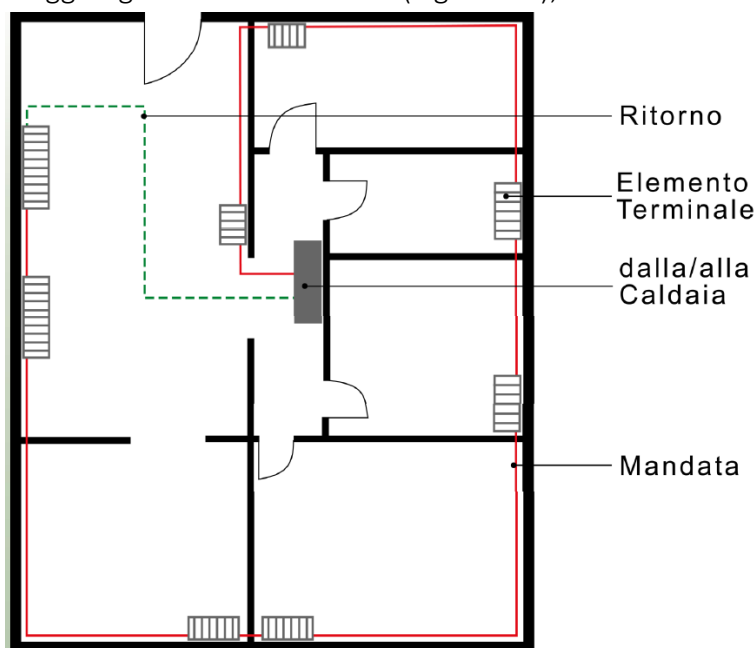


Figura 2.4: Schema di impianto complanare monotubo con terminali in serie

- ad anello a due tubi: consente la possibilità di regolare un singolo terminale con un impiego di tubazioni minore rispetto ai casi precedenti. Consiste nel servire in serie e parallelo con due tubi i diversi terminali, che prelevano il fluido dal tubo di mandata e lo scaricano su quello di ritorno (Figura 2.5);

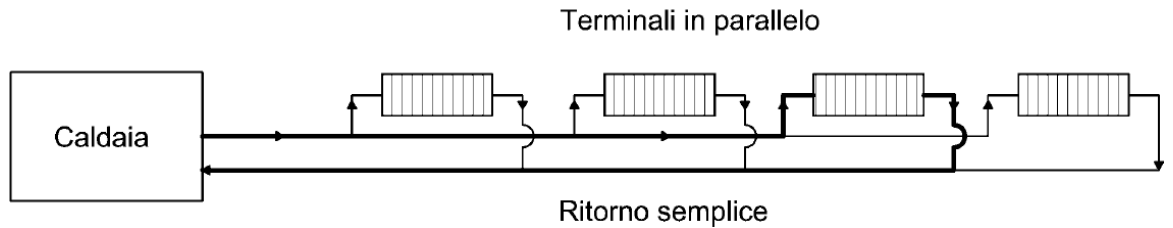


Figura 2.5: Schema di impianto a due tubi e ritorno semplice

- a collettori complanari: dal collettore partono tanti tubi di diametro ridotto quanti sono gli elementi terminali (Figura 2.6).

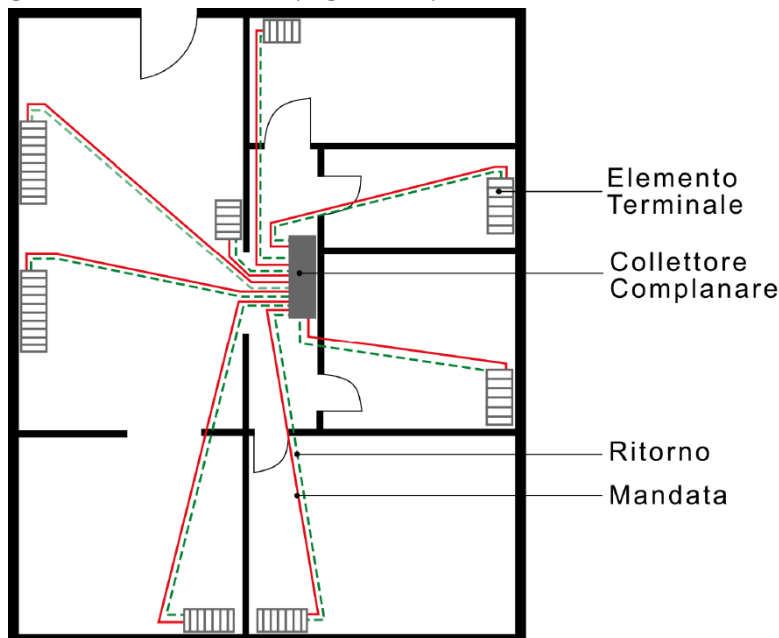


Figura 2.6: Schema di impianto a collettori complanari

Le tubazioni, che variano per dimensione, sono generalmente di tre materiali differenti:

- rame: è utilizzato maggiormente laddove sono necessari piccoli diametri, inferiori a 20 mm poiché ha una buona manovrabilità e lavorabilità che permettono di adattare le tubazioni alle esigenze dell'edificio. i raccordi sono realizzati in bronzo così da poter essere saldati al rame mediante brasatura;
- acciaio: è utilizzato per tubazioni di diametro superiore ai 20 mm poiché più agevole durante la lavorazione dei pezzi speciali. Tra i vari tipi di acciaio è preferibile utilizzare quello senza saldature per scopi impiantistici;

- plastica.⁵⁴

Prendendo in considerazione la rete di distribuzione è possibile calcolarne il rendimento, definito rendimento di distribuzione, come il rapporto tra l'energia termica richiesta da ogni singola zona e quella condotta dalla rete di tubazioni, inclusa la parte scambiata con l'ambiente circostante e non recuperata (Equazione 2.2):

$$\eta_{distr} = \frac{Q_{Hr}}{Q_{Hr} + Q_{dnr}}$$

Equazione 2.2: Rendimento di distribuzione

1.3 Trasferimento del calore

Il trasferimento avviene attraverso i terminali, progettati per permettere all'aria di circolare in modo da diffondere calore nell'ambiente, e alimentati dalla rete di distribuzione. La scelta del terminale, definito anche corpo scaldante, risulta fondamentale per il benessere degli utenti, in coincidenza con il corretto impiego dell'energia.

La trasmissione del calore può attuarsi in tre differenti modi: conduzione, convezione o irraggiamento. Tutte e tre le modalità di trasmissione richiedono l'esistenza di una differenza di temperatura e si manifestano da una regione a temperatura superiore ad un'altra con temperatura inferiore.⁵⁵

1.3.1 Conduzione

La conduzione termica è il trasferimento di energia che si verifica per effetto dell'interazione delle particelle di una sostanza dotate di maggiore energia con quelle adiacenti dotate di minor energia. La conduzione può avvenire nei solidi, nei liquidi o nei gas. Il trasferimento risulta più facile quanto più la sezione di passaggio è ampia, minore è la distanza tra le due zone, maggiore è il divario di temperatura e maggiore è la conducibilità termica specifica della sostanza costituente il corpo.

Materiali differenti conducono il calore in maniera differente, hanno quindi una diversa conduttività termica λ . La conduttività termica di un materiale viene definita come la potenza termica che si trasmette attraverso uno spessore unitario del materiale per unità di superficie e per differenza di temperatura unitaria. Un valore elevato di questo parametro indica che il materiale è un buon conduttore di calore, mentre un valore basso indica che è un cattivo conduttore, cioè un isolante. Questa proprietà varia a seconda della temperatura, tale variazione in determinati intervalli di temperatura è trascurabile per alcuni materiali, ma significativa per altri. Poiché la dipendenza dalla temperatura della conduttività termica complica in maniera considerevole l'analisi della conduzione si adoperava un valore costante,

⁵⁴ E. Moretti, *Classificazione degli impianti: gli impianti di riscaldamento*.

⁵⁵ Cengel Y. A., Dall'O' G., Sarto L., *Fisica Tecnica Ambientale*, New York, McGraw-Hill Education, 2017, p. 410.

calcolato ad una temperatura media.⁵⁶

1.3.2 Convezione

La convezione è la propagazione del calore operata da fluidi, cioè da liquidi e gas, tramite la loro mobilità. Se una fiamma si pone sotto un recipiente di acqua in quiete, le particelle a contatto con il fondo si riscaldano, si dilatano e, divenuto minore il loro peso specifico, vanno verso l'alto cedendo così il posto ad altre particelle che fanno altrettanto. Il sistema a convezione per eccellenza è rappresentato dal riscaldamento ad aria che comporta il riscaldamento di quest'ultima in un sito apposito ad una temperatura maggiore rispetto all'ambiente.

1.3.3 Irraggiamento

L'irraggiamento è l'energia emessa da una sostanza sotto forma di onde elettromagnetiche come risultato delle modificazioni nelle configurazioni elettroniche degli atomi o delle molecole. La trasmissione di calore per irraggiamento non richiede la presenza di un mezzo interposto, diversamente dalla conduzione e dalla convezione, poiché avviene alla velocità della luce e non subisce attenuazioni nel vuoto. Uno dei più diffusi sistemi radianti è rappresentato da pannelli o tubazioni annegati nelle strutture.⁵⁷

Questi tre modi per trasmettere il calore sono stati considerati come metodi di propagazione del calore assestanti per poterne intendere al meglio natura e caratteristiche. Nella realtà i modi agiscono in maniera combinata: tutti i corpi scaldanti operano per convezione o per irraggiamento spesso in combinazione tra loro come per esempio i radiatori.

Sono differenti i tipi di terminali che sono attualmente in commercio. Tra questi possono essere citati:

- radiatori;
- termoconvettori;
- piastre radianti;
- ventilconvettori e aerotermi;
- pannelli e strisce radianti.

È possibile costruire una scala indicativa del comfort, graduata da 1 a 10, a seconda del tipo di trasmissione e delle temperature in gioco, nel campo degli impianti ad acqua (Tabella 2.1).

⁵⁶ Cengel Y. A., Dall'O' G., Sarto L., *Fisica Tecnica Ambientale*, New York, McGraw-Hill Education, 2017, p. 412-415.

⁵⁷ *Manuale Ideal riscaldamento*, Milano, Ideal-Standard S.p.a., 1963.

Tabella 2.1: Scala di comfort degli impianti ad acqua a seconda del tipo di trasmissione e delle temperature

Punteggio	Terminale riscaldante	Θ media del termovettore	Θ superficiale o di immissione aria	Gradiente termico
1	Aerotermi	80 °C	50 °C	Altissimo
2	Termoventilazione con batteria a temperatura elevata	70 °C	50 °C	Altissimo
3	Termoventilazione (ventilconvettori) con batteria a bassa temperatura	50 °C	30 °C	Alto
4	Tubi nervati ad alta temperatura	80 °C	50 °C	Alto
5	Radiatori ad alta temperatura e termoconvettori	80 °C	40 °C	Medio
6	Termostrisce pensili	80 °C	50 °C	Basso
7	Radiatori a media temperatura	50-60 °C	40-50 °C	Basso
8	Radiatori a piastra a bassa temperatura	40-50 °C	30-40 °C	Trascurabile
9	Pannelli radianti annegati nelle pareti	30-35 °C	26-28 °C	Trascurabile
10	Pannelli radianti annegati nel pavimento	30-35 °C	26-28 °C	Quasi nullo

Il rendimento di emissione di un corpo scaldante si attiene alla tabella seguente (Tabella 2.2).

Tabella 2.2: Rendimento di emissione di un corpo scaldante

Terminale di erogazione	η_e
Termoconvettori	0.99
Ventilconvettori	0.98
Bocchette aria calda	0.97
Radiatori*	0.96
Pannelli radianti isolati dalle strutture**	0.97
Pannelli radianti annegati nelle strutture**	0.95

*Riferito a una temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C, a un'installazione su parete divisoria interna, oppure a ridosso di una parete esterna ben isolata e con presenza di superficie riflettente sul lato interno. In assenza di superficie riflettente il valore riportato deve essere diminuito di 0.02. in presenza di parete esterna non isolata il valore deve essere ulteriormente ridotto di 0.04. per temperatura di mandata dell'acqua di 65°C il valore del prospetto deve essere incrementato di 0.03; le altre correzioni assumono gli stessi valori.

**Riferiti a un'installazione tra ambienti riscaldati oppure in una struttura muraria isolata esternamente e avente un coefficiente globale di trasmissione termica di 0.8 W/m²K.

Il rendimento dei corpi scaldanti è dato dal rapporto fra la quantità di energia richiesta dalla zona termica esaminata in condizioni ideali e l'energia fornita dal terminale di erogazione in condizioni reali (Equazione 2.3):⁵⁸

$$\eta_{em} = \frac{Q_H}{Q_{hae}}$$

Equazione 2.3: Rendimento corpi scaldanti

La normale funzionalità degli impianti di riscaldamento può realizzarsi a regime

⁵⁸ Bearzi V., *Impianti di riscaldamento- guida alla progettazione del sistema edificio-impianto*, Milano, Tecniche Nuove, 2012, p. 152-153.

continuo, ovvero con attenuazioni o riduzioni nell'arco settimanale o nelle ventiquattr'ore. Negli uffici e nei locali pubblici o privati aperti in determinati orari è opportuno provvedere allo spegnimento degli impianti negli orari di sosta, nelle festività nei giorni di assenza dal lavoro specialmente dove il riscaldamento avviene per termoventilazione. Lo spegnimento comporta infatti una drastica diminuzione dei consumi di energia elettrica oltre che di energia termica. Oltre a questo permette di prolungare la vita attiva degli elettroventilatori e delle pompe e riduce lo sporcamento dei filtri in propagazione diretta ai tempi di funzionamento. La ripresa del funzionamento a regime, dopo soste più o meno prolungate, necessita di un tempo di preaccensione afferente alla tipologia di terminale.

1.3.4 Radiatore

I radiatori sono corpi scaldanti che cedono calore per convezione naturale ed irraggiamento. La percentuale di potenza termica ceduta per irraggiamento è di circa il 30% della potenza del radiatore. Se questo viene coperto tale potenza viene in parte perduta e per bilanciarla è necessario aumentare il numero di elementi del radiatore. L'installazione ottimale è sotto le finestre o lungo le pareti esterne.

In base al materiale con cui sono costruiti, i radiatori possono essere suddivisi nei seguenti tipi:

- Ghisa: Modulari con elementi a colonne o piastre di conseguenza si possono realizzare corpi scaldanti di potenzialità adeguata alle esigenze dell'ambiente in cui devono essere installati; resistenti alla corrosione con una vita utile molto lunga. Sono molto pesanti e hanno un'elevata inerzia termica: da un lato, l'ambiente si mantiene caldo per un certo periodo di tempo dopo lo spegnimento dell'impianto, dall'altro, la temperatura interna dell'ambiente si porta a regime con un ritardo superiore rispetto al caso in cui si impieghino radiatori in acciaio o alluminio.
- Acciaio: Sono costituiti da elementi saldati (piastre, lamelle, colonne), pertanto non sono componibili ma le proprietà meccaniche dell'acciaio permettono la realizzazione di radiatori di forme e dimensioni tali da risultare più leggeri e meno costosi rispetto a quelli in ghisa. Lo svantaggio principale è che sono soggetti a corrosione pertanto hanno una vita utile più breve rispetto a quelli in ghisa.
- Alluminio: Si caratterizzano per la leggerezza e la resistenza alle corrosioni esterne; sono costituiti da elementi componibili realizzati per estrusione o pressofusione. Sono leggermente più costosi rispetto ai radiatori in acciaio e possono essere soggetti a corrosioni interne nel caso in cui l'acqua sia troppo addolcita; hanno un'inerzia termica molto bassa.

Le temperature a cui lavorano i radiatori si aggirano intorno ai 75° dell'acqua in ingresso e 65° in uscita. Temperature più elevate dell'acqua non sono consigliabili in quanto si possono attivare forti moti convettivi e quindi contribuire al formarsi di zone con aria più calda a soffitto e più fredda a pavimento. Temperature di progetto troppo basse aumentano notevolmente il

costo dell'impianto e l'ingombro dei radiatori.⁵⁹

1.4 Dimensionamento dell'impianto di riscaldamento

Il dimensionamento degli elementi terminali è sviluppato con l'ausilio dei cataloghi delle ditte produttrici dove sono riportati i dati necessari ai calcoli: potenza termica sviluppata, perdite di carico imputabili all'elemento, portata del fluido termovettore, temperature d'esercizio. Conoscendo le dimensioni del locale servito e calcolando il contributo dei diversi carichi termici, è possibile ottenere una prima stima sulla potenza termica richiesta in ambiente.

Per il dimensionamento dei corpi scaldanti si considera la potenza termica nominale riferita alla differenza tra la temperatura media dell'acqua nell'elemento terminale e la temperatura ambiente (ΔT); ΔT è un valore fissato, pari a 50°C, ma lo si può ottenere anche mediando il valore di temperatura dell'acqua in ingresso e quello in uscita dall'elemento terminale. Per ΔT diversi da quello di riferimento, la potenza dell'elemento (Q) si ricava mediante la relazione seguente (Equazione 2.4):

$$Q = K_m \Delta T^n$$

Equazione 2.4: Potenza dell'elemento

Dove K_m e n sono rispettivamente coefficiente di trasmissione termica e esponente funzione del corpo scaldante. I loro valori sono tabulati nei dati del singolo modello.

Noto il carico termico Q del locale e determinato ΔT , si calcola la portata di fluido necessaria ad alimentare il corpo scaldante mediante la relazione (Equazione 2.5):

$$g = \frac{Q}{\gamma_{H_2O} \rho_{H_2O} \Delta T_{H_2O}} \quad (m^3/s)$$

Equazione 2.5: Portata del fluido in ingresso

Dove:

Q è la potenza termica richiesta in ambiente (kW);

γ_{H_2O} il calore specifico dell'acqua (kJ/kg °C)

ρ_{H_2O} la densità dell'acqua (kg/m³)

ΔT la differenza tra la temperatura dell'acqua in ingresso e in uscita dall'elemento scaldante.

La potenza termica Q in realtà deve essere corretta calcolando il cosiddetto fattore di resa di ogni corpo scaldante, in base alle diverse tipologie. La potenza termica scambiata

⁵⁹ Moretti E., *Classificazione degli impianti: gli impianti di riscaldamento*.

effettivamente con l'ambiente nelle condizioni di funzionamento può essere infatti calcolata come (Equazione 2.6):

$$Q_{eff} = Q_{nom}F$$

Equazione 2.6: Potenza termica effettiva

Dove:

Q_{eff} è la potenza termica effettiva (W)

Q_{nom} quella nominale (W)

F è il fattore correttivo globale

Noti i dati sopraindicati e fissato il salto termico tra fluido in ingresso e in uscita dal corpo scaldante, è possibile effettuare il predimensionamento dei corpi scaldati. Questa operazione consiste nella scelta di:

- altezza del terminale;
- numero di colonne;
- numero di elementi

sulla base delle rese termiche nominali fornite dal produttore.

Per il dimensionamento delle tubazioni si ricorre a diagrammi che legano le portate e le perdite di carico alla velocità e al diametro delle tubazioni (Figura 2.7). Infatti, per ottenere il massimo trasferimento di energia termica con il minimo diametro è necessario aumentare la velocità. Questo ha come conseguenza l'aumento delle perdite di carico. È quindi auspicabile prevedere una soluzione in grado di ottimizzare le esigenze e che lavori a favore di sicurezza prevedendo, come dati di ingresso nei diagrammi di portata, perdite di carico inferiori a 150 Pa/m e velocità inferiori a 1-1.5 m/s.

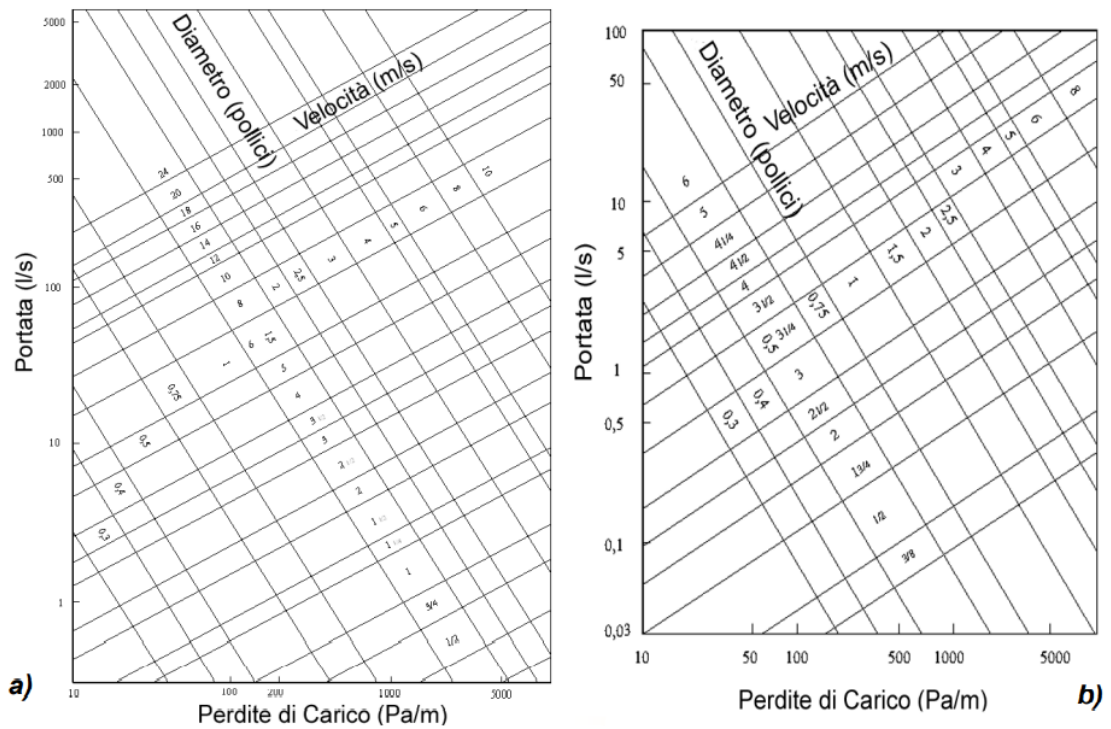


Figura 2.7: Diagramma portata-perdita di carico per tubazioni in acciaio a), in rame b).

Una volta determinata la portata si entra nel diagramma soprariportato; a seconda della tipologia di tubazione e assegnando il valore della perdita di carico o di portata si determinano il diametro equivalente e la velocità. Le perdite di carico concentrate sono dovute ad irregolarità presenti all'interno della tubazione, che causano una riduzione del carico. Irregolarità tipiche sono: brusche variazioni di sezione, curve, gomiti, giunzioni, valvole e in generale la presenza di qualunque apparecchiatura attraversata dal fluido.

Note le quattro grandezze per ogni tratto di tubazione, il circuito è dimensionato. Per poter dimensionare la pompa è necessario individuare la perdita di carico totale (R_{tot}) sommando le perdite di carico ripartite (R_d) e quelle concentrate (R_c) (Equazione 2.7):

$$R_{tot} = R_d + R_c$$

Equazione 2.7: Perdita di carico totale

La perdita di carico distribuita viene calcolata sul circuito più sfavorito utilizzando la relazione (Equazione 2.8):

$$R_d = \sum_{i=1}^n L_i R_{di}$$

Equazione 2.8: Perdita di carico distribuita

Dove:

R_d è la perdita di carico distribuita del circuito più sfavorito (Pa)

L_i la lunghezza del tratto i-esimo del circuito più sfavorito (m)

R_{di} la perdita di carico per unità di lunghezza del tratto i-esimo del circuito più sfavorito (Pa/m)

La perdita di carico concentrata totale del tratto più sfavorito è data da (Equazione 2.9):

$$R_c = \sum_{i=1}^n L_{eqi} R_i$$

Equazione 2.9: Perdita di carico concentrata totale

Dove:

R_c sono le perdite di carico concentrate del circuito più sfavorito (Pa)

L_{eqi} la lunghezza equivalente dell'i-esima discontinuità presente nel circuito più sfavorito (m)

R_{di} la perdita di carico per unità di lunghezza del tratto i-esimo sul quale si trova la discontinuità in esame (Pa/m).

1.5 Impianto centralizzato e impianto autonomo

Gli impianti di riscaldamento centralizzati sono utilizzati per il riscaldamento di più alloggi o di interi edifici. Sono costituiti da un generatore di calore (o caldaia), di potenza adeguata al fabbisogno termico dell'edificio, posto in un ambiente dotato di particolari requisiti, detto centrale termica o locale caldaia. Il fluido termovettore può essere acqua, vapore o aria. Gli impianti ad acqua sono i più diffusi negli edifici multipiano, residenziali o per uffici, mentre quelli a vapore, ad alta o a bassa pressione, sono usati ormai quasi esclusivamente per riscaldamento industriale nei casi in cui il fluido scaldante debba essere trasferito a grande distanza e quindi richieda elevate temperature in partenza. Gli impianti ad aria sono di uso frequente nel riscaldamento di capannoni, officine o locali commerciali di piccole e medie dimensioni. Negli impianti ad acqua e a vapore una rete di tubazioni provvede a trasferire il fluido termovettore dal generatore ai terminali di erogazione (per esempio i radiatori). In quelli ad aria la distribuzione avviene per mezzo di una rete di canali di lamiera. Negli impianti ad acqua la circolazione del fluido può essere naturale o forzata impiegando una o più pompe. I primi impianti realizzati erano quasi tutti a *circolazione naturale*; veniva sfruttata la differenza di densità fra l'acqua dell'andata e l'acqua del ritorno ai corpi scaldanti, dovuta alla differenza di temperatura che si produceva per la cessione di calore nei corpi scaldanti stessi.

Negli impianti a vapore, invece, il fluido si sposta verso l'alto per circolazione naturale senza l'ausilio di mezzi meccanici; le pompe vengono utilizzate per riportare il vapore condensato (quindi allo stato liquido) in caldaia. Negli impianti ad aria la circolazione dell'aria nei canali avviene grazie a ventilatori. Gli impianti centralizzati più comuni negli edifici

residenziali sono gli impianti ad acqua calda con circolazione forzata.

Gli impianti di riscaldamento autonomo, attualmente molto diffusi, sono costituiti da un generatore di calore di taglia media di circa 35 kW termici, già munito di pompa di circolazione, che viene installato in un ambiente dell'unità immobiliare. Si può osservare che gli impianti presentano, componenti molto simili a quelli degli impianti più grandi per cui possono essere considerati come impianti centralizzati a livello di ogni singola unità abitativa. La grande diffusione degli impianti autonomi è stata determinata dalla possibilità di farli funzionare secondo le esigenze dell'utente; il rendimento globale è più basso rispetto agli impianti centralizzati con maggiori costi di esercizio. La distribuzione dell'acqua calda avviene con le stesse modalità viste per gli impianti centralizzati. I vantaggi di questi impianti sono il fatto che il collegamento tra gli elementi terminali è costituito da un tubo di piccolissime dimensioni, non esistono problemi di congelamento.

1.6 Riferimenti normativi

1.6.1 UNI 10412

La norma si divide in due differenti parti, la prima entrata in vigore il 3 agosto 2006, stabilisce le condizioni e le modalità di progettazione, di installazione e verifica ai fini della sicurezza degli impianti di riscaldamento che utilizzano quale fluido termovettore, acqua calda ad una temperatura non maggiore di 110 °C. La norma si applica ai circuiti idraulici degli impianti termici con vaso d'espansione aperto o chiuso, serviti da generatori di calore, funzionanti con combustibili liquidi, gassosi, solidi polverizzati o con energia elettrica, singoli o disposti in batteria e da sistemi modulari.⁶⁰

La seconda parte della norma denominata "Requisiti specifici per impianti con apparecchi per il riscaldamento di tipo domestico alimentati a combustibile solido con caldaia incorporata, con potenza del focolare complessiva non maggiore di 35 kW" ed entrata in vigore il 26 marzo 2009, stabilisce le condizioni e le modalità di progettazione e di installazione ai fini della sicurezza degli impianti di riscaldamento che utilizzano quale fluido termovettore acqua calda ad una temperatura non maggiore di 110 °C con potenza termica utile del focolare non maggiore di 35 kW. La norma si applica ai circuiti idraulici degli impianti termici per riscaldamento ad acqua calda, sotto pressione, e per produzione di acqua calda per i servizi igienici sanitari, con vaso di espansione aperto o chiuso, serviti da generatori di calore, quali stufe e caminetti, funzionanti con combustibili solidi, solidi pellettizzati, cippati, solidi non polverizzati, a caricamento manuale, automatico e automatico-manuale, a circolazione forzata o naturale del fluido termovettore, singoli o abbinati ad altri generatori.⁶¹

⁶⁰ UNI, *UNI 10412-1:2006*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10412-1-2006>.

⁶¹ UNI, *UNI 10412-2:2009*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10412-2-2009>.

1.6.2 UNI EN 15316

Entrate in vigore il 22 febbraio 2018 le nuove norme UNI EN 15316 riguardano i sistemi di riscaldamento e di generazione di acqua calda sanitaria, i sistemi di combustione, quelli di generazione per il riscaldamento degli ambienti e delle pompe di calore. Esse stabiliscono le metodologie di calcolo per il consumo energetico e la prestazione energetica degli edifici.

La UNI EN 15316-1 fa parte di una serie di norme sul metodo di calcolo dei requisiti energetici del sistema e sull'efficienza del sistema di sistemi di riscaldamento dell'ambiente e di acqua calda sanitaria. Specifica come eseguire il calcolo dell'intera installazione utilizzando i moduli di calcolo corrispondenti ai metodi definiti nei rispettivi standard.

La UNI EN 15316-2 è relativa al calcolo del rendimento energetico dei sistemi di riscaldamento e dei sottosistemi di emissione idronici, la sua utilità è quella di standardizzare a livello europeo gli input richiesti, gli output e la struttura del metodo di calcolo.

Nella sua terza parte la norma tratta i sistemi di generazione di calore, sistemi solari termici (per il riscaldamento di ambienti, produzione di acqua calda sanitaria e combinazione di entrambi) e per sistemi fotovoltaici applicati negli edifici. All'interno di questa norma, vengono specificati 6 metodi, ognuno con il proprio intervallo di applicabilità.

Nel medesimo giorno sono entrate in vigore sette norme UNI che ricadono sotto la famiglia della UNI EN 15316-4-1:2018, si tratta di parti successive alla norma principale e riguardano il calcolo della prestazione energetica degli edifici con differenti sistemi di generazione del calore.⁶² La norma specifica:

- input richiesti;
- un metodo di calcolo;
- risultati ottenuti;
- un metodo per tenere conto delle prestazioni energetiche dei dispositivi di generazione di calore basati sulla combustione di carburante.⁶³

1.6.3 UNI EN 12831

La UNI EN 12831-1, è entrata in vigore l'8 marzo 2018 e riguarda i metodi per il calcolo del carico termico di progetto per singole stanze, entità di edifici ed edifici, in cui il carico termico di progetto è definito come l'erogazione di calore (potenza) necessaria per mantenere la temperatura interna di progettazione richiesta in condizioni esterne di progettazione.⁶⁴

⁶² ExpoClima, *Prestazione energetica degli edifici: in vigore le nuove UNI EN 15316 per le modalità di calcolo*, 27 febbraio 2018. Consultabile in: <https://www.expoclima.net/prestazione-energetica-degli-edifici-in-vigore-le-nuove-uni-en-15316-per-le-modalit%C3%A0-di-calcolo>.

⁶³ EdilTecnico, *Metodi di calcolo per la prestazione energetica: in vigore le norme*, 27 febbraio 2018. Consultabile in: <https://www.ediltecnico.it/61393/metodicalcolo-prestazione-energetica-norme/>.

⁶⁴ UNI, *UNI EN 12831-1:2018*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-12831-1-2018>.

STRUMENTI OPERATIVI PER LA DIAGNOSI ENERGETICA

1 INTRODUZIONE

Alla luce di quanto osservato finora è quindi di fondamentale importanza, per poter contenere i consumi ed i costi energetici, che il dimensionamento degli impianti e la loro gestione all'interno di un edificio sia eseguito tenendo in considerazione anche gli altri fattori che possono andar ad incidere sull'edificio. È possibile eseguire tale valutazione attraverso una simulazione energetica eseguita con software specifici.

La simulazione dinamica permette un buon margine di risparmio grazie al corretto dimensionamento degli impianti. Il metodo per progettare un impianto di riscaldamento o raffrescamento si è basato, nel passato, sul dimensionamento dei picchi di potenza e sull'utilizzo di rapide formule di moltiplicazioni basate sulla volumetria e sui fattori di sicurezza. Queste approssimazioni hanno portato nella maggior parte dei casi ad un sovradimensionamento dell'impianto e ad un conseguente aumento dei costi e dei consumi in tutto l'arco della vita di un immobile.

I software di simulazione dinamica calcolano i dati secondo un intervallo temporale limitato, rispetto alla simulazione semi-stazionaria ed arrivano a intervalli anche di un minuto. Questi considerano inoltre, come già osservato, il fattore di inerzia termica cioè la capacità dell'immobile di immagazzinare il calore. La simulazione dinamica, attraverso l'utilizzo di software avanzati, definisce quindi dati molto simili a quelli reali.

I risultati che si ottengono nel singolo ambiente da una BPS sono:

- temperatura dell'aria e temperatura percepita;
- temperatura dell'aria al pavimento ed al soffitto;
- temperatura e flussi di calore sulle singole superfici;
- bilancio termico;
- benessere termo-igrometrico secondo gli indici di Fanger (PPD, PMV);
- qualità dell'aria interna tramite ricambi d'aria/ora, livello di CO₂, umidità;
- flussi d'aria e ventilazione meccanica controllata (VMC);
- dispersione dei flussi di calore attraverso l'aria, l'involucro, le murature;
- illuminazione solare;
- controllo degli ombreggiamenti;
- applicazioni della simulazione dinamica.

Negli ultimi anni, la maggior parte delle software-house che operano nell'ambito

dell'edilizia, in particolare della simulazione energetica, hanno implementato i propri prodotti per poter svolgere simulazioni anche in regime dinamico. Ormai in commercio è disponibile una vasta gamma di software che operano seguendo tale regime. Per questo motivo la scelta del prodotto più adeguato deve essere compiuta anche secondo altri criteri, ad esempio l'interoperabilità tra software BIM e BEM o la capacità di acquisire molteplici informazioni in input ed elaborarne in modo corretto e comprensibile i file di output.⁶⁵

2 EDILCLIMA



Figura 3.1: Logo Edilclima

Edilclima è una tra le principali software-house che, da oltre trent'anni, sviluppa programmi di calcolo per la progettazione impiantistica e per la verifica dell'osservazione dei vincoli di legge. L'azienda viene fondata nel 1977 come studio di progettazione termotecnica e nel 1978 fonda la sezione Software (Figura 3.1).⁶⁶ Peculiarità essenziale del software di Edilclima è stata, dalla sua origine, la validazione delle metodologie di calcolo tramite la verifica su edifici reali, assunti come "edifici campione". Tale validazione è stata resa possibile ed ancor più efficace grazie alla doppia "anima" caratterizzante la società, non avulsa dalla realtà progettuale bensì contraddistinta da una stretta sinergia tra approfondimento metodologico ed applicazione pratica.

Fornire strumenti di calcolo flessibili che restituiscano al progettista il ruolo decisionale primario che a lui compete, nel rispetto delle esigenze formali e burocratiche è l'obiettivo principale che questa software-house si pone.

Tra i moduli sviluppati da Edilclima, quello che si occupa del calcolo di base ai fini della valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici è EC700, al quale si aggiunge EC720, per la diagnosi energetica.⁶⁷

2.1 EC700- Calcolo prestazioni energetiche degli edifici

EC700 è il software dedicato al calcolo energetico di tutti i servizi previsti dalla normativa EPBD. Oltre ai metodi di calcolo standard, richiesti per le verifiche di legge e per gli attestati energetici, il programma offre ulteriori strumenti come il calcolo dinamico orario per la progettazione e la diagnosi energetica di qualità. Il software è dotato di un input grafico ma

⁶⁵ Denza A., *Simulazione dinamica energetica degli edifici*. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>.

⁶⁶ Edilclima, *La storia- la nascita e l'evoluzione raccontata dal presidente Franco Soma*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/la-storia/>.

⁶⁷ Edilclima, *Profilo*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/profilo/>.

consente di utilizzare anche strumenti per la modellazione più sofisticati e di operare in ambito BIM grazie all'importazione di un file IFC o utilizzando il plug-in di Edilclima EC770.⁶⁸

Il software, contraddistinto da un estremo rigore scientifico, consente di calcolare le prestazioni energetiche degli edifici utilizzando:

- un intuitivo input grafico con vista 3D, dove le superfici disperdenti possono essere definite sia in forma grafica sia in maniera tabellare;
- il calcolo automatico degli ombreggiamenti, effettuato in modo automatico sovrapponendo sul diagramma del percorso solare il profilo delle ombre dovute agli elementi esterni (balconi, edifici vicini ecc.);
- la modellazione dettagliata dei sottosistemi impiantistici;
- una presentazione efficace dei risultati.

EC700 è costituito da una struttura modulare con moduli che sono integrati all'interno del motore di calcolo base o dialogano con quest'ultimo, così da poter portar a termine calcoli sia progettuali che energetici.⁶⁹ Il programma può essere integrato con i seguenti moduli aggiuntivi:

- EC701 - Progetto e verifiche edificio-impianto consente di effettuare le verifiche di legge, la stampa della relazione tecnica e dell'attestato di qualificazione energetica, consente, inoltre, di effettuare le verifiche di legge del DLgs. n. 28/2011 e dei Criteri Ambientali Minimi (DM 11.10.2017).
- EC705 - Attestato energetico che consente di predisporre e stampare l'attestato di prestazione energetica
- EC706 - Potenza estiva per il calcolo del fabbisogno estivo di potenza, secondo il metodo Carrier – Pizzetti oppure secondo il metodo dinamico orario UNI EN ISO 52016-1.
- EC709 - Ponti termici per calcolare il valore di trasmittanza termica lineare di diverse tipologie di ponte termico al variare dei parametri progettuali di maggior interesse, secondo la procedura dettagliata prevista dalle norme UNI EN ISO 14683 ed UNI EN ISO 10211.
- EC712 - Solare termico per stimare in modo analitico (secondo UNI/TS 11300-4 e UNI EN 15316-4-3) l'energia prodotta dall'impianto solare ed utilizzabile per il riscaldamento degli ambienti e/o per la produzione di acqua calda sanitaria.
- EC713 - Solare fotovoltaico per stimare in modo analitico (secondo UNI/TS 11300-4 e UNI EN 15316-4-6) l'energia elettrica prodotta dagli impianti fotovoltaici.
- EC720 - Diagnosi energetica e interventi migliorativi per la simulazione di possibili

⁶⁸ Edilclimasoftware, *EC700 v10- calcolo prestazioni energetiche degli edifici*. Consultabile in: <https://www.youtube.com/watch?v=3hEso9aGLvU>.

⁶⁹ Edilclima, *EC700- Calcolo prestazioni energetiche degli edifici*, pp. 1.

interventi migliorativi finalizzati all'inserimento della Raccomandazioni nell'Attestato di Prestazione Energetica o alla redazione di una diagnosi energetica approfondita.⁷⁰

Il metodo utilizzato dal software è di tipo dinamico, in conformità alla UNI EN ISO 52016.1:2018, così da consentire una precisa e accurata valutazione dei fabbisogni energetici dell'edificio, tenendo conto dei reali profili di gestione e di utilizzo dell'edificio.

Attraverso un unico input il software consente di effettuare i seguenti calcoli:

- prestazioni energetiche dell'edificio in regime dinamico orario, secondo la UNI EN 52016-1;
- potenza invernale, per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento ed il corretto calcolo dei rendimenti, secondo la norma UNI EN 12831;
- energia utile invernale ed estiva, per la valutazione delle prestazioni termiche del fabbricato, secondo la specifica tecnica UNI/TS 11300-1;
- energia primaria per i servizi di riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria, ventilazione ed illuminazione, secondo le specifiche tecniche UNI/TS 11300-2 ed UNI/TS 11300-4;
- energia primaria per il servizio di raffrescamento, secondo la UNI/TS 11300-3;
- energia primaria per il servizio di trasporto di persone o cose (ascensori, scale mobili, marciapiedi mobili) secondo la specifica tecnica UNI/TS 11300-6;
- contributi forniti da impianti a fonti rinnovabili (solare termico, solare fotovoltaico), secondo la specifica tecnica UNI/TS 11300-4 (se in possesso dei moduli EC712 Solare termico ed EC713 Solare fotovoltaico);
- potenza estiva, per il dimensionamento dell'impianto di raffrescamento (se in possesso del modulo EC706 Potenza estiva).

EC700 è provvisto di un archivio di dati climatici orari che comprende, per ogni comune italiano, i valori orari di temperatura esterna, irradianza solare diretta e diffusa, umidità relativa esterna, pressione del vapore e velocità media del vento. Il programma permette di definire dei profili orari di parametri come: la temperatura interna di set-point, l'umidità relativa interna di set-point, il fattore di occupazione delle singole zone o dei singoli locali e gli apporti interni sensibili e latenti.⁷¹

Il software è caratterizzato dalla presenza di tredici maschere da compilare per ottenere i risultati richiesti per l'edificio in analisi. Le maschere sono sempre presenti nella parte sinistra della schermata e si sbloccano man mano che si prosegue con la compilazione. Per rendere più agevole e ordinata la comprensione dell'utilizzo del software si è deciso di riassumere brevemente lo scopo di ogni maschera proposta:

- Dati generali: permette di impostare i dati climatici del comune di appartenenza,

⁷⁰ Edilclima, *Prog. Termotecnica Energetica*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/>.

⁷¹ Edilclima, *EC700- Calcolo prestazioni energetiche degli edifici*, pp. 2-6.

- l'indirizzo e il committente dell'edificio. Inoltre vi è la possibilità di scegliere il tipo di calcolo che si vuol portare a termine nelle successive maschere;
- Componenti involucro: visualizza singolarmente le varie unità costruttive dell'edificio e la loro stratigrafia;
 - Ombreggiamenti: è possibile procedere secondo la compilazione semplificata o analitica, che dovrà avvenire direttamente nella maschera grafica;
 - Input grafico: la maschera consente di determinare automaticamente le superfici disperdenti dei locali e dell'intero edificio direttamente da un modulo grafico;
 - Serre/Locali non climatizzati: consente di determinarne il fattore di correzione della temperatura e gli apporti solari attraverso i locali non climatizzati e le serre solari;
 - Zone/Locali climatizzati: inserisce in maniera tabellare o grafica le superfici disperdenti;
 - Impianti: è presente un'immagine indicativa dell'edificio, che viene personalizzata a seconda delle scelte effettuate dall'utente;
 - Risultati fabbricato: il programma effettua i calcoli di potenza invernale, energia utile invernale ed estiva e calcolo dell'illuminazione artificiale;
 - Energia Primaria riferita al servizio di riscaldamento, di acqua calda sanitaria e di raffrescamento oltre che alla producibilità dell'impianto solare e dell'impianto fotovoltaico;
 - Verifiche di legge;
 - Relazione tecnica;
 - Attestati energetici;
 - Interventi migliorativi.

2.2 Interoperabilità con software di BIM authoring

Edilclima ha concepito EC700 come un software in grado di relazionarsi con alcuni programmi di BIM authoring così da poter acquisire l'input grafico da un software di modellazione. Questa possibilità permette una modellazione più agevole in programmi specifici e la possibilità di creare il modello dell'edificio per una pluralità di scopi, tra cui anche quella dell'analisi energetica. Realizzare le analisi prestazionali a partire dal modello BIM può ridurre i costi e i tempi in modo significativo. Il formato, o meglio dire, lo schema IFC è uno dei pilastri di supporto del BIM perché in grado di gestire le entità, gli attributi e le relazioni tra entità legate.

Purtroppo il modello BIM- IFC, al momento, non è adatto così com'è a questo tipo di analisi, che richiedono dei modelli specifici denominati BPS (*building performance simulation*). Attualmente EC700 si interfaccia con tali programmi di modellazione attraverso il formato IFC, per Revit, in particolare, è stato sviluppato un plug-in denominato "EC770 Integrated Technical Design for Revit".

2.2.1 EC770- Integrated technical Design for Revit

Il plug-in EC770 è lo strumento che integra la progettazione architettonica-strutturale con la progettazione termotecnica-impiantistica. Compatibile con Autodesk Revit consente quindi di concepire il sistema edificio-impianto come un'unica entità. Con questo plug-in è possibile ottimizzare termicamente le strutture seguendo le normative, verificare se è possibile accedere alle detrazioni previste dalla Legge Finanziaria, e ottimizzare il progetto architettonico per la successiva fase di progettazione termotecnica.

Con EC770 è possibile:

- riconoscere automaticamente locali, vani e zone termiche inserite in Revit;
- leggere le stratigrafie dei componenti edilizi se caratterizzate anche quando i layer appartengono a fasi differenti;
- assegnare ombreggiamenti e ponti termici direttamente nel modello Revit;
- calcolare la trasmittanza lineica dei ponti termici direttamente nel plug-in mediante il modulo EC709 o un calcolo agli elementi finiti con apposito software;
- eseguire un aggiornamento intelligente del file quando già importato all'interno di EC700 evitando perdite di dati già caratterizzati nel software per il calcolo della prestazione energetica degli edifici.

L'installazione del programma comporta la creazione, nella scheda "Moduli aggiuntivi" di Revit, della barra multifunzione "Edilclima", dalla quale sarà possibile accedere alle maschere d'inserimento dati del plug-in.

I comandi presenti nella barra multifunzione sono: "Parametri", per eseguire le operazioni preliminari richieste dal plug-in, "EC770" per accedere alle funzionalità relative alla caratterizzazione dell'involucro edilizio e "Strumenti".

Da quest'ultimo comando è possibile accedere alle seguenti funzionalità:

- carica famiglia PT verticali: per inserire in Revit la famiglia una famiglia che consente l'inserimento dei ponti termici verticali sul modello architettonico;
- scelta fase: per selezionare la fase del lavoro da importare in EC770;
- stratigrafie composte: per consentire il riconoscimento di stratigrafie (sia orizzontali che verticali) composte da più componenti affiancati;
- offset locali: per impostare per tutti i locali il valore di offset limite;
- manuale utente: per consultare il manuale di istruzione in formato PDF;
- collegamento Web: per collegarsi direttamente al sito www.edilclima.it;
- assistenza Tecnica: per predisporre una e-mail al servizio di assistenza tecnica Edilclima;
- assistenza Software: per predisporre una e-mail al servizio di assistenza informatica Edilclima;
- informazioni su EC770: per accedere alle informazioni sulla versione del plug-in e i dati

della licenza utente;

- osservazioni: per consultare un documento, in formato PDF, contenente alcune importanti osservazioni e suggerimenti, utili all'impostazione del progetto Revit;
- diagnostica: per visualizzare alcune informazioni, tra cui il percorso d'installazione del plug-in EC770.

I ponti termici orizzontali vanno inseriti in Revit selezionando gli elementi "Muro", al fondo delle proprietà dell'istanza compariranno una serie di parametri, raggruppati sotto la voce "Analisi energetica" da compilare per assegnare un ponte termico all'elemento. I parametri da compilare per l'assegnazione del ponte termico orizzontale sono:

- EC PT soffitto flusso verticale, per assegnare un ponte termico alla soletta che chiude superiormente il locale (sia nel caso in cui essa sia una copertura o un pavimento);
- EC PT soffitto flusso orizzontale, per assegnare un ponte termico nella parte superiore della parete;
- EC PT pavimento flusso verticale, per assegnare un ponte termico alla soletta che chiude inferiormente il locale;
- EC PT pavimento flusso orizzontale, per assegnare un ponte termico alla parte inferiore della parete.⁷²

2.2.2 Esportazione tramite IFC

EC700 offre la possibilità di importare file IFC permettendo la piena collaborazione ed interazione tra i progettisti, senza porre alcun limite nella scelta dei software che si desiderano utilizzare per la realizzazione dei modelli architettonici, garantendo la completa interoperabilità tra gli strumenti adottati ed il software. La lettura del file IFC è permessa solo se all'interno del file di import sono presenti vani o locali che definiscono gli spazi e se questi sono correttamente esportati dalla *Model View Definition*. Se tale passaggio non avviene il file, una volta importato in EC700, non sarà compreso e il programma non sarà in grado di leggere l'input grafico fornito.

L'importazione mediante IFC rivela infatti alcuni importanti punti su cui è necessario soffermarsi e prestare attenzione. In seguito si analizzeranno, cercando di definire una procedura standard per gestire tale tipologia di file.

3 ALTRI SOFTWARE

Come possiamo osservare quindi i software che si hanno a disposizione per compiere un'analisi in ambito energetico sono molteplici e tutti hanno caratteristiche e specifiche differenti. Uno degli aspetti di fondamentale importanza è l'utilizzo di strumenti che garantiscano il mantenimento e la corretta lettura dei dati contenuti nel modello originale. Per

⁷² Edilclima, *EC770- Integrated technical Design for Revit*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/software-termotecnica/prog-edile/scheda/770>.

questo motivo è stata eseguita un’analisi del livello di interoperabilità dei software ipotizzando che il modello BIM sia stato modellato con il software BIM Revit di Autodesk.

È importante i programmi riescano a dialogare con Revit sia per ottenere dati di input corretti e invariati per le differenti discipline, sia per eventualmente poter caricare nel modello BIM dati relativi all’analisi energetica, cioè dati di output.

Nella tabella sottostante si è voluto riassumere quali tra i software che saranno analizzati prevedono come dati di input o di output file IFC o gbXML (Tabella 3.1).

Tabella 3.1: Dati input e output software energetici

Software	Software HOUSE	gbXML		IFC	
		Import	Export	Import	Export
Edilclima	EdilClima S.r.l.	Non consentito	Non consentito	Consentito	Non consentito
EnergyPlus	USDOE	Software specifico	Non consentito	Non consentito	Non consentito
Mc4	Mc4 Software	Non consentito	Non consentito	Consentito	Consentito
Green Building Studio	Autodesk	Consentito	Consentito	Non consentito	Non consentito
TerMus	Acca Software	Non consentito	Non Consentito	Consentito	Consentito
Termolog	Logical Soft	Consentito	Consentito	Consentito	Consentito

3.1 Energy plus

EnergyPlus è un programma gratuito e opensource per la simulazione energetica tra i più utilizzati su scala mondiale sviluppato dal Dipartimento per l’efficienza energetica e l’energia rinnovabile del Governo degli Stati Uniti (EERE). Il software può essere utilizzato per stimare carichi energetici di riscaldamento, raffrescamento, illuminazione e ventilazione sulla base di simulazioni orarie o sub-orarie definite dall’utente. È possibile valutare ad ogni step temporale l’andamento dei parametri di comfort e di consumo in funzione del grado di isolamento dell’involucro, della massa termica utilizzata, dei tassi di ventilazione previsti e/o generati dalla ventilazione naturale e dovuti alla volontaria apertura dei serramenti, dell’utilizzo di sistemi di controllo attivo e/o passivo della radiazione solare, dell’orientazione dell’edificio e

di altri numerosi fattori. È inoltre possibile valutare particolarità critiche del funzionamento dell'impianto HVAC confrontando tra loro differenti soluzioni e valutando, in termini di consumo energetico, il comfort abitativo, l'impatto ambientale e i benefici di una soluzione rispetto all'altra.

L'interfaccia grafica di EnergyPlus non risulta del tutto intuitiva e *user-friendly*, ecco perché esistono in commercio altri software che rappresentano a tutti gli effetti il suo input grafico, come ad esempio DesignBuilder o OpenStudio.⁷³

3.1.1 Design Builder

Design Builder sfrutta il metodo di calcolo dinamico, che consente di effettuare delle simulazioni del comportamento dell'edificio, su base oraria o sub-oraria, considerando anche l'accumulo e il rilascio di energia termica da parte della struttura. Ciò richiede una certa specificità delle informazioni da fornire in input, esportabili anche tramite file gbXML, in particolare è necessario l'inserimento di dati climatici su base oraria oltre ad indicazioni precise sull'occupazione e sull'utilizzo dell'edificio e dell'impianto.

Grazie alla sua semplice interfaccia con pannelli, pulsanti, e diverse schede con cui creare e modificare edifici e variare tutte le caratteristiche costruttive, impiantistiche e di attività, Design Builder è in grado di eseguire calcoli di carichi di riscaldamento e raffrescamento, dell'illuminazione naturale, simulazioni dello stato di fatto di edifici e CFD (fluidodinamica computazionale), dei costi degli edifici. Dati e risultati possono essere visualizzati in formato grafico, esportabile in PNG, o in griglie, esportabili in CSV (comma-separated values). Il formato CSV utilizza come carattere separatore tra i campi la virgola ed è facilmente gestibile da numerosi programmi tra cui Microsoft Excel.⁷⁴

3.1.2 Open studio

Open studio è un software opensource utile a svolgere analisi energetiche degli edifici, nonché prima GUI (Graphical User Interface) conforme ad Energy Plus. Attualmente supporta i motori di calcolo Energy Plus e Radiance. Così come DesignBuilder, OpenStudio supporta l'importazione di file gbXML e IFC. Il software si divide in una applicazione e un plug-in per SketchUp. L'applicazione Open Studio rappresenta il nucleo del programma ed è quest'ultimo che svolge i calcoli legati alle analisi tecniche. Il plugin per Sketchup è invece utile a creare le geometrie del modello energetico che può essere esportato per in formato IDF (Input Data File) Energy Plus.⁷⁵

⁷³ EnergyPlus, *EnergyPlus*. Consultabile in: <https://energyplus.net/>.

⁷⁴ DesignBuilder, *DesignBuilder*. Consultabile in: <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>.

⁷⁵ OpenStudio, *OpenStudio*. Consultabile in: <https://openstudio.net/>.

3.2 Mc4Suite

Mc4Suite è sia *BIM Tool* ovvero un software in grado di leggere una base architettonica in formato IFC utile per la simulazione termo-energetica, che *BIM Platform* in fase di progettazione delle reti impiantistiche, esportabili in formato IFC. Il termotecnico è quindi autonomo nel gestire le proprie competenze in un flusso di lavoro BIM, utilizzando un software user-friendly (ambiente AutoCAD) e considerando in fase di calcolo normative vigenti sul territorio italiano.

Il programma è infatti predisposto per:

- realizzare disegni architettonici tridimensionali sulla base di planimetrie bidimensionali in formato DWG o importate tramite file IFC;
- progettare l'isolamento termico degli involucri degli edifici secondo le norme tecniche UNI/TS 11300 e verificarne la rispondenza alle normative vigenti;
- individuare le soluzioni di efficientamento energetico che garantiscono il conseguimento delle classi energetiche più qualificanti sotto il punto di vista del risparmio energetico
- eseguire il calcolo dei carichi termici estivi ed invernali ai fini del corretto dimensionamento degli impianti;
- effettuare la selezione e il dimensionamento dei terminali.⁷⁶

3.3 Green Building Studio

Autodesk Green Building Studio è un servizio basato su cloud che consente di eseguire simulazioni delle prestazioni degli edifici per ottimizzare l'efficienza energetica nelle prime fasi del processo di progettazione cercando di render costi e tempi quanto più ristretti possibili in confronto a quelli dei metodi convenzionali.

Green Building Studio può essere utilizzato come servizio Web autonomo o come potenziamento degli strumenti di analisi energetica di Autodesk Revit.

Affinché il programma riesca a proporre un'analisi energetica dettagliata è necessario geolocalizzare il progetto e selezionare il file meteo che meglio rappresenta le condizioni climatiche della zona. Successivamente Revit espone parametri di base (tipo di edificio, costruzioni e tipo di sistema HVAC) che forniscono un intento progettuale sufficiente per creare una valida simulazione energetica per molte analisi comparative.

Il servizio cloud di Green Building Studio è una potente piattaforma di analisi delle prestazioni degli edifici progettata per semplificare notevolmente il compito di condurre l'analisi delle prestazioni dell'intero edificio negli odierni strumenti di authoring BIM. Utilizza DOE-2, un motore di simulazione collaudato e convalidato, per fornire risultati sull'uso di

⁷⁶ MC4Software, *Mc4Suite*. Consultabile in: <https://www.mc4software.com/moduli-mc4suite/>.

energia, sull'acqua e sulle emissioni di carbonio.⁷⁷

3.4 TerMus

TerMus, programma sviluppato da Acca Software, è un software BIM per la certificazione energetica, la verifica delle prestazioni degli edifici e la progettazione di interventi di efficientamento energetico. Attraverso le schede proposte è possibile sia la modellazione energetica 2D o 3D dell'edificio, sia l'importazione tramite IFC di un modello creato.

Il modello energetico BIM geolocalizzato permette di individuare e calcolare in automatico anche i dati climatici, gli orientamenti, gli ombreggiamenti. L'importazione in formato IFC effettuata da TerMus è conforme allo standard IFC2x3 ISO/PAS 16739 ed è certificata da buildingSMART international. L'interscambio delle informazioni attraverso il formato standard IFC permette al progettista di:

- costruire un Modello Informativo Energetico corrispondente al modello architettonico dell'edificio
- gestire lo sviluppo del progetto tenendo conto sia delle esigenze architettoniche che di quelle energetiche, con ricadute positive in termini di riduzione dei tempi e degli errori ed ottimizzazione dei risultati
- collaborare agevolmente nel flusso della progettazione BIM.

La localizzazione del modello BIM consente di riconoscere i dati climatici non solo in termini generali di temperatura, umidità, ecc., ma anche rispetto all'orientamento e alla posizione rispetto ad altri edifici o oggetti. Questo permette l'individuazione automatica delle ombre su tutti gli elementi di involucro.

Il software individua e calcola anche i ponti termici e permette di scegliere, fra tutti, quelli che effettivamente devono essere valutati nel progetto e calcola la trasmittanza del ponte termico.

Con il programma possono essere svolte diagnosi energetiche per interventi migliorativi con valutazione adattata all'utenza, relazioni per la Legge 10 e calcoli per l'EcoBonus con confronto e verifica delle prestazioni energetiche ante e post intervento.⁷⁸

3.5 Termolog

Termolog è il software BIM di Logical Soft utile a calcolare l'efficienza energetica. È un programma modulare per adattarsi al meglio alle esigenze di ogni professionista: alla certificazione energetica e al progetto Legge 10 si affiancano i moduli specialistici per l'impianto, i bonus fiscali, la diagnosi, e i più innovativi per i ponti termici fem e il calcolo

⁷⁷ Autodesk, *Green Building Studio*. Consultabile in: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>.

⁷⁸ ACCA Software, *TerMus Prestazioni Energetiche e Certificazione*. Consultabile in: <https://download.acca.it/Files/Scheda/TerMus.pdf>.

dinamico orario.

Termolog è dotato di molte procedure guidate per semplificare le fasi di lavoro. Ad esempio, con il Wizard di impianto è possibile introdurre in modo semplice anche impianti complessi con sistemi di generazione ibridi o impianti con più generatori, con quello dei ponti termici individua e inserisce discontinuità dovute ai ponti termici sulle strutture disperdenti del modello energetico. Un'altra procedura guidata semplifica l'inserimento di tutte le dispersioni da file XLS: con un click si importano l'edificio, le zone termiche e si compila rapidamente l'involucro.

Gli interventi migliorativi per l'APE o per la diagnosi energetica sono creati in automatico da TERMOLOG, completi di costi di investimento per la valutazione del risparmio annuo energetico ed economico.

1 L'INTEROPERABILITÀ

In ambito informatico, l'interoperabilità è la capacità di un sistema di scambiare dati e informazioni con altri sistemi o programmi, che consente di poter “dialogare” tra software con un'elevata affidabilità, riducendo gli errori e ottimizzando le risorse.

Nel caso specifico del *Building Information Modeling* (BIM), l'interoperabilità è la possibilità di scambiare i dati contenuti nel modello progettuale di partenza con diversi software e applicativi, destinati alle diverse funzioni coinvolte nelle attività, questo non solo durante la fase di realizzazione dell'opera ma nell'intero suo ciclo di vita, dalla manutenzione alla dismissione.

Se tradizionalmente, infatti, i software specializzati sviluppati per la gestione ed elaborazione dei dati all'interno di specifici settori mancavano della capacità di integrarsi reciprocamente, la trasversalità dell'approccio BIM richiede necessariamente la massima accessibilità di tali informazioni di progetto e di processo a tutti i soggetti coinvolti.

La soluzione attraverso la quale è possibile garantire a tutti gli operatori l'accessibilità ai dati e l'interoperabilità è lo sviluppo di un formato aperto pronto a dialogare con i diversi software. Il formato di un file rappresenta la sua struttura informatica e definisce il modo con cui questo è memorizzato e mostrato all'utente. Esistono oggi due tipologie di formati, quello aperto e quello proprietario. La UNI 11337-1, riporta le seguenti definizioni:

- formato aperto – Formato di file basato su specifiche sintassi di dominio pubblico il cui utilizzo è aperto a tutti gli operatori senza specifiche condizioni d'uso;
- formato proprietario – Formato di file basato su specifiche sintassi di dominio non pubblico, il cui utilizzo è limitato a specifiche condizioni d'uso stabilite dal proprietario del formato.

I formati di file proprietari sono quindi quelli leggibili da un singolo software, da una famiglia di software dello stesso produttore o da altri software autorizzati: le specifiche tecniche, dunque, non vengono distribuite pubblicamente per tutelare gli interessi privati.

Questo comporta la necessità di usare particolari programmi per aprire e modificare i file e vincola la circolazione dei dati al possesso di un software specifico, che potrebbe non essere disponibile a tutti gli utenti interessati.

L'uso di formati proprietari può ostacolare l'interoperabilità, nell'eventualità che i membri del team di progetto utilizzino diversi tipi di software. Si verifica quindi l'impossibilità

di attivare una collaborazione multiplatforma senza perdita di dati e senza la creazione di enormi database.

2 I FORMATI APERTI

L'obiettivo principale dei formati aperti è garantire l'accesso ai dati nel lungo periodo senza alcuna incertezza presente e futura riguardo ai diritti legali o le specifiche tecniche.

Un secondo obiettivo comune dei formati aperti è di incoraggiare la concorrenza, evitando che un singolo produttore inibisca l'uso di prodotti concorrenti attraverso il controllo di un formato proprietario.

Si tratta generalmente di standard fissati da autorità pubbliche e/o istituzioni internazionali il cui scopo è quello di stabilire norme che assicurino l'interoperabilità tra software. Non mancano tuttavia casi di formati aperti nati per iniziativa di aziende, che hanno deciso di rendere pubblica la specifica dei propri formati.

Il formato aperto è realizzato rispettando standard internazionali dichiarati, e non presenta alcuna restrizione legale per il suo utilizzo.

Si tratta perciò di un formato che:

- incoraggia la concorrenza tra sviluppatori di funzionalità software impedendo il controllo di un solo produttore su tutti i contenuti realizzati dagli utenti attraverso il formato proprietario;
- consente l'interoperabilità e l'interscambio dei dati in modo sicuro, senza errori e/o perdita di informazioni.⁷⁹

Tra i formati aperti più utilizzati, per quanto riguarda il campo di interesse preso in considerazione, troviamo IFC e gbXML.⁸⁰

3 INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

L'IFC, *Industry Foundation Classes*, è una descrizione digitale standardizzata dell'ambiente costruito, inclusi edifici e infrastrutture civili. È uno standard internazionale aperto (ISO 16739-1:2018), pensato per essere indipendente dal fornitore e utilizzabile su un'ampia gamma di dispositivi hardware, piattaforme software e interfacce per molti casi d'uso diversi. La specifica dello schema IFC è il principale risultato tecnico di buildingSMART

⁷⁹ ACCA Software, *IFC-Open BIM, l'importanza del formato aperto dei dati nella progettazione*, Ingenio, 30 Gennaio 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25717-ifc-open-bim-limportanza-del-formato-aperto-dei-dati-nella-progettazione>.

⁸⁰ Dong B., Lam K. P., Huang Y. C., *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, 2007.

International, finalizzato al suo obiettivo di promuovere l'OpenBIM.⁸¹ L'IFC è stato progettato per elaborare tutte le informazioni dell'edificio, attraverso l'intero suo ciclo di vita, dall'analisi di fattibilità fino alla sua realizzazione e manutenzione, passando per le varie fasi di progettazione e pianificazione. Esso quindi si propone di comunicare la complessità del processo edilizio attraverso un linguaggio comune per lo scambio d'informazioni, come testimoniato dal suo logo (Figura 4.1).



Figura 4.1: Il logo di IFC

L'iniziativa IFC nasce nel 1994, quando un consorzio industriale investe nella realizzazione di un apposito codice informatico (un insieme di classi C++) in grado di supportare lo sviluppo di applicazioni integrate; dodici società statunitensi aderiscono al consorzio, che prende il nome di *"Industry Alliance for Interoperability"*. Nel settembre 1995 l'Alleanza consente l'adesione a tutte le parti interessate e nel 1997 cambia il suo nome in *"International Alliance for Interoperability"*. La nuova Alleanza viene ricostituita come organizzazione no profit, con l'obiettivo di sviluppare e promuovere l'*Industry Foundation Classes* (IFC) come modello di dati neutro, utile a raccogliere informazioni relative a tutto il ciclo di vita di un edificio e dei suoi impianti.

Dal 2005 l'Alleanza porta avanti le proprie attività tramite buildingSMART. Essa è oggi un'alleanza a livello mondiale che guida lo sviluppo di uno standard internazionale di strumenti e formazione per sostenere l'ampio uso del BIM.

IFC si propone di essere un formato di dati:

- aperto: la specificazione tecnica di codifica dell'informazione è stata pubblicata e di conseguenza può essere utilizzata ed implementata da chiunque. La scelta degli sviluppatori di software, proprietari o open-source, di consentire al loro prodotto di leggere e/o scrivere in formato IFC è prettamente una scelta commerciale, non dettata dall'impossibilità di sapere come lo standard IFC codifichi l'informazione;
- neutrale, il suo sviluppo non è controllato da nessuna società, azienda o ente specifico, in particolar modo non è controllato dalle case produttrici di software;

⁸¹ *Industry Foundation Classes (IFC)- An Introduction*, BuildingSMART. Consultabile in: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>.

- interoperabile, IFC in quanto formato di dati aperto è già attualmente implementato dai principali software BIM e per questa ragione costituisce uno strumento che consente a tutti gli attori del processo di comunicare informazioni tramite un linguaggio comune, che può essere scritto e letto da qualsiasi applicativo proprietario normalmente utilizzato.⁸²

Grazie alle sue caratteristiche l'IFC è impiegato come:

- file di interscambio, permette di trasferire le geometrie e le informazioni mantenendo la struttura dell'insieme e delle parti. Attraverso l'importazione con il formato IFC, gli oggetti hanno una corretta collocazione nello spazio (piano di appartenenza, aree funzionali, ecc.) e sono distinti fra di loro per categorie, caratteristiche e funzione.
- modello di dati, è la capacità di smembrarlo e ricomporlo in modi diversi a seconda di un fine specifico. I parametri che costituiscono la struttura del modello di dati sono essenzialmente tre:
 - Il filtro dei dati: è possibile scegliere quali componenti esportare e quali no. Nel BIM la ridondanza dei dati è altrettanto dannosa quanto la loro mancanza, è quindi necessario che, per un determinato scopo, siano incorporate solo e soltanto le geometrie e le informazioni necessarie.
 - proprietà: permettono di scegliere quali informazioni popoleranno gli oggetti del nostro modello e in che relazione saranno articolate fra loro.
 - attributi: attraverso i quali è possibile determinare le caratteristiche che dovranno avere gli oggetti nella scena.

Il modello di dati dipende dal processo di sviluppo BIM e non unicamente dalle caratteristiche interne al formato IFC: i file proprietari sono identici indipendentemente dall'obiettivo e dal destinatario perché cambiano i contenuti del modello senza intaccare la struttura informatica stessa; in IFC invece il contenuto del modello influenza la struttura informatica e due file possono essere fra loro molto diversi, per dimensioni e caratteristiche;

- elemento d'archivio, i dati devono essere fruibili in maniera agevole da più operatori e per un ampio arco temporale. L'archiviazione di tali dati deve mantenerne tracciabilità, affidabilità e trasparenza;
- sistema di classificazione terminologica, un elemento deve essere innanzitutto organizzato, per poter essere opportunamente archiviato, all'interno di categorie che ne consentano la classificazione (l'oggetto fa parte di un determinato insieme di oggetti analoghi) e l'identificazione (quel particolare oggetto viene facilmente individuato e distinto da tutti gli altri che pure hanno le stesse caratteristiche). IFC è quindi un sistema classificatorio in grado di assegnare un nome e delle relazioni fra gli

⁸² Carradori M., *IFC- Industry Foundation Classes: un PDF per i modelli edilizi*, bis-lab. Consultabile in: <https://www.bis-lab.eu/2017/03/26/ifc-industry-foundation-classes-un-pdf-per-i-modelli-edilizi/>.

oggetti.⁸³

3.1 Formati di file

In base alla produzione, allo scambio e all'utilizzo del modello, IFC definisce più formati di file che possono essere utilizzati, definendo varie codifiche dei medesimi dati presenti.

IFC-SPF (Standard for the Exchange of Product model data) è un formato di testo definito dalla ISO 10303-21 ("STEP-File"), in cui ogni riga consta tipicamente di un singolo oggetto registrato e ha estensione ".ifc". Questo è il formato IFC più utilizzato dagli utenti, con il vantaggio di avere dimensioni compatte e una rappresentazione in formato leggibile del data model in EXPRESS.

IFC-XML è un formato Extensible Markup Language (XML) definito dalla ISO 10303-28 ("STEP-XML"), con estensione ".ifcXML". Questo formato è adatto per l'interoperabilità di strumenti XML e lo scambio di modelli di edifici parziali. A causa delle grandi dimensioni dei modelli tipici di un edificio, questo formato è meno comune nella pratica poiché le sue dimensioni aumentano del 13% rispetto al riferimento.

IFC-ZIP è un formato ZIP compresso costituito da un file IFC-SPF incorporato e con estensione ".ifcZIP".

I primi due formati possono essere incorporati all'interno di file ZIP, apportando una riduzione del 17% al formato STEP.⁸⁴

Nella tabella sono riassunte le caratteristiche di ogni formato per quanto riguarda la voce estensione, dimensioni e testo (Tabella 4.1).

Tabella 4.1: Estensione, testo e dimensione dei formati IFC

Formati	Estensione	Testo	Dimensioni
STEP Physical File (SPF)	.ifc	Si	100%
Extensible Markup Language (XML)	.ifcXML	Si	113%
ZIP	.ifcZIP	No	17%

3.2 Model View Definition (MDV)

Un modello BIM contiene molte informazioni che appartengono a diverse discipline, più

⁸³ Bourg H., *Introduzione al formato IFC*, Graphisoft, 18 luglio 2019. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/tutto-quello-che-c%C3%A8-da-sapere-sul-formato-ifc-introduzione>.

⁸⁴ *IFC Formats*, BuildingSMART. Consultabile in: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>.

un modello è esteso e dettagliato, più sarà difficile da gestire dal punto di vista computazionale. L'esportazione tramite formato IFC porta, nei software esterni che si occupano dell'analisi del modello, anche informazioni supplementari non indispensabili a quel determinato studio. Per questa motivazione nascono le *Model View Definition* (MVD) definite da BuildingSMART come dei filtri che vengono utilizzati in fase di esportazione per poter creare un modello più snello con solo le informazioni utili al fine dello studio svolto.⁸⁵

Ci sono state sei versioni principali di IFC nel corso della sua storia: IFC 1.5.1, IFC 2.0, IFC2x, IFC2x2, IFC2x3 ed IFC4. Dal rilascio di IFC2x, il *core* dello standard è rimasto invariato e sono state solamente aggiunte classi e relazioni fra esse, in modo da descrivere scenari via via più dettagliati ed implementare lo standard attraverso l'esperienza acquisita. Consultando la più recente versione via web è possibile osservare come, per ogni classe, sia stata mantenuta traccia della sua evoluzione. La garanzia di una base comune ha fatto sì che le case produttrici di software possano aggiornarsi alla più recente versione di IFC senza difficoltà e comprendere le differenze con le trasformazioni precedenti.⁸⁶

⁸⁵ Paparella R., Zanchetta C., *BIM & digitalizzazione del patrimonio immobiliare*, Società Editrice Esculapio s.r.l., 2019.

⁸⁶ Carradori M., *IFC- Industry Foundation Classes: un PDF per i modelli edilizi*, bis-lab. Consultabile in: <https://www.bis-lab.eu/2017/03/26/ifc-industry-foundation-classes-un-pdf-per-i-modelli-edilizi/>.

Nell'immagine sottostante sono riportate le versioni dello standard IFC in ordine cronologico (Figura 4.2).

Version	Name (HTML Documentation)	ISO publication	Published (yyyy-mm)	Current Status	HTML	EXPRESS	XSD	pSet XSD	OWL HTML	RDF	TTL
4.3.dev	IFC4.3.dev	Final version expected mid 2022; published by ISO in 2023	Continues updates	Under development	Latest HTML	GitHub output		PSD output			
4.3.RC4	IFC4.3 Infra/Rail deliverable	-	2021-07	Rail + Infra parts have been approved by Standards Committee.							
4.2.0.0	IFC4.2	-	2019-04	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x2.xsd	-			
4.1.0.0	IFC4.1	-	2018-06	Withdrawn	ZIP	EXP	IFC4x1.xsd	-	ifcOWL IFC4.1	RDF	TTL
4.0.2.1	IFC4 ADD2 TC1	ISO 16739-1:2018	2017-10	Official	ZIP	EXP	IFC4.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD2 TC1	RDF	TTL
4.0.2.0	IFC4 ADD2	-	2016-07	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD2.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD2	RDF	TTL
4.0.1.0	IFC4 ADD1	-	2015-06	Retired	ZIP	EXP	IFC4_ADD1.xsd	-	ifcOWL IFC4 ADD1	RDF	TTL
4.0.0.0	IFC4	ISO 16739:2013	2013-02	Retired	ZIP	EXP	ifcXML4.xsd	PSD_IFC4.xsd	ifcOWL IFC4	RDF	TTL
2.3.0.1	IFC2x3 TC1	ISO/PAS 16739:2005	2007-07	Official	ZIP	EXP	IFC2X3.xsd	PSD_R2x3.xsl	ifcOWL IFC2x3 TC1	RDF	TTL
2.3.0.0	IFC2x3	-	2005-12	Retired	ZIP	EXP	-	-	ifcOWL IFC2x3	RDF	TTL
2.2.1.0	IFC2x2 ADD1	-	2004-07	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.2.0.0	IFC2x2	-	2003-05	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.1.0	IFC2x ADD1	-	2001-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.1.0.0	IFC2x	-	2000-10	Retired	ZIP	EXP	-	-	-	-	-
2.0.0.0	IFC2.0	-	1999-10	Retired	-	-	-	-	-	-	-
1.1.1.0	IFC1.5 ADD1	-	1998-08	Retired	-	-	-	-	-	-	-

Figura 4.2: Versioni del formato (BuildingSMART, MVD Database. Consultabile in: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/>).

Oltre al formato e alle versioni del file, la definizione della vista del modello (*Model View Definition*) determina le modalità di utilizzo del file IFC, poiché abilita uno scambio di dati specifico.

3.2.1 IFC4: Model Reference View

La *Model Reference View* è stata progettata per generare modelli standard di riferimento destinati a pianificatori specialisti in IFC4. Fornisce innanzitutto informazioni per il coordinamento e la determinazione delle quantità in base del modello elaborato nel software di modellazione. Un modello esportato come vista di riferimento non si presta ad essere

importato con l'intenzione di apportare modifiche alla geometria, poiché contiene solo le definizioni geometriche più essenziali. Ciò non significa che il modello sia necessariamente molto semplificato da un punto di vista grafico, può essere infatti abbastanza dettagliato ma, fungendo solo da riferimento, non si presta ad essere modificato.⁸⁷

3.2.2 IFC4: Design Transfer View

Introdotta per la prima volta con IFC4, questa vista viene utilizzata per trasferire i modelli IFC allo scopo di importarli e modificarli in un software abilitato al BIM. Come già accennato, il formato IFC permette solo in parte di trasferire progetti parametrici e contesti complessi, pertanto sono necessarie regolazioni manuali per gestire le differenze tra i prodotti software usati. Inoltre i dati devono essere sempre verificati manualmente.

Il suo obiettivo principale è quello di promuovere la collaborazione tra più discipline. DTV è considerato il successore dell'IFC2x3 Coordination View ed è inteso per essere compatibile con importazione CV IFC2x3.⁸⁸

3.2.3 IFC2x3 GSA Concept Design 2010

Sviluppi nel campo della prestazione energetica includono la Concept Design BIM 2010 (CDB). Il progetto CDB ha sviluppato un MVD incentrato sulla definizione generale di analisi energetica, con lo scopo di supportare il coordinamento dei requisiti di analisi energetica, di spaziatura e con la zonizzazione generale. Le aree coperte da questo scambio includono: struttura dell'edificio (ad es. posizione, composizione e orientamento), spazi con identificazione del tipo e della funzione (es. carichi interni e condizionamento requisiti), definizione degli elementi costruttivi (ad es. caratteristiche termiche e costruzioni interne), zonizzazione HVAC, illuminazione diurna e uso di apparecchiature fotovoltaiche.⁸⁹

3.2.4 IFC2x3: Coordination View Version 2.0

Ottimizzata per lo scambio coordinato di modelli BIM tra le principali discipline nel settore edilizio, la vista di coordinamento Coordination View 2.0, nota anche come CV 2.0, è attualmente la definizione della vista del modello più usata e supportata. La CV 2.0 supporta una derivazione parametrica elementare dei componenti dell'edificio quando vengono importati in strumenti di pianificazione.

Questa MVD viene utilizzata soprattutto per lo scambio di modelli architettonici, di

⁸⁷ *Manuale dello standard IFC per Revit*, Autodesk, 2018. Consultabile in: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/impl-180213-ifc-handbuch-it.pdf>.

⁸⁸ Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *Model View Definition For advanced building energy performance simulation*, Settembre 2016.

⁸⁹ Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation*, 2018.

tecnologia edilizia e di ingegneria edile.

Questa MVD viene utilizzata soprattutto per la condivisione di modelli edilizi tra le principali discipline tra cui architettura, ingegneria strutturale e meccanica.⁹⁰

3.2.5 IFC2x3: COBie 2.4 Design Deliverable

Formato IFC equivalente all'output COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*) richiesto dal governo britannico per il mandato BIM 2016 di livello 2 per la collaborazione nei lavori pubblici.

3.2.6 IFC2x2: Coordination View

Utilizzata solo in casi isolati, ad esempio quando si esportano modelli per prodotti software che non supportano IFC2x3.

Ciascuna di queste MVD può essere naturalmente adattata alle esigenze specifiche dei workflow e delle analisi che si andranno a svolgere sul modello.⁹¹

3.3 Linguaggio EXPRESS e file di testo

Come affermato precedentemente il file STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) può essere aperto come editor di testo per poter effettuare un'analisi o per risolvere delle problematiche derivanti dall'importazione o dall'esportazione, infatti esso nasce e si sviluppa a partire dal linguaggio EXPRESS, definito nella norma "ISO 10303-11: *Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual*".⁹²

La notazione testuale si presenta suddivisa in due parti: un'intestazione definita 'HEADER' e un corpo dati chiamato 'DATA'.

L'HEADER è suddiviso in tre istanze che racchiudono al loro interno le informazioni generali:

- File_description: evidenzia la MVD, specificando quale versione dello standard viene utilizzata;
- File_name: in merito alla struttura del file di scambio fornisce informazioni *Human-*

⁹⁰ *Manuale dello standard IFC per Revit*, Autodesk, 2018. Consultabile in: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/impl-180213-ifc-handbuch-it.pdf>.

⁹¹ *Manuale dello standard IFC per Revit*, Autodesk, 2018. Consultabile in: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/impl-180213-ifc-handbuch-it.pdf>.

⁹² Gazulli D., Lauro G., Ranauro V., *BIM e Interoperabilità: lo scambio dei dati attraverso il formato IFC per la progettazione strutturale*, Ingenio, 4 Novembre 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/27663-bim-e-interoperabilita-lo-scambio-dei-dati-attraverso-il-formato-ifc-per-la-progettazione-strutturale>.

readable;

- File_schema: identifica lo schema EXPRESS che specifica le istanze riportate nella sezione dei dati (Figura 4.3, Figura 4.4).

```
ISO-10303-21;
HEADER;

/*****
* STEP Physical File produced by: The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07 : 28 Aug 2013
* Module: EDMstepFileFactory/EDMstandAlone
* Creation date: Mon Jan 10 09:05:22 2022
* Host: ASUS-VALE
* Database: C:\Users\valen\AppData\Local\Temp\f06855ac-2b00-4d2d-9388-7f0767a1df3f\F7292635-3a9d-4fbb-aa74-7da436ae0890\ifc
* Database version: 5507
* Database creation date: Mon Jan 10 09:04:50 2022
* Schema: IFC4
* Model: DataRepository.ifc
* Model creation date: Mon Jan 10 09:04:51 2022
* Header model: DataRepository.ifc_HeaderModel
* Header model creation date: Mon Jan 10 09:04:51 2022
* EDMUser: sdai-user
* EDMgroup: sdai-group
* License ID and type: 5605 : Permanent license. Expiry date:
* EDMstepFileFactory options: 020000
*****/
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [DesignTransferView_V1.0]'),'2;1');
FILE_NAME('0001', '2022-01-10T09:05:22', (''), (''), 'The EXPRESS Data Manager Version 5.02.0100.07 : 28 Aug 2013', '21.1.21.45 - Exporter 21.1.21.45 - Alternate UI 21.1.21.45', '');
FILE_SCHEMA(('IFC4'));
ENDSEC;
```

Figura 4.3: Dati generali dell'HEADER del formato testuale

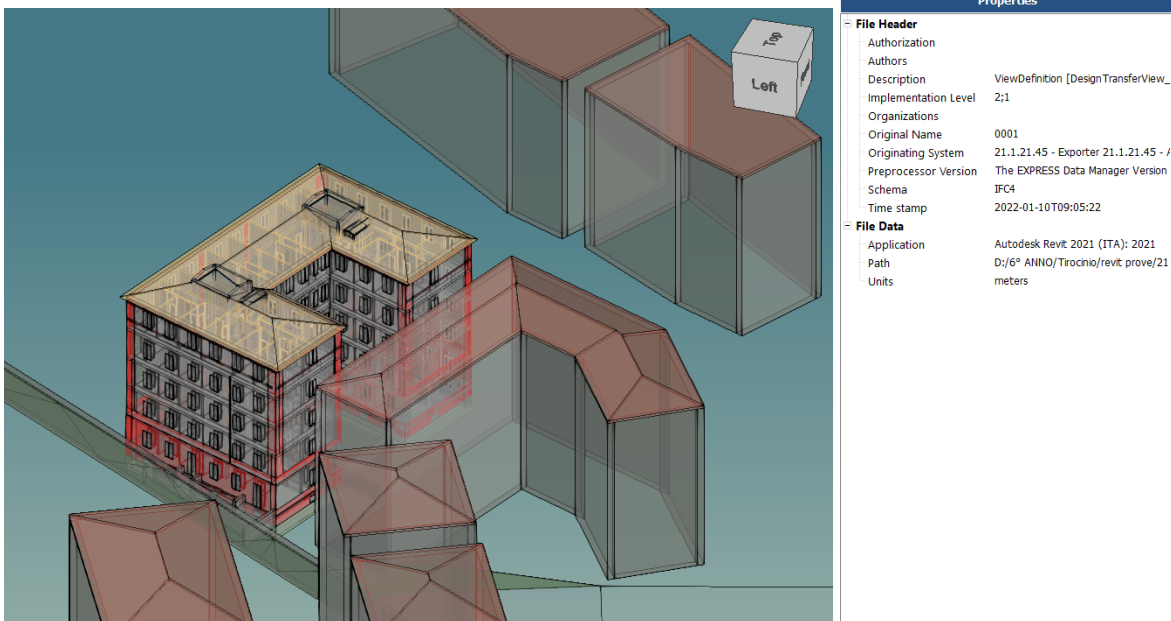


Figura 4.4: Dati generali dell'HEADER del visualizzatore IFC (Open IFC Viewer)

Di conseguenza all'interno dell'HEADER è possibile ritrovare informazioni quali: l'applicazione che ha esportato il file, la data e l'orario dell'esportazione, il nome, l'azienda e la persona autorizzante e la versione di IFC impiegata.

La parte testuale relativa al corpo dati viene preceduta all'interno del file dall'espressione DATA ed elenca al suo interno tutte le singole entità IFC, fisiche e virtuali, che caratterizzano il modello BIM (Figura 4.5).

```

DATA;
#1= IFCORGANIZATION($,'Autodesk Revit 2021 (ITA)',,$,$,$);
#5= IFCAPPLICATION(#1,'2021','Autodesk Revit 2021 (ITA)','Revit');
#6= IFCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#10= IFCARTESIANPOINT((0.,0.));
#12= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#14= IFCDIRECTION((-1.,0.,0.));
#16= IFCDIRECTION((0.,1.,0.));
#18= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#20= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#22= IFCDIRECTION((0.,0.,-1.));
#24= IFCDIRECTION((1.,0.));
#26= IFCDIRECTION((-1.,0.));
#28= IFCDIRECTION((0.,1.));
#30= IFCDIRECTION((0.,-1.));
#32= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#6,$,$);
#33= IFCLOCALPLACEMENT(#591,#32);
#36= IFCPERSON($,'','valentina.levorato.3',,$,$,$,$);
#38= IFCORGANIZATION($,'','',$,$);
#39= IFCPERSONANDORGANIZATION(#36,#38,$);
#42= IFCOWNERHISTORY(#39,#5,$,.NOCHANGE.,,$,$,1641799253);
#43= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,$, .METRE.);
#44= IFCSTUNIT(*,.AREAUNIT.,$, .SQUARE_METRE.);
#45= IFCSIUNIT(*,.VOLUMEUNIT.,$, .CUBIC_METRE.);
#46= IFCSIUNIT(*,.PLANEANGLEUNIT.,$, .RADIAN.);
#47= IFCDIMENSIONALEXPONENTS(0,0,0,0,0,0);
#48= IFCMEASUREWITHUNIT(IFCRATIOMEASURE(0.0174532925199433),#46);
#49= IFCCONVERSIONBASEDUNIT(#47,.PLANEANGLEUNIT.,'DEGREE',#48);
#51= IFCSIUNIT(*,.MASSUNIT.,.KILO.,.GRAM.);
#52= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#51,1);
#53= IFCDERIVEDUNITELEMENT(#43,-3);
#54= IFCDERIVEDUNIT((#52,#53),.MASSDENSITYUNIT.,$);
    
```

Figura 4.5: Dati presenti all'interno di un file testuale DATA

Come è possibile osservare nella figura precedente, il file STEP, corrispondente del file EXPRESS, riunisce tutti gli attributi appartenenti ad una determinata entità nella medesima stringa. I dati riportati nelle prime righe fanno riferimento ad entità di progetto come: società, applicativo di modellazione, unità di misura e assi coordinati e origine dello spazio cartesiano di riferimento.

Ogni stringa definisce tale entità associandole un ID attraverso l'operatore '#' ed assegna a ciascuna una classe con l'operatore '='. L'entità ha associati degli attributi che posseggono un determinato valore, esso può essere ripreso da un'istanza precedente richiamandola con l'operatore '#'. Tale processo permette di ridurre le dimensioni del file e di minimizzare l'errore, mantenendo la coerenza tra i dati. In questo modo ogni oggetto viene identificato univocamente con informazioni dettagliate e interconnesse con altre righe.⁹³

3.4 Architettura dello schema di dati IFC

L'architettura dei *data schemas* di IFC va a definire quattro livelli concettuali, che catalogano e raccolgono tutti i modelli usati per definire le *entities* usate in IFC. Il tutto è organizzato in maniera gerarchica, in modo tale che ogni data schema sia assegnato esattamente a un livello concettuale, e ogni *entity* possa essere messa in relazione solo ad altre *entities* di livello pari o inferiore al proprio. Questi livelli sono:

⁹³ Borin P., Zanchetta C., *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli S.p.a., settembre 2020.

- *Resource layer*: è il livello più basso, include le entità non radicate, tutti gli schemi individuali contenenti le definizioni delle risorse. Le definizioni non includono un identificatore globale, perciò non hanno un concetto di identità ma possono esistere solo in riferimento diretto o indiretto con una o più entità derivate da “*IfcRoot*”. Ciò vuol dire che contiene degli “attivatori” del modello, cioè dei concetti essenziali, delle “risorse” come nel nome del livello, che completano gli specifici domini disciplinari. I *data schemas* di questo livello, infatti, definiscono le proprietà base, come geometria, materiali e costi, racchiudendo informazioni a cui si può assegnare un valore o una descrizione.
- *Core layer*: in questo livello si trovano entità astratte che vengono referenziate e specializzate dai livelli successivi. Tutte le entità definite nel *Core schema* e nei livelli superiori hanno un ID unico e derivano da “*IfcRoot*”. Questo livello provvede alla struttura base, ai concetti comuni e alle relazioni fondamentali di un modello in cui l’IFC viene organizzato secondo una struttura ben precisa principalmente suddivisa in:
 - *Control Extension*: riguarda le entità per il controllo e l’assegnazione degli oggetti;
 - *Product Extension*: le entità che descrivono i prodotti;
 - *Process Extension*: vi fanno parte le entità che racchiudono le informazioni riguardanti processi, sequenze, pianificazione, e controllo dei lavori;
 - *Kernel*: è la parte più astratta del *Core schema*. Racchiude entità che descrivono aspetti generali degli oggetti, proprietà e relazioni fra di essi, sequenza dei processi e raggruppamenti.
- *Shared layer*: questo livello contiene schemi che definiscono le entità di un processo o di una risorsa specifica usata in diverse discipline. Le entità definite in questo livello possono essere referenziate e specializzate da tutte le entità sopra nella gerarchia.
- *Domain layer*: è il livello più alto dello schema, esso comprende le specializzazioni finali delle entità che non possono essere referenziate da nessun altro layer. Queste definizioni sono tipicamente utilizzate per scambi e condivisioni di informazioni all’interno di uno stesso dominio disciplinare e vengono organizzate secondo le varie discipline. I domini di appartenenza sono:
 - *IfcArchitectureDomain*;
 - *IfcBuildingControlsDomain*;
 - *IfcConstructionMgmtDomain*;
 - *IfcElectricalDomain*;
 - *IfcHvacDomain*;
 - *IfcPlumbingFireProtectionDomain*;
 - *IfcStructuralAnalysisDomain*;
 - *IfcStructuralElementsDomain*.

È quindi possibile suddividere le entità presenti in un file IFC in due tipologie distinte:

- o entità radicate che hanno come riferimento l'entità *IfcRoot*, una propria identità e attributi come nome e descrizione;
- o entità non radicate: non dispongono di una loro identità ed esistono solo se vi è un riferimento diretto o indiretto, con un'entità radicata.⁹⁴

Nello schema successivo vengono rappresentati i layer precedentemente elencati secondo il loro ordine gerarchico (Figura 4.6).

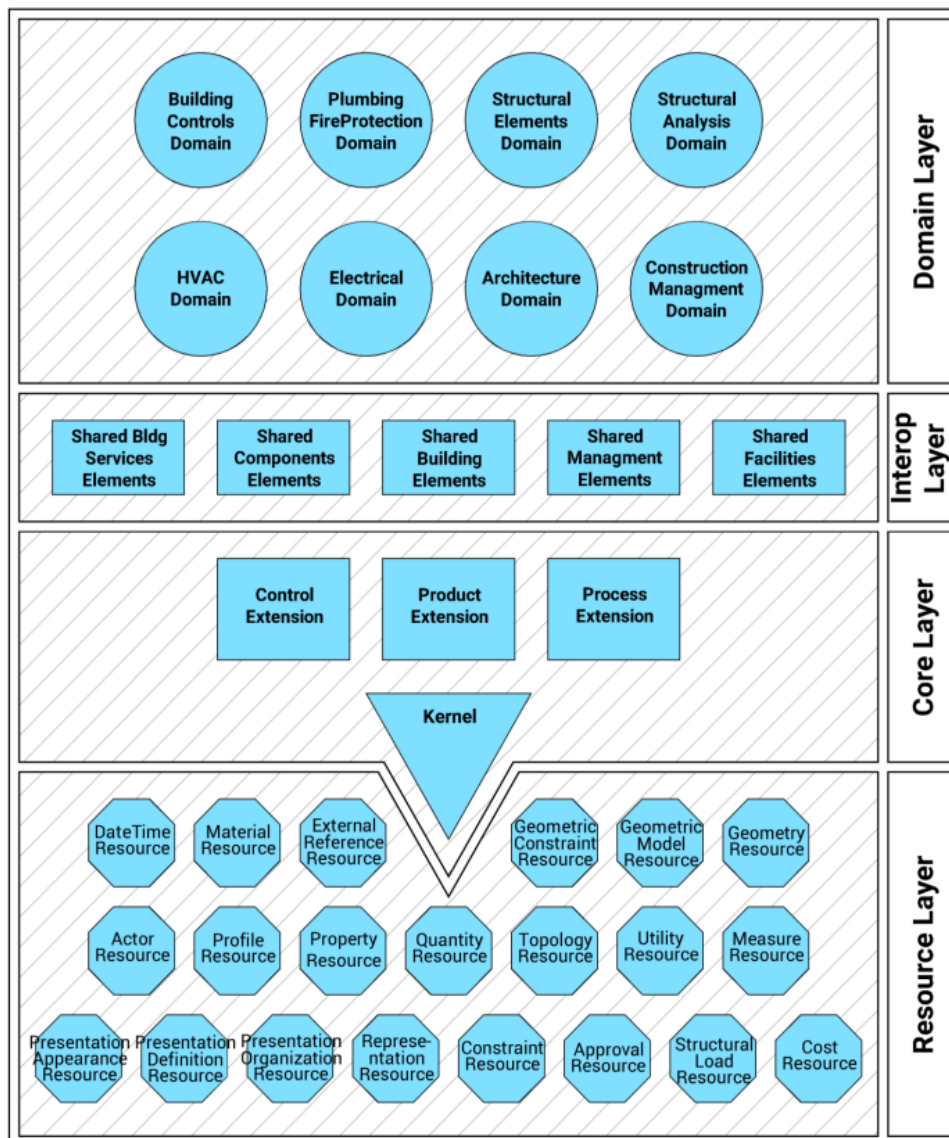


Figura 4.6: Organizzazione delle classi di IFC

IfcRoot è la classe principale a cui tutte le entità definite dal *Kernel* o nel *Resource schema* devono fare riferimento. Questo è a sua volta diviso in tre parti:

⁹⁴ *Industry Foundation Classes IFC4 Official Release*, BuildingSMART. Consultabile in: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/>.

- *IfcObjectDefinition*: comprende i vari tipi di oggetti fisici, funzionali e spaziali, divisi in due sottoinsiemi;
- *Ifc Relationship*: riguarda le relazioni tra gli oggetti;
- *IfcPropertyDefinition*: definisce le proprietà applicabili sugli oggetti.

3.4.1 *IfcObjectDefinition*

IfcObjectDefinition è suddiviso in *IfcObject* e *IfcTypeObject*. Il primo descrive la presenza dell'oggetto come l'installazione del prodotto con il numero di serie e la collocazione fisica nello spazio edificio, il secondo cattura le definizioni di tipo come il tipo di prodotto che ha un particolare numero di modello. Consideriamo con il termine "oggetto" non soltanto quelli fisici ma anche le entità astratte come spazi, processi e risorse. Ogni oggetto ha un proprio nocciolo di informazioni detto *IfcRoot* che costituisce il numero minimo di informazioni che un oggetto deve avere, ad esempio il GUID (*Globally Unique Identifier*), codice unico generato dai software e assegnato ad ogni oggetto indipendentemente dalla sua natura. Ognuno dei due tipi di sottoinsiemi dispone di informazioni riconducibili a sei tipologie:

- *IfcActor*: rappresenta persone o organizzazioni;
- *IfcControl*: regole di controllo di tempi, costi e qualità, come l'ordine delle lavorazioni;
- *IfcGroup*: collezioni di oggetti per scopi particolari come i circuiti elettrici, o altro;
- *IfcProduct*: la presenza nello spazio, come elementi costruttivi fisici e posizioni spaziali;
- *IfcProcess*: occorrenze nel tempo quali attività, eventi e procedure;
- *IfcResource*: l'utilizzo di qualcosa con disponibilità limitata, come materiali, manodopera e attrezzature (Figura 4.7).

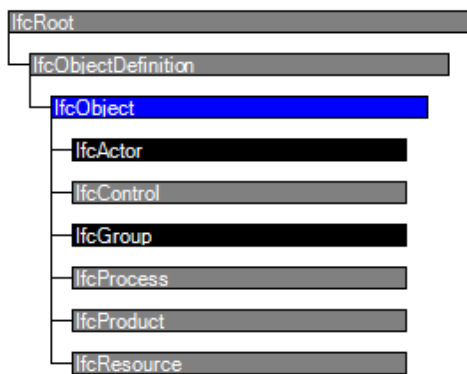


Figura 4.7: Definizione ereditate da *supertype* (BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifckernel/lexical/ifcobject.htm.)

Gli elementi comunemente usati nella modellazione (muri, solai, ecc.) rientrano nella categoria *IfcBuildingElement* (Figura 4.8).

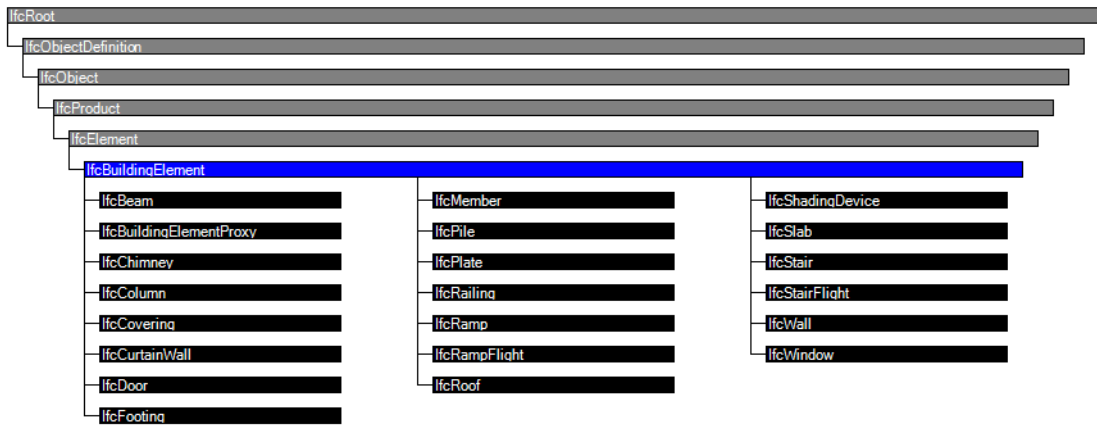


Figura 4.8: Definizioni ereditate da *supertype* di *IfcBuildingElement* (BuildingSMART)

Oltre alla definizione del tipo è possibile fornire un'ulteriore specifica, costituita dalle *TypeEnum* che definiscono in maniera più precisa una specificazione dell'oggetto. In figura è mostrato l'esempio dell'enumerativo che è possibile assegnare ad una copertura (Figura 4.9).⁹⁵

Enumeration definition

Constant	Description
FLAT_ROOF	A roof having no slope, or one with only a slight pitch so as to drain rainwater.
SHED_ROOF	A roof having a single slope.
GABLE_ROOF	A roof sloping downward in two parts from a central ridge, so as to form a gable at each end.
HIP_ROOF	A roof having sloping ends and sides meeting at an inclined projecting angle.
HIPPED_GABLE_ROOF	A roof having a hipped end truncating a gable.
GAMBREL_ROOF	A roof sloping downward in two parts from a central ridge, so as to form a gable at each end.
MANSARD_ROOF	A roof having on each side a steeper lower part and a shallower upper part.
BARREL_ROOF	A roof or ceiling having a semicylindrical form.
RAINBOW_ROOF	A gable roof in the form of a broad Gothic arch, with gently sloping convex surfaces.
BUTTERFLY_ROOF	A roof having two slopes, each descending inward from the eaves.
PAVILION_ROOF	A pyramidal hip roof.
DOME_ROOF	A hemispherical hip roof.
FREEFORM	Free form roof.
USERDEFINED	No specification given.
NOTDEFINED	No specification given.

Figura 4.9: Esempio di *EnumType* associabili ad *IfcRoof* (BuildingSMART)

⁹⁵ *IfcBuildingElement*, BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcbuildingelement.htm.

3.4.2 *IfcRelationship*

IfcRelationship descrive le relazioni tra gli oggetti. L'introduzione delle relazioni oggettivate consente anche lo sviluppo di un albero di sottotipi separato per la semantica delle relazioni. Ci sono cinque tipi di rapporti fondamentali:

- *IfcRelDecomposes*: cattura un rapporto “parte-di-un-tutto” con contenimento esclusivo come la suddivisione di un edificio in piani e camere;
- *IfcRelAssigns*: indica i rapporti di assegnazione in cui un oggetto consuma i servizi di un altro oggetto, come una risorsa di lavoro assegnata a un'attività, o di un compito assegnato a un elemento di costruzione;
- *IfcRelConnects*: evidenzia la connettività tra oggetti come una soletta collegata ad una trave o un tubo collegato ad un lavandino;
- *IfcRelAssociates*: indica riferimenti esterni di un oggetto, per esempio una libreria IFC esterna in cui è definito l'oggetto;
- *IfcRelDefines*: fa riferimento ad una relazione “caso-di”, come un segmento di tubo di un particolare tipo.⁹⁶

3.4.3 *IfcPropertyDefinition*

In IFC sono le proprietà a determinare la natura degli elementi, attraverso le diverse possibili relazioni fra le entità. Una classe di oggetti nasce dal suo supertipo in base alle proprietà e relazioni ricevute in eredità dalla classe di grado superiore. *IfcPropertyDefinition* cattura insiemi di proprietà estensibili in modo dinamico. Un insieme di proprietà contiene una o più proprietà che può essere un valore singolo (ad esempio stringa, numero, unità di misura), un valore limitato (avendo minimi e massimi), una enumerazione, un elenco di valori, una tabella di valori o un dato strutturato. Mentre IFC definisce diverse centinaia di insiemi di proprietà per i tipi specifici, insiemi di proprietà personalizzate possono essere definite da fornitori di applicazioni o utenti finali.

- *IfcPropertySet* rappresenta un insieme di singole proprietà (che possono essere determinate o meno da un modello di proprietà) che contengono valori individuali, tipi di misura e unità e sono associate a un tipo di oggetto dall'operatore;
- *IfcPropertySetTemplate* indica una raccolta di modelli di proprietà che determinano la definizione delle proprietà utilizzate all'interno di un contesto di progetto.⁹⁷

⁹⁶ Nissim L., *IFC: cos'è? E come è fatto?*, 30 dicembre 2015. Consultabile in: <https://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/>.

⁹⁷ *IfcPropertyDefinition*, BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifckernel/lexical/ifcpropertydefinition.htm.

4 GREEN BUILDING EXTREME MARKUP LANGUAGE (GBXML)

Lo schema Green Building XML è un formato sviluppato per trasferire le informazioni del modello BIM a strumenti di analisi prestazionale dell'edificio, principalmente strumenti di simulazione energetica e illuminotecnica che prevedono delle analisi più specifiche sul modello.

Lo sviluppo di Green Building XML ha avuto inizio nel 1999, grazie ad un finanziamento della California Energy Commission PIER Program, Pacific Gas and Electric e Green Building Studio. La prima versione dello schema è stata presentata nel giugno del 2000 dalla compagnia Green Building Studio, nel 2002 è stato lanciato un sito internet dedicato, ovvero gbXML.org e nel 2009 l'azienda Autodesk ha acquistato Green Building Studio, compagnia che aveva creato e implementato lo schema gbXML. Nello stesso anno gbXML diventa indipendente da Green Building Studio ed assume il nome ufficiale di "Open Green Building XML Schema, Inc".

Negli anni successivi lo schema è stato continuamente implementato grazie ad alcuni finanziamenti ricevuti dall'U.S. DOE. Infine, nel 2016 è stato realizzato il primo software conforme al formato gbXML: Open Studio. Nel 2021 sono più di 50 i software che supportano tale formato.⁹⁸

4.1 Descrizione dello schema dati

Il formato recupera la geometria e le informazioni non geometriche dal modello BIM e le salva in un file di testo con uno schema predefinito. Le informazioni sono suddivise in tre diverse categorie: *ShellGeometry* che definisce la superficie interna di uno spazio, *SpaceBoundary* che identifica la linea centrale di una superficie che delimita uno spazio e *Surface* che determina la superficie di uno spazio con caratteristiche geometriche determinando aperture e ombreggiamenti (Figura 4.10).⁹⁹

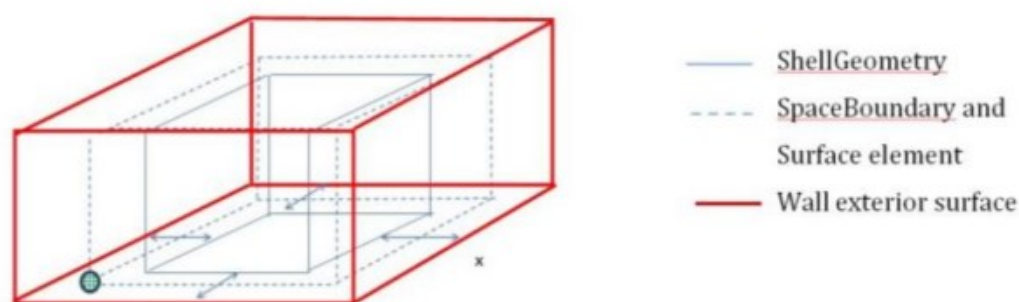


Figura 4.10: Determinazione di *ShellGeometry*, *SpaceBoundary* e *Surface*.

⁹⁸ About gbXML, gbXML. Consultabile in: https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML.

⁹⁹ Ivanova I., Kiesel K., Mahdavi A., *BIMgenerated data models for EnergyPlus- A comparison of gbXML and IFC Formates*, 4-6 febbraio 2015.

I software che utilizzano i formati gbXML non sempre utilizzano tutti e tre le categorie per recuperare la geometria. La maggior parte di loro implementa *ShellGeometry* e *SpaceBoundary* poiché in combinazione rappresentano la geometria in modo più accurato. Alcuni invece utilizzano esclusivamente l'elemento *Surface* per ottenere tali informazioni.¹⁰⁰

GbXML è sviluppato sulla base del linguaggio informatico XML (*Extensible Markup Language*). XML fornisce un formato di file non proprietario, persistente e verificabile sia per la memorizzazione che per la trasmissione di testo e dati dentro e fuori dal Web. XML consente a gruppi di persone o organizzazioni di creare il proprio linguaggio di markup personalizzato per lo scambio di informazioni all'interno e tra i rispettivi domini di interesse. Ha un formato globale, con sintassi coerente e può potenzialmente rappresentare qualsiasi modello di edificio computazionale attraverso opportuni motori di mappatura.¹⁰¹

La parola *markup* (da *marking up*) indica la definizione di un layout di testo organizzato secondo convenzioni standard. *Extensible* indica la possibilità di estendere tale linguaggio con *tag* (etichette) personalizzate, i *tag* sono gli elementi che consentono di assegnare un significato specifico a parti del testo.

Se il programma utilizzato esporta correttamente le informazioni, queste dovrebbero riguardare:

- blocchi e zone termiche;
- geolocalizzazione e descrizione dell'edificio;
- proprietà termiche dei materiali;
- stratigrafie delle strutture;
- caratteristiche geometrie e posizione nello spazio delle strutture opache;
- caratteristiche e posizione nello spazio delle strutture trasparenti.

Data la natura rigida dei file XML non sono concessi errori di sintassi e le informazioni devono essere organizzate in modo gerarchico, seguendo regole ferree.

La prima riga del file indica sempre la versione XML utilizzata e lo standard Unicode di riferimento. Ogni file gbXML, in conformità con le regole XML, deve inoltre avere un *root element* ovvero un elemento da cui dipendono tutti i successivi *tag* inseriti nel file. I *tag* sono contraddistinti da parentesi angolari, "" per la chiusura del *tag*, mentre per indicare la fine del *tag* viene utilizzato il segno "/".

È necessario seguire alcune regole di scrittura quali:

- scrittura corretta dei *tag*: le lettere in maiuscolo vengono considerate differenti

¹⁰⁰ Mastino C.C., Baccoli R., Frattolillo A., Marini M., Di Bella A., Da Pos V., *The Building Information Model and the IFC standard: analysis of the characteristics necessary for the acoustic and energy simulation of buildings*, 2017.

¹⁰¹ Dong B., Lam K. P., Huang Y. C., *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, 2007.

dall'equivalente minuscola;

- bilanciamento fra *tag*: ad ogni *tag* di apertura deve corrispondere un *tag* di chiusura.

Ad oggi questo formato di scambio è uno dei più utilizzati e diverse software house dispongono di prodotti in grado di esportare e importare informazioni organizzate secondo lo schema gbXML. Il suo utilizzo snellisce notevolmente il trasferimento di informazioni sull'edificio da e verso modelli architettonici e ingegneristici, eliminando la necessità di dispendiose operazioni di pianificazione. Ciò rimuove una significativa barriera di costi alla progettazione di edifici sostenibili ed efficienti dal punto di vista energetico.

5 IFC E GBXML A CONFRONTO

I principali formati implementati per il BIM, IFC e gbXML, nella loro ultima versione utilizzano XML ma secondo due differenti approcci. Il primo utilizza una struttura dati *bottom-up*, il secondo, al contrario, si rifà ad uno schema *top-down*. Entrambi forniscono le proprietà dei materiali e delle zone termiche, tuttavia i dati relativi alla localizzazione possono essere forniti solo in formato gbXML. Esso, infatti, è stato concepito per l'applicazione in ambito energetico ed esporta correttamente anche ombreggiamenti e ponti termici, essenziali per un'analisi di questo tipo (Figura 4.11).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-16"?>
<gbXML useSIUnitsForResults="false" temperatureUnit="F" lengthUnit="Feet" areaUnit="SquareFeet"
  <Campus id="aim0002">
    <Location>
      <StationId IDType="WMO">53159_2004</StationId>
      <ZipcodeOrPostalCode>00000</ZipcodeOrPostalCode>
      <Longitude>-71.05674</Longitude>
      <Latitude>42.35866</Latitude>
      <Elevation>16</Elevation>
      <CADModelAzimuth>0</CADModelAzimuth>
      <Name>Boston, MA</Name>
    </Location>
    <Building buildingType="SingleFamily" id="aim0013">
      <Surface surfaceType="ExteriorWall" constructionIdRef="aim0297" exposedToSun="true" id="aim0443">
      <Surface surfaceType="ExteriorWall" constructionIdRef="aim0297" exposedToSun="true" id="aim0444">
      <Surface surfaceType="Roof" constructionIdRef="aim0377" exposedToSun="true" id="aim0432">
      <Surface surfaceType="InteriorFloor" constructionIdRef="aim0270" id="aim0443">
      <Surface surfaceType="InteriorWall" constructionIdRef="aim0345" id="aim0455">
      <Surface surfaceType="InteriorWall" constructionIdRef="aim0345" id="aim0467">
      <Surface surfaceType="ExteriorWall" constructionIdRef="aim0297" exposedToSun="true" id="aim0445">
      <Surface surfaceType="Roof" constructionIdRef="aim0377" exposedToSun="true" id="aim0521">
      <Surface surfaceType="InteriorFloor" constructionIdRef="aim0270" id="aim0532">
```

Figura 4.11: Parziale rappresentazione di un file gbXML contenente informazioni per l'analisi energetica (Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, *Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions*, 15 Novembre 2018.)

Una delle caratteristiche del formato di file IFC è la capacità di definire IDM e MVD, come sottoinsiemi di file IFC, destinati ad aree specifiche di un progetto come la progettazione strutturale o l'analisi energetica. Mancano però alcune informazioni per particolari simulazioni che dovrebbero essere aggiunte allo standard esistente come ad esempio dati relativi ai ponti termici o agli ombreggiamenti che attualmente non possono essere mappati all'interno del modello. Differenza fondamentale tra i due formati è l'esportazione permessa in riferimento

alle geometrie: IFC riconosce qualsiasi tipo di geometria durante l'esportazione, gbXML, invece, predilige geometrie rettangolari.

In tabella sono riassunte le caratteristiche principali dei due formati a confronto (Tabella 4.2).¹⁰²

Tabella 4.2: Confronto caratteristiche gbXML e IFC (Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, *Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions*, 15 Novembre 2018.)

Caratteristiche	gbXML	IFC
Geometria	Geometrie rettangolari	Qualsiasi tipo di geometria
Data structure	XML	IFC, ZIP, XML
Approccio dello schema dati	Top-down	Bottom-up
Dominio di applicazione	Simulazioni energetiche	Differenti scopi
Capacità di definire zone termiche	Si	Si
Spessore dei materiali	Si	Si
Posizione	Si	No

Preferire un formato file rispetto ad un altro è una scelta da compiere tenendo in considerazione anche i software che si scelgono di utilizzare per l'analisi energetica. Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche di import ed export dei due programmi analizzati nella parte di sperimentazione, Revit ed Edilclima (Tabella 4.3).

¹⁰² Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, *Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions*, 15 Novembre 2018.

Tabella 4.3: Formati di import ed export Revit ed Edilclima

Software	Software HOUSE	gbXML		IFC	
		Import	Export	Import	Export
Revit	Autodesk	Consentito	Consentito	Consentito	Consentito
EdilClima	EdilClima S.r.l.	Non consentito	Non consentito	Consentito	Non consentito

6 IFC PER L'ANALISI ENERGETICA

Nell'arte della pratica odierna entra in gioco un processo di raccolta dati che prende informazioni da una varietà di fonti e trasforma manualmente queste informazioni in un file di input specifico richiesto dai software per la simulazione energetica. Sebbene basato su competenze professionali, questo processo tende a non essere eseguito in modo univoco da ciascuno, ma secondo metodi e regole pratiche sviluppate nel tempo da quell'individuo. Il risultato è un processo non standardizzato che produce modelli di costruzione per la simulazione che possono variare notevolmente da un modellista all'altro, pur partendo dalla stessa iniziale informazione sulla progettazione dell'edificio. Questo processo non standardizzato si è sviluppato a causa di diversi fattori, tra cui la tradizionale separazione tra architettura, simulazione energetica e meccanica, nonché tra le discipline professionali ingegneristiche e la loro partecipazione all'attuale processo di progettazione; ne risulta una dicotomia tra una veduta architettonica di un edificio e una simulazione energetica per la natura autonoma degli strumenti software utilizzati da ciascuna delle discipline progettuali partecipanti.¹⁰³ Uno specialista per eseguire una simulazione energetica deve quindi trasformare manualmente l'edificio architettonico aggiungendo le informazioni mancanti per poter creare un modello BIM ottimale. È importante notare che gli strumenti BEPS richiedono una rappresentazione della geometria molto più semplice rispetto ai programmi CAD; per questo motivo, la rappresentazione della geometria dell'edificio deve essere semplificata, ridotta, tradotta o interpretata, prima che essa possa essere utilizzata. La preparazione o semplificazione può essere fatta automaticamente in una certa misura, ma richiede anche sforzi manuali.¹⁰⁴

¹⁰³ Hitchcock R. J., Wong J., *Transforming IFC Architectural view BIMs for energy simulation*, 16 Novembre 2011.

¹⁰⁴ Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation*, 2018.

L'intervento dell'utente finale, che spesso comporta la replica manuale o semi-manuale di informazioni già esistenti, rallenta drasticamente il processo, introduce errori e omissioni nel database risultante e può introdurre incomprensioni e interpretazioni errate nel processo.¹⁰⁵ La trasformazione manuale dei dati può, inconsapevolmente, anche risultare in contraddizione con dati precedentemente raccolti e questo rende inaffidabili i risultati del software che ha utilizzato tali valori. Trovare e correggere dati errati, travisati e contraddittori, e trovare e aggiungere i dati mancanti può essere attività molto laboriosa. È quindi di fondamentale importanza riuscire ad estrapolare un protocollo di esportazione IFC che riduca tali errori al minimo (Figura 4.12).¹⁰⁶

Per l'esportazione tramite IFC di un modello BIM per l'analisi energetica è importante tener a mente che ci sono diverse proprietà e caratteristiche che devono essere prese in considerazione e implementate così da possedere più informazioni possibili già nel file di input ed evitarne l'inserimento manuale successivo. Vi è quindi una prima fase di controllo e risoluzione dei problemi e una seconda che consiste in un processo di arricchimento del modello. Infatti, sebbene la geometria del file IFC sia accurata e coerente, mancano ancora i dati necessari per la simulazione energetica. L'obiettivo di questo processo è completare i dati mancanti, quindi generare un modello BEPS completo pronto per la simulazione. Il file IFC deve contenere tutte le informazioni necessarie per eseguire una simulazione energetica come:

- proprietà fisiche e termiche dell'edificio;
- informazioni sugli *space boundary* di secondo livello: superfici attraverso le quali fluisce l'energia termica, sia tra gli spazi interni dell'edificio sia tra uno spazio dell'edificio e l'ambiente esterno degli edifici come aria/suolo;
- dati contestuali;
- coerenza con il modello BIM in aspetti quali posizione, unità, materiali e orientamento.

¹⁰⁵ Ivanova I., Kiesel K, Mahdavi A., *BIMgenerated data models for EnergyPlus- A comparison of gbXML and IFC Formates*, 4-6 febbraio 2015.

¹⁰⁶ Bazjanac V., Kiviniemi A., *Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data*, Gennaio 2007.

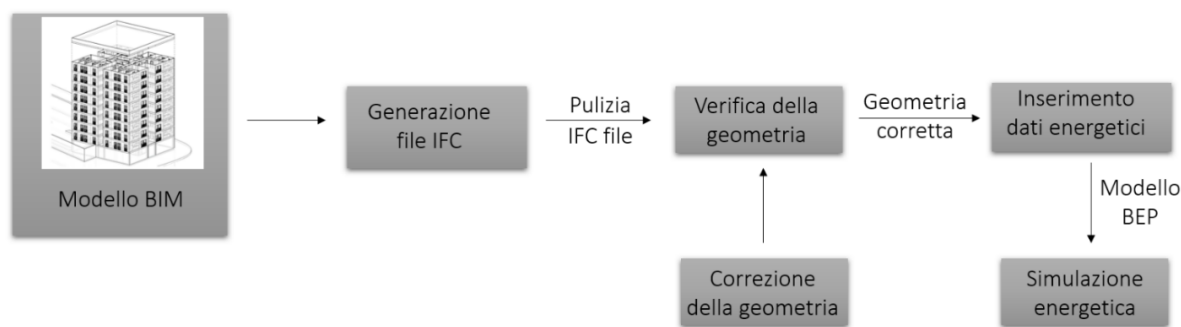


Figura 4.12: Processo per la trasformazione di un modello BIM in un modello per la simulazione energetica (Elagiry M., Charbel N., Bourreau P., Di Angelis E., Costa A., *IFC to building energy performance simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches*, Settembre 2020.)

6.1 Geometria dell'involucro

Una grande percentuale degli errori riscontrati nella fase di simulazione è dovuta in primo luogo a come viene generata la geometria. La transizione da BIM a IFC può produrre errori che devono essere corretti prima di importare l'IFC in uno strumento BEPS, poiché essi si rifletteranno anche nel modello energetico. È quindi essenziale verificare la geometria del modello così da assicurare la sua accuratezza, completezza e coerenza con il file IFC generato.

Come evidenziato precedentemente è necessario anche, direttamente nel software di modellazione, apportare semplificazioni al modello architettonico prima dell'esportazione tramite IFC. Tale file deve infatti risultare pulito e leggibile, senza errori o imperfezioni di tipo geometrico. Molti dei dati contenuti all'interno del modello generato dal software di BIM authoring, sono spesso veicolo di informazioni non essenziali per un software di simulazione energetica e possono essere eliminate o non esportate.¹⁰⁷

6.2 Model View Definition

La possibilità di poter definire una MVD e di poter leggere determinati elementi e parametri in un determinato modo è fondamentale per procedere con un'analisi quanto più dettagliata possibile, senza dover ricorrere all'inserimento manuale di dati che non vengono riconosciuti nell'esportazione da un software di input. Tra le MVD attualmente sviluppate si tendono a preferire per l'analisi energetica IFC2x3 Concept Design BIM 2010 (CDB) e IFC4 Design Transfer View. La prima, come precedentemente illustrato, ha lo scopo di coordinare dati designati all'analisi energetica come: struttura dell'edificio, suo posizionamento e orientamento, definizione degli elementi costruttivi e zonizzazione. La seconda ha subito degli importanti miglioramenti e ampliamenti che definiscono in maniera più complessa e completa i componenti HVAC e i sistemi necessari nella simulazione energetica. Fra i diversi domini definiti al suo interno, due riguardano i sistemi impiantistici. Il primo denominato

¹⁰⁷ Elagiry M., Charbel N., Bourreau P., Di Angelis E., Costa A., *IFC to building energy performance simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches*, Settembre 2020.

IfcHvacDomain, per gli impianti di climatizzazione, e il secondo denominato *IfcPlumbingFireProtectionDomain* per gli impianti idraulici dedicati e sistemi antincendio. Lo standard prevede diversi PropertySet tra cui anche il Pset di tipo Common che consente di definire se quel particolare componente è nuovo, esistente, temporaneo o altro.¹⁰⁸ Tuttavia in IFC4 mancano ancora alcune definizioni come quelle relative alle pompe di calore, ai sistemi di cogenerazione (CHP) e ad alcune proprietà fondamentali necessarie per la simulazione di componenti HVAC che richiedono la creazione da parte dell'utente.

6.3 Inserimento di vani e zone termiche

Alcuni degli strumenti CAD conformi a IFC attualmente disponibili forniscono un meccanismo per identificare le zone termiche all'interno di un edificio, almeno come gruppi di spazi nel modello edilizio. Questo dato fa in modo di trasformare la vista dello spazio architettonico inteso come stanza in una zona termica, aspetto fondamentale per procedere con una simulazione energetica. La zonizzazione termica richiede inoltre un appropriato trattamento delle superfici di confine dello spazio intrazonale.¹⁰⁹ Entrambi gli schemi IFC2X3 e IFC4 dovrebbero contenere il confine dello spazio (*IfcRelSpaceBoundary*) entità, che definisce il fisico o virtuale delimitatore di uno spazio e il suo rapporto con gli elementi circostanti. È importante esportare questa entità quando viene generato il modello IFC. Vale la pena ricordare che, tra Revit e ArchiCAD, i più comuni strumenti di modellazione BIM, quest'ultimo consente una più precisa definizione delle zone, dimensioni e confini dello spazio (bordo interno o riferimento linea). Inoltre, consente una modifica manuale di questi confini, il che lo rende uno strumento più accurato per la generazione di file IFC rispetto a Revit. Quest'ultimo genera automaticamente questi spazi e non ne consente modifiche manuali.¹¹⁰

6.4 Carichi interni

Lo schema IFC include proprietà per la rappresentazione dei carichi interni come occupazione, illuminazione e requisiti di condizionamento. Queste proprietà possono essere allegate a singole istanze spaziali o associate tramite un tipo di spazio direttamente dal software di modellazione.

6.5 Materiali

Per poter effettuare un'analisi energetica è necessario conoscere le proprietà dei materiali, in particolare quelle legate al loro aspetto termico. Allo stato attuale, l'esportazione

¹⁰⁸ Mastino C. C., Da Pos V., *BIM e diagnosi energetica dei sistemi impiantistici in edifici esistenti*, 12 febbraio 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/24492-bim-e-diagnosi-energetica-dei-sistemi-impianistici-in-edifici-esistenti>.

¹⁰⁹ Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *Model View Definition For advanced building energy performance simulation*, Settembre 2016.

¹¹⁰ Elagiry M., Charbel N., Bourreau P., Di Angelis E., Costa A., *IFC to building energy performance simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches*, Settembre 2020.

di queste proprietà tramite IFC non è possibile. Il problema riscontrato è relativo alla classe *IfcMaterialProperties*, anche se opportunamente mappata. L'assenza di questa classe si ripercuote su tutte le sotto entità che da essa dipendono.

6.6 Ponti termici e ombreggiamenti

Per ottenere un buon modello, utile alla sperimentazione per scopi di analisi energetica, è necessario tenere in considerazione durante la modellazione architettonica che, per la definizione di eventuali ponti termici dell'involucro esterno dell'edificio, è preferibile scomporre le murature per livelli, evitando di creare una parete monolitica cielo-terra. L'analisi si rivela in questa maniera molto più dettagliata e affidabile.

Gli strumenti CAD, compatibili con IFC, attualmente disponibili non permettono la creazione di superfici ombreggianti come sporgenze, alette, tetti o balconi in un modo coerente e che possa essere rilevato attraverso l'IFC. Questo divario dovrebbe essere affrontato per un efficace scambio di informazioni relativo all'ambito energetico.

6.7 Sistemi HVAC

Ad oggi, pochi strumenti conformi ad IFC generano informazioni dettagliate sul sistema HVAC o sui suoi componenti, il che significa che non è comunque possibile inserire tutte le informazioni da poter utilizzare in seguito nei software per la simulazione energetica.¹¹¹

6.8 Space Boundary

Un modello architettonico è caratterizzato dalla presenza di molti elementi come pareti, finestre, porte che definiscono i confini spaziali di vani e locali. Molte volte durante il processo di modellazione non si presta attenzione a tale funzione degli elementi che risulta invece fondamentale per poter effettuare una simulazione energetica. Infatti, affinché ci sia interazione tra modello architettonico ed energetico, è necessario che le superfici possiedano i dati del locale che delimitano.

Questo tipo di informazioni viene chiamata *Space Boundary* e ne sono state definite cinque differenti livelli:

- 1° *level*: è la superficie di un elemento edilizio che è continuamente visibile dall'interno di uno spazio. Ad esempio, un muro può essere modellato come un unico oggetto che delimita diversi spazi su ciascun lato.
- 2° *level*: Ai fini della simulazione energetica, i confini degli spazi devono essere modellati in modo più dettagliato che consideri questo "altro lato", per tenere conto dei diversi flussi di calore tra gli spazi. Se, ad esempio, un muro separa uno spazio su un lato da due spazi sull'altro lato, il confine di 1° livello deve essere suddiviso in due

¹¹¹ Hitchcock R. J., Wong J., *Transforming IFC Architectural view BIMs for energy simulation*, 16 Novembre 2011.

confini di 2° livello.

- 3° level: Non tutte le parti di un confine di 1° livello costituiscono 2 confini di 2° livello. Quelle parti in cui non c'è uno spazio, ma un elemento di costruzione sull'altro lato, sono considerate confini dello spazio di 3° livello.
- 4° level: A seconda della posizione delle linee di riferimento del muro, alcune aree possono non essere considerate dai confini del 3° livello, ad esempio una piccola parte della superficie di una lastra in cui due pareti perpendicolari si incontrano sull'altro lato. Tali aree formano i confini del 4° livello.
- 5° level: Quando gli elementi dell'edificio si intersecano ad angolo non retto, può verificarsi un altro tipo di aree senza flusso di calore perpendicolare, chiamate confini dello spazio di 5° livello.

I confini dello spazio possono essere interni, esterni e virtuali. Se esterni, possono essere solo di 1° o 2° livello. Lo schema IFC distingue questi due livelli:

- 1° level Space boundary;
- 2° level Space boundary: diviso in tipo A e tipo B.

Gli *space boundary* di primo livello non considerano cosa c'è dall'altra parte della superficie, perciò, non sono adatti per analisi prestazionali. Quelli di secondo livello invece considerano ciò che si trova dall'altra parte. Essi, inoltre, distinguono se dall'altra parte c'è un altro locale, 2° level space boundary tipo A (Figura 4.13-a) o se è presente un'entità architettonica, 2° level space boundary tipo B (Figura 4.13-b).

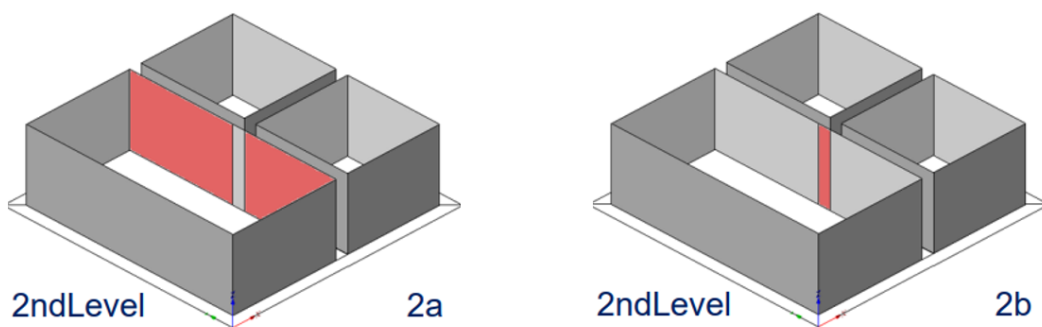


Figura 4.13: 2° level space boundary tipo A e tipo B (Bazjanac V., *Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation.*)

I confini dello spazio di 3°, 4° e 5° livello sono tutti classificati come IFC tipo 2b perché mostrano tutti lo stesso comportamento. Tale differenziazione è riassunta nella tabella seguente (Tabella 4.4).¹¹²

¹¹² Bazjanac V., *Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation.*

Tabella 4.4: IFC type classification for space boundary levels (Bazjanac V., *Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation.*)

Space boundary level/ IFC Type	Interior	Exterior	Virtual
1 st level	1	1	1
2 nd level	2a	2a	2a
3 rd level	2b	N/A	2b
4 th level	Incorporated in 2b	N/A	Incorporated in 2b
5 th level	Incorporated in 2b	N/A	Incorporated in 2b

Nel corso dei capitoli precedenti è stata dimostrata l'importanza fondamentale dell'interoperabilità tra modellazione architettonica e simulazione energetica. Allo scopo di approfondire tali tematiche, si è deciso di applicare ad un caso reale l'utilizzo del software BIM Revit e l'applicativo di simulazione energetica Edilclima.

Attraverso l'attivazione del tirocinio presso l'azienda Seingim S.r.l. è stato possibile rapportarsi ad un caso studio destinato ad un intervento di Superbonus. Le analisi che verranno descritte successivamente sono state portate a compimento utilizzando Autodesk Revit 2021 e la versione 11 di EC700- Calcolo prestazione energetiche degli edifici.

1 METODOLOGIA

Lo studio prevede, a partire dalle planimetrie catastali, di ricreare un modello architettonico dell'edificio preso in esame attraverso il software Revit. Verificata la correttezza della geometria da esportare e proponendone eventuali correzioni, si è potuta semplificare per poterla adattare al software di simulazione energetica prescelto. Successivamente si è portata a compimento l'esportazione del modello architettonico nell'ambiente di lavoro proposto da Edilclima attraverso un'importazione IFC. Si è quindi condotta la diagnosi energetica in regime semi-stazionario, per poter giustificare l'intervento di Superbonus sull'edificio, utilizzando il modello creato con il programma di BIM Authoring.

In seguito, si è giunti al medesimo risultato esportando il modello architettonico prodotto in Revit utilizzando il plug-in EC770.

Si sono poi confrontati i risultati ottenuti secondo le due metodologie operative proposte.

Successivamente è stata condotta una diagnosi in regime dinamico a partire dal file IFC utilizzato per l'importazione nell'ambiente di simulazione energetica.

Un ulteriore confronto è stato svolto tra la procedura di importazione IFC proposta dalla software-house Edilclima in EC700 e altri due programmi per l'analisi energetica: TerMus e Termolog.

2 CASO STUDIO

L'edificio analizzato è un condominio costruito nel 1938 con destinazione residenziale

che si trova in Via Maria Santissima Ausiliatrice a Genova. Trattasi di un edificio costituito da un unico corpo di fabbrica con tipologia a corte aperta sito nel ponente genovese in posizione pianeggiante a ridosso del torrente Rio San Pietro, nel quartiere di Genova Prà. Il complesso presenta al proprio interno due numeri civici: il 6 e il 6 A ed è costituito da 5 piani abitabili adibiti ad appartamenti, un piano seminterrato non climatizzato, in cui sono presenti le cantine, e un ultimo piano dove è posto un sottotetto ispezionabile e non riscaldato a cui si accede tramite le due rampe di scale che ricevono luce dal lucernario di copertura in vetro e acciaio (Figura 5.1).



Figura 5.1: Vista 3D Via Maria Santissima Ausiliatrice 6/6 A, Genova (Google Maps)

L'edificio è interamente realizzato con una muratura in mattoni pieni con spessore variabile che si rastrema di piano in piano a partire da una dimensione di 71 centimetri. Esternamente presenta, fino al filo inferiore delle finestre del primo piano, una cornice leggermente rialzata rispetto al filo della muratura esterna che cinge i prospetti esterni e risvolta per circa un metro nel cortile interno (Figura 5.2).



Figura 5.2: Viste prospettive: a) esterno lato Ovest, b) cortile lato

Il condominio presenta: solai realizzati in latero cemento con uno spessore di 27 centimetri, serramenti in acciaio e pvc a doppio e a singolo vetro, tetto a falde inclinate con struttura lignea, manto alla genovese con abbaini in ardesia in triplo strato su letto di malta (Figura 5.3).



Figura 5.3: Dettaglio interno sottotetto

I prospetti dell'edificio si sviluppano in maniera lineare per tutta la sua altezza, riportando la medesima scansione delle finestre per ogni piano. Internamente la disposizione delle partizioni interne di ogni singolo appartamento, durante gli anni, ha subito qualche

modifica che però non ha infierito sull'assetto dei serramenti esterni.

Per ogni piano sono disposti 6 appartamenti, 3 per numero civico, a cui è possibile accedere tramite due scale poste nell'intersezione tra i bracci della C (Figura 5.4).

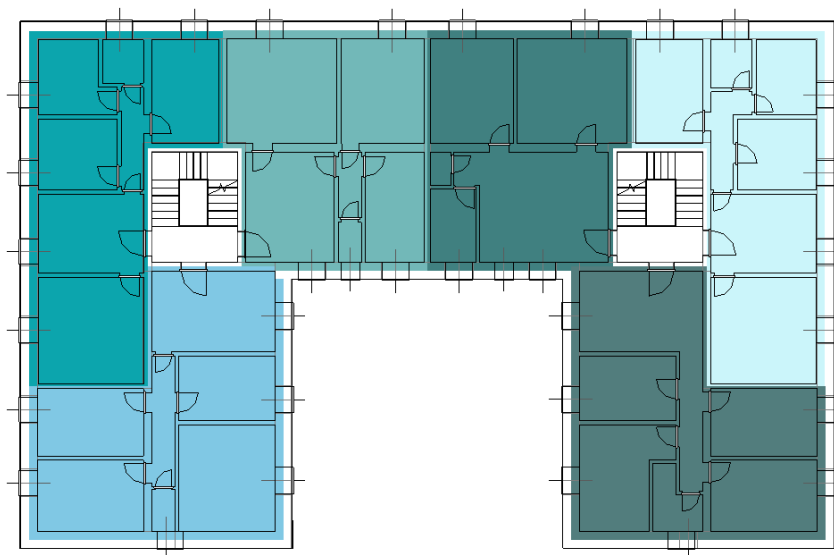


Figura 5.4: Disposizione appartamenti e vani scala Piano Primo

L'impianto termico di riscaldamento è autonomo per ciascuna unità immobiliare sia per quanto riguarda il riscaldamento che per l'acqua calda sanitaria. Ogni unità abitativa ha, infatti, una caldaia di tipo tradizionale a gas metano con potenza nominale 24 kW, che fornisce entrambi i servizi. I terminali di emissione sono radiatori posti su parete esterna per tutte le unità immobiliari, regolati tramite termostato di zona. Tutte gli ambienti degli appartamenti sono riscaldati, mentre il sottotetto, i due vani scala e il piano seminterrato non presentano un sistema di riscaldamento.

2.1 Modello architettonico

Il modello architettonico dell'edificio è stato modellato utilizzando Autodesk Revit 2021. Per impostare il file di lavoro è stato salvato un file centrale, associato a file locali, così da poter sincronizzare le modifiche svolte e utilizzarlo contemporaneamente. A questo scopo sono stati creati workset di progetto modificabili, raccolte di elementi suddivisi in base ad aree funzionali, utilizzabili nei progetti condivisi (Figura 5.5).¹¹³

¹¹³ Quando si rende un workset modificabile in Revit, si assume la proprietà esclusiva di tutti gli oggetti in esso contenuti. Ciascun workset è modificabile in modo esclusivo da un solo utente alla volta. Tutti i membri del team possono visualizzare i workset di proprietà degli altri membri, ma non sempre possono modificarli. In tal modo si evita il rischio che insorgano conflitti nel progetto. È possibile prendere in prestito un elemento da un workset di proprietà di un altro utente richiedendolo.

Workset

Workset attivo: Locali Visualizza in grigio elementi grafici non attivi nei workset

Nome	Modificabile	Proprietario	Richiedente(i)	Aperto
CAD	Si	valentina.levorato.3		Si
_LINK	Si	valentina.levorato.3		Si
cavedi	Si	valentina.levorato.3		Si
contesto	Si	valentina.levorato.3		Si
copertura	Si	valentina.levorato.3		Si
Griglie e livelli condivisi	Si	valentina.levorato.3		Si
Locali	Si	valentina.levorato.3		Si
muri esterni	Si	valentina.levorato.3		Si
scale	Si	valentina.levorato.3		Si
serramenti	Si	valentina.levorato.3		Si
solai	Si	valentina.levorato.3		Si
Terreno	Si	valentina.levorato.3		Si
tramezze interne	Si	valentina.levorato.3		Si
Workset1	Si	valentina.levorato.3		Si

Mostra:
 Creato da utente Standard progetto
 Famiglie Viste

Figura 5.5: Workset di progetto

Successivamente, osservando l'orientamento presente in Google Maps, è stato possibile definire il Nord reale attraverso il comando: *Gestisci* → *Posizione progetto* → *Posizione* → *Ruota Nord reale*. Quest'ultimo, nel caso specifico, differiva di 24° rispetto a quello di progetto.

Definiti tali fondamentali aspetti è stato possibile caricare le piante prodotte in AutoCAD, da utilizzare come riferimento, e le planimetrie catastali in scala per poter definire le partizioni interne, l'altezza dei vari piani e i reali spessori dei muri esterni. Tale operazione è stata eseguita utilizzando il comando *Inserisci* → *Importa* e successivamente scegliendo la voce *Importa CAD* o *Importa PDF* (Figura 5.6).

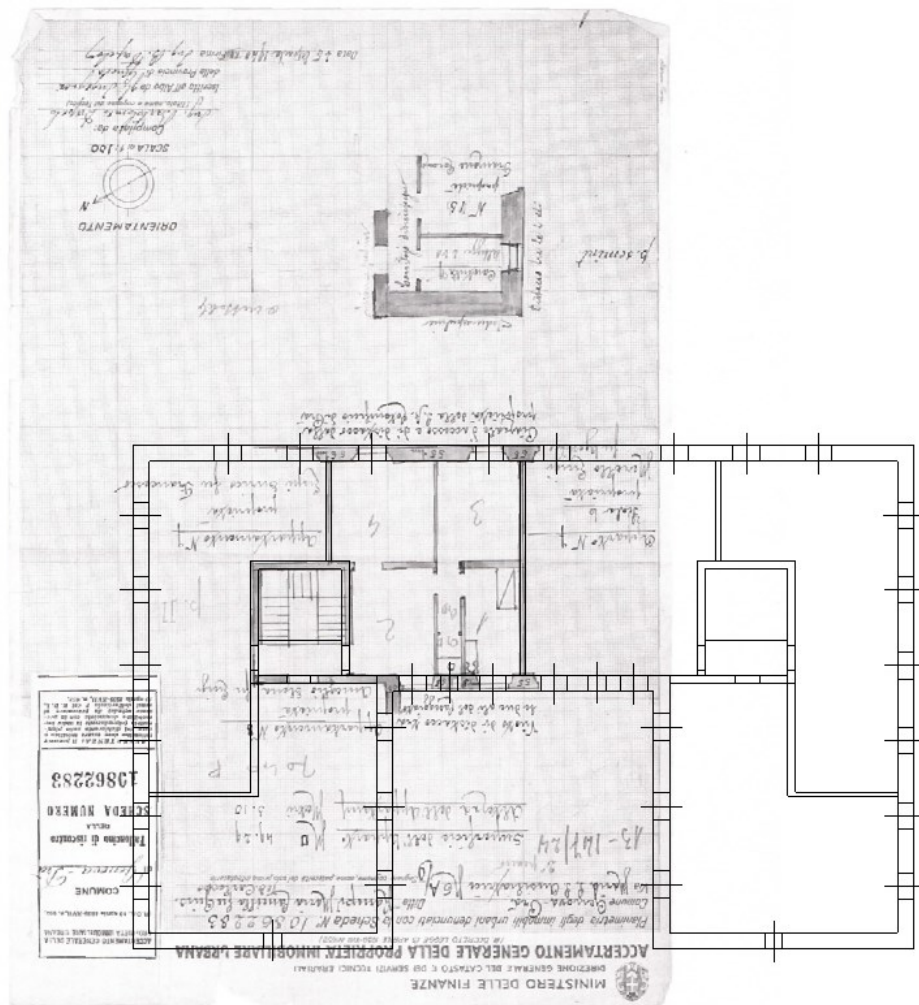


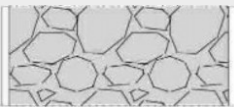

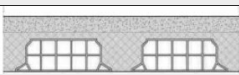


Figura 5.6: Inserimento planimetrie catastali e piante CAD su Revit

Analizzando le medesime planimetrie sono state desunte le altezze di ogni piano:

- Piano seminterrato: 2,20 m, fuoriesce dal terreno di 1,24 m.
- Piano terra: 3,25 m
- Piano secondo, terzo e quarto: 3.10 m.

Sono quindi stati modellati muri, differenti famiglie di porte, di finestre, tetti e solai. In particolare si sono dovute creare più famiglie di finestre poiché differivano per dimensione e tipologia, ad anta doppia o singola. Si è definita anche la stratigrafia degli elementi costruttivi secondo le informazioni in possesso: l'anno di costruzione e l'abaco delle tipologie edilizie del periodo ipotizzato. Secondo quanto desunto dall'abaco, prima del 1976 non è mai presente un materiale isolante termico all'interno delle strutture quindi i valori di trasmittanza termica dipendono unicamente dalla tipologia del componente e dal suo spessore. La tabella di seguito riassume le stratigrafie di riferimento utilizzate nel progetto (Tabella 5.1).

Tabella 5.1: Tipologie costruttive e serramenti 1900-2005

Descrizione	Immagine	Periodo di maggiore diffusione	U [W/(m ² K)]
Muratura di pietra intonacata [60cm]		1920 circa	2,00
Solaio in calcestruzzo armato		1901-1930	1,95
Solaio latero-cementizio		1930-1975	1,30
Tetto a falde con struttura e tavolato in legno		1950 circa	1,80
Porta in legno		Fino al 1980	3,00

Esternamente si è deciso di ricreare la cornice decorativa che circonda l'edificio così da definirne l'ingombro e rendere la rappresentazione il più possibile simile alla realtà. Il risultato, visibile in figura, è arricchito dall'inserimento del contesto per poter ricreare gli ombreggiamenti sull'edificio in analisi (Figura 5.7).

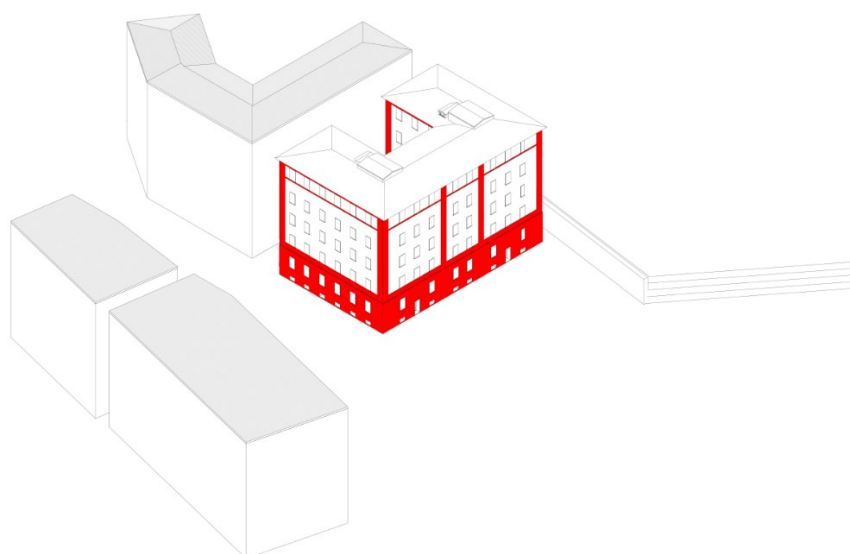


Figura 5.7: Modello BIM completo di contesto

Completata la realizzazione del modello architettonico, come visto nel capitolo precedente, per poter procedere con una simulazione energetica è necessario scegliere il tipo di software da utilizzare e procedere con una semplificazione del modello. Il software prescelto per la simulazione è stato EC700 poiché supporta l'importazione attraverso file IFC. Per poter ottenere un modello il più possibile leggibile dal programma è stato necessario procedere con successive prove e sperimentazioni. Verranno, in seguito, messe a paragone le prove svolte con i risultati ottenuti nel software di simulazione, fornendo per ogni passaggio, il confronto tra i dati esportati e quelli riconosciuti da EC700. Una volta ottenuto l'IFC più chiaro e comprensibile per il programma di simulazione energetica prescelto, si è proceduto con l'esportazione e la successiva diagnosi dell'edificio.

2.2 Semplificazione del modello

Il primo passo per ottenere un modello utilizzabile per una simulazione energetica è stato quello di semplificare il modello architettonico creato in modo tale da eliminare i dettagli puramente architettonici e inserire invece elementi importanti e riconoscibili per l'analisi da svolgere. In questa ottica sono quindi state eliminate molte tipologie di finestre a favore di un'unica apertura parametrica che si potesse adattare allo spessore del muro e alle dimensioni planimetriche richieste (Figura 5.8).

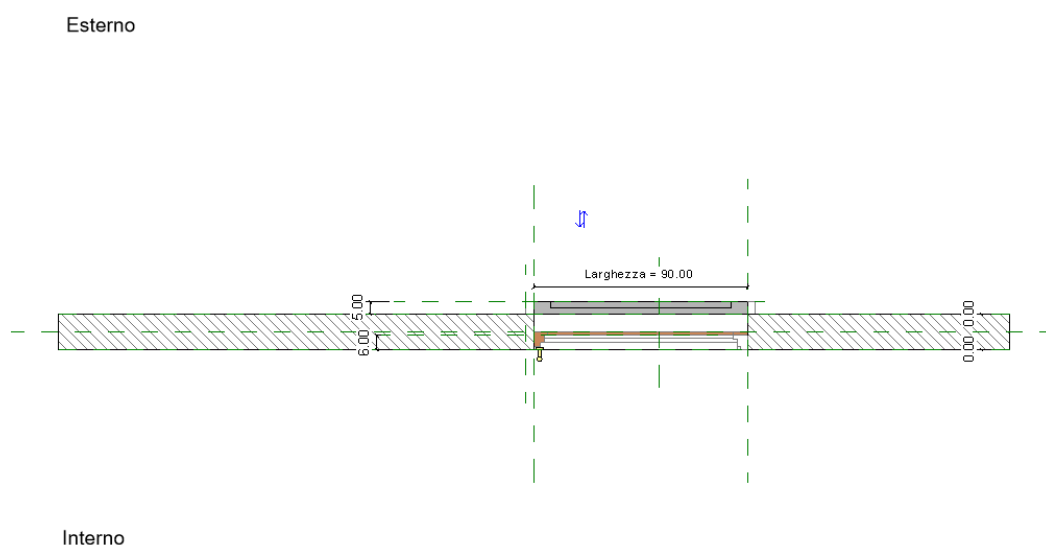


Figura 5.8: Famiglia parametrica componenti finestrati

Sono state successivamente eliminate le porte interne agli appartamenti e le finestre del piano seminterrato poiché non influenti per l'analisi. Anche le cornici esterne che rappresentavano le decorazioni di facciata dell'edificio sono state eliminate in quanto EC700 riesce a rilevare un solo muro per vano o locale e non due murature appaiate, erano quindi elementi superflui e che avrebbero potuto portare il software ad una scorretta lettura delle delimitazioni di ogni ambiente.

Un altro passaggio fondamentale in questa fase è stato comprendere il grado di modellazione presente nella maschera di “Input grafico” di EC700 così da rendere alcuni elementi riconoscibili dal software, un esempio è l’eliminazione degli abbaini dal file Revit. Il programma di Edilclima, infatti, non riusciva in una prima esportazione del file a visualizzare la copertura presente nel progetto poiché troppo complessa. Procedendo alla semplificazione della copertura il software ha riconosciuto il locale del sottotetto (Figura 5.9).

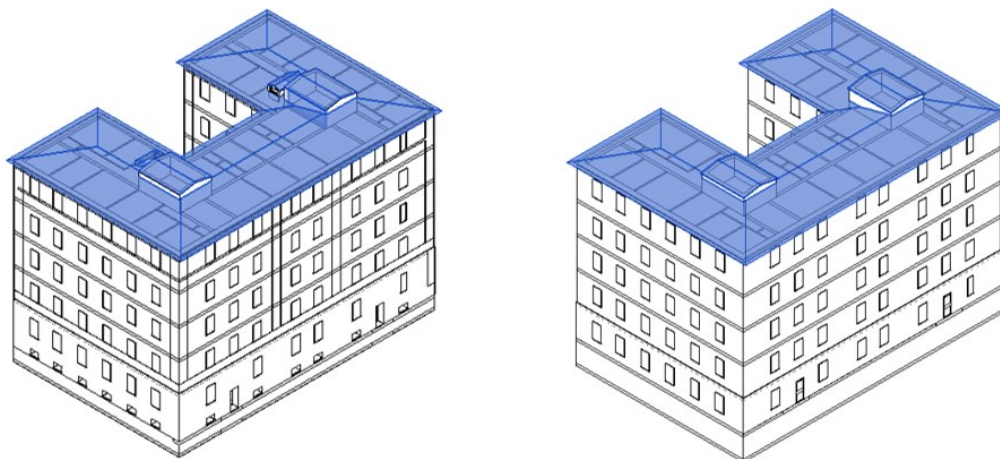


Figura 5.9: Semplificazione copertura

Il modello semplificato e pronto all’esportazione IFC si presenta quindi come nell’immagine seguente (Figura 5.10).

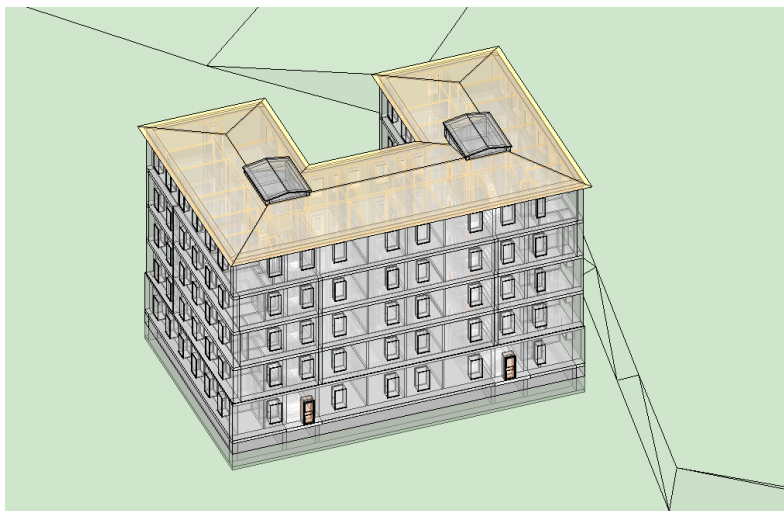


Figura 5.10: Modello semplificato per l’esportazione IFC

2.3 Posizionamento

Per rendere il modello energetico completo in ogni sua parte è stato inserito il posizionamento dell’edificio utilizzando il comando di Revit *Analizza* → *Ottimizzazione energetica* → *Località* (Figura 5.11).

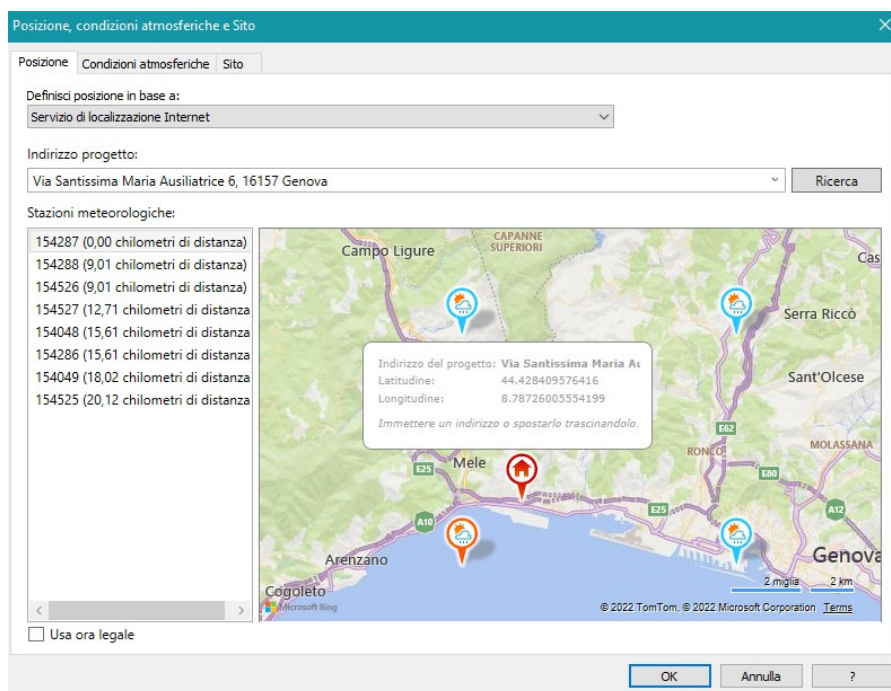


Figura 5.11: Inserimento posizionamento edificio in Revit

L'indirizzo del progetto, impostato nel software di BIM authoring, viene correttamente esportato tramite IFC ma è un dato che non può essere automaticamente rilevato da Edilclima in quanto in EC700 è necessario prima definire la località e solo in un secondo momento l'IFC può essere importato. Tale informazione quindi non è possibile sia importata in maniera semiautomatica da Revit ma deve essere inserita manualmente in seguito (Figura 5.12).

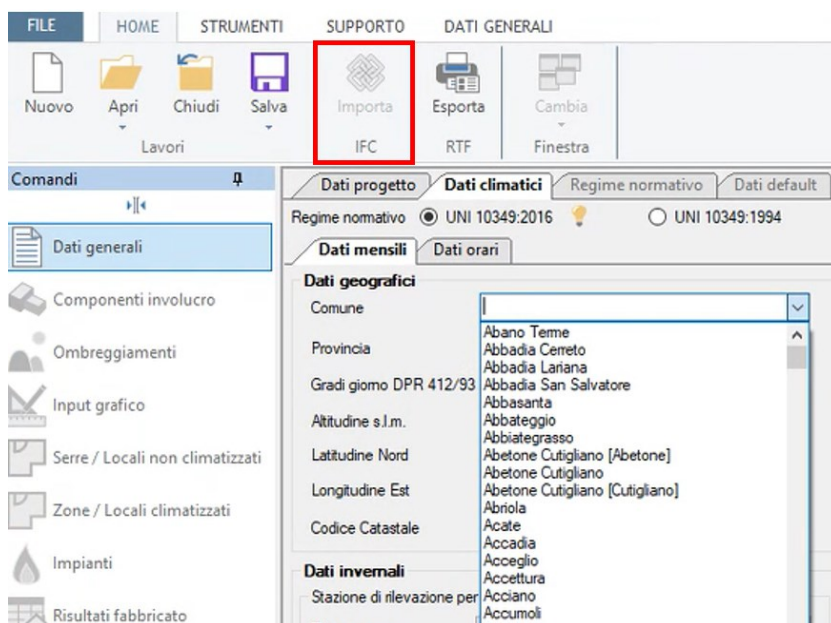


Figura 5.12: Inserimento posizionamento Edilclima

2.4 Gestione degli elementi costruttivi

2.4.1 Materiali

Per caratterizzare in maniera puntuale i vari elementi costruttivi del modello è stato assegnato a ciascuno di questi una stratigrafia utilizzando i materiali già presenti nella libreria di Revit 2021 e creandone di nuovi dove necessario, utilizzando il comando *Gestisci* → *Materiali* → *Crea e duplica i materiali*. Ad ogni nuovo materiale sono state assegnate delle proprietà termiche così da caratterizzarlo in maniera dettagliata e osservare se il programma di simulazione energetica riesce o meno a riconoscerle (Figura 5.13).

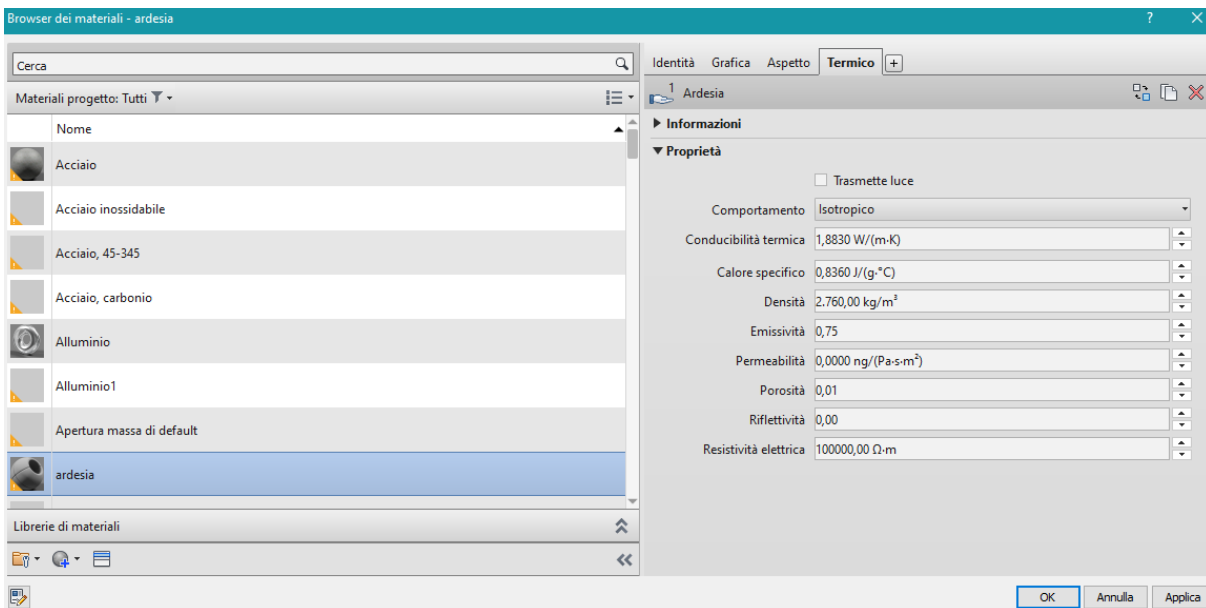
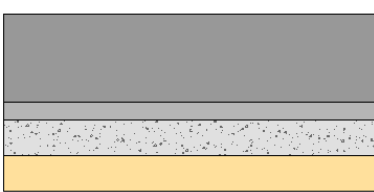
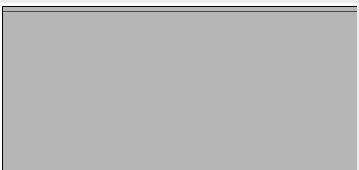


Figura 5.13: Proprietà termiche assegnate al materiale “ardesia”

In tabella sono schematizzate le varie tipologie di elementi costruttivi e i materiali di cui sono composti, secondo l’abaco delle tipologie costruttive esposto al Capitolo Quinto2.1 (Tabella 5.2).

Tabella 5.2: Stratigrafie elementi costruttivi

Tipologia di elemento	Immagine	Stratigrafia
Pavimento Latero- cementizio 27cm		Ceramica bianca: 2 cm Sabbia e calcestruzzo: 6,5 cm Calcestruzzo: 4 cm Laterizio: 13 cm Malta di gesso con inerti: 1,5

		cm
Pavimento in calcestruzzo con soletta metallica 27 cm		Pavimentazione: 3 cm Calcestruzzo: 23 cm Malta di gesso con inerti: 2 cm
Tetto lucernario 4 cm		Vetro: 4 cm
Tetto alla genovese		Ardesia: 5 cm Bitume: 1 cm Calcestruzzo: 2 cm Legno dolce: 2 cm
Muro di base mattoni pieni		Malta di calce: 2 cm Roccia sedimentaria: variabile Malta di gesso con inerti: 2 cm

La definizione dei materiali direttamente da Revit ha permesso una rapida associazione una volta importato il file in Edilclima poiché dalla maschera “Associa materiali” è stato possibile trovare una corrispondenza tra i materiali presenti nei due software ed associarli (Figura 5.14).

IFC			Edilclima		
Materiale	Spessore [mm]	Codice	Materiale	Spessore [mm]	
Intonaco - Bianco	15,00	e1018	Malta di gesso con inerti	0,00	
Laterizio (2)	160,00	e2302	Soletta in laterizio	0,00	
Laterizio (2)	130,00	e2302	Soletta in laterizio	0,00	
Legno dolce, legname	20,00	e1101	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	0,00	
malta di calce	20,00	e1023	Malta di calce o di calce e cemento	0,00	
Malta di gesso con inerti	20,00	e1020	Malta di gesso con inerti	0,00	
Malta di gesso con inerti	15,00	e1020	Malta di gesso con inerti	0,00	
Malta di gesso con inerti cornice	20,00	e1020	Malta di gesso con inerti	0,00	
Pavimentazione	30,00	e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	0,00	
roccia sedimentaria	670,00	e2218	Roccia naturale sedimentaria	0,00	

Edilclima	Ricerca	Barriere al vapore	Calcestruzzi	Intonaci	Isolanti	Laterizi	Solette	Vari	Pannelli	Intercapedini
Tipologia materiale	Codice									
Pavimentazioni	Descrizione									
Solai	Sp [mm]									
Solette in laterizio	M.V. [kg/m³]									
Solai legno cemento-ISOTEX	Cond. [W/mK]									
	R.V. [l]									
	C.T. [kJ/kgK]									
	Nome									
	e1710	Pavimento in gomma								
	e1711	Pavimento in plastica								
	e1712	Strato isolante di gomma cellulare								
	e1713	Strato isolante di plastica cellulare								
	e1714	Strato isolante di feltro								
	e1715	Strato isolante di lana								
	e1716	Strato isolante di sughero								

Figura 5.14: Associazione materiali IFC-Edilclima

Per velocizzare tale procedimento è stato creato un file XML di associazione dei materiali che permettesse di accoppiarli automaticamente ad ogni successiva prova svolta (Figura 5.15).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
- <IfcAssociation Version="1" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <Layer CodEdcl="e2204" IfcThickness="5000" IfcName="ardesia"/>
  <Layer CodEdcl="e12701" IfcThickness="1000" IfcName="Bitume, Asfalto"/>
  <Layer CodEdcl="e434" IfcThickness="22000" IfcName="Calcestruzzo"/>
  <Layer CodEdcl="e2402" IfcThickness="4000" IfcName="Calcestruzzo"/>
  <Layer CodEdcl="e23005" IfcThickness="2000" IfcName="Calcestruzzo, gettato in opera"/>
  <Layer CodEdcl="e1704" IfcThickness="2000" IfcName="Ceramica bianca"/>
  <Layer CodEdcl="e11701" IfcThickness="5000" IfcName="Coppi"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="26000" IfcName="Default - Muro"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="20000" IfcName="Default - Muro"/>
  <Layer CodEdcl="e1018" IfcThickness="2000" IfcName="Intonaco - Bianco"/>
  <Layer CodEdcl="e1018" IfcThickness="1500" IfcName="Intonaco - Bianco"/>
  <Layer CodEdcl="e2302" IfcThickness="16000" IfcName="Laterizio (2)"/>
  <Layer CodEdcl="e2302" IfcThickness="13000" IfcName="Laterizio (2)"/>
  <Layer CodEdcl="e1101" IfcThickness="2000" IfcName="Legno dolce, legname"/>
  <Layer CodEdcl="e1023" IfcThickness="2000" IfcName="malta di calce"/>
  <Layer CodEdcl="e1020" IfcThickness="2000" IfcName="Malta di gesso con inerti"/>
  <Layer CodEdcl="e1020" IfcThickness="1500" IfcName="Malta di gesso con inerti"/>
  <Layer CodEdcl="e1020" IfcThickness="2000" IfcName="Malta di gesso con inerti cornice"/>
  <Layer CodEdcl="e1704" IfcThickness="3000" IfcName="Pavimentazione"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="67000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="61000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="56000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="51000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="46000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="41000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="11000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2218" IfcThickness="8000" IfcName="roccia sedimentaria"/>
  <Layer CodEdcl="e2402" IfcThickness="6500" IfcName="Sabbia e Calcestruzzo"/>
</IfcAssociation>
```

Figura 5.15: File di associazione materiali Revit-Edilclima

Alcuni materiali presenti nel file Revit non sono stati mai associati poiché non presenti nella maschera di associazione, tra questi:

- Vetro;
- Acciaio;
- Pvc;
- Legno.

Osservando a che stratigrafia appartenessero è stato chiaro che Edilclima non riconoscesse i materiali dei componenti finestrati e delle porte probabilmente perché considerate come famiglie esterne e non elementi propri del progetto. Nonostante questo è possibile rintracciare questi elementi nella maschera “componenti involucro” di EC700 e caratterizzarli.

Il passaggio di associazione dei materiali tra i due software non può essere evitato ed è quindi impossibile utilizzare i materiali presenti in Revit direttamente all’interno di Edilclima. Questo non permette ai due software di scambiare informazioni relative alle proprietà, che devono quindi essere confrontate manualmente.

2.4.2 Elementi costruttivi

Le planimetrie costruttive hanno evidenziato come i muri esterni dell’edificio non presentino tutti il medesimo spessore. Si è preservata tale differenziazione anche nel modello BEM, mantenendo la medesima stratigrafia del muro riportato nella tabella precedente sia per le partizioni interne che per quelle esterne. Gli spessori delle partizioni interne variano da 10 cm a 30 cm, quelli delle murature esterne da 45 cm a 71 cm. Per facilitare il procedimento in EC700 sono stati poi duplicati alcuni di questi elementi e rinominati poiché delimitavano differenti zone termiche e, solo modificando il tipo direttamente da Revit, è stato possibile attribuire a questi ponti termici e caratterizzazioni specifiche in EC700. In tabella il riassunto di tutti i tipi di muri presenti nel modello BEM pronto per l’esportazione (Tabella 5.3).

Tabella 5.3: Tipi di muro presenti nel modello RVT

Tipo di muro	Spessore [cm]
Mattoni pieni - 10 cm	10
Mattoni pieni - 15 cm	15
Mattoni pieni - 20 cm	20
vano scala mattoni pieni - 30 cm	30
interno mattoni pieni - 30 cm	30
seminterrato vano scala mattoni pieni - 30 cm	30
vano scala esterno mattoni pieni - 30 cm	30
esterno mattoni pieni - 45 cm	45
esterno mattoni pieni - 50 cm	50
esterno mattoni pieni - 55 cm	55
esterno mattoni pieni - 60 cm	60
Mattoni pieni - 65 cm	65

esterno mattoni pieni 71 cm	71
-----------------------------	----

Prestando attenzione a differenziare le strutture poste nei pressi dei locali non climatizzati è stato necessario modificare anche il tipo dei pavimenti (Tabella 5.4):

Tabella 5.4: Tipi di pavimentazioni presenti nel modello RVT

Tipo di pavimentazioni	Spessore [cm]
latero Cementizio da c a c- 27 cm	27
latero Cementizio da c a c- 27 cm	27
latero Cementizio da c a c- 27 cm	27
latero Cementizio da c a c- 27 cm	27
Calcestruzzo da 270 mm con soletta metallica da 50 mm da c a non c	27
Latero Cementizio da c a non c- 27 cm	27
Calcestruzzo da 270 mm con soletta metallica da 50 mm da no c a esterno	27
atrio Latero Cementizio - 30 cm	30
atrio Latero Cementizio - 30 cm	30

Gli elementi costruttivi presenti nel modello Revit vengono poi ritrovati nella maschera “Componenti involucro” di EC700 e raggruppati in: muri (M), pavimenti (P), soffitti (S) e componenti finestrati (W). A questi vengono associate delle lettere in base al tipo di locale che delimitano:

- Tipo T: struttura disperdente verso l’ambiente esterno;
- Tipo G: struttura disperdente verso il terreno;
- Tipo U: struttura disperdente verso i locali non climatizzati o le serre solari;
- Tipo N: struttura disperdente verso zone o appartamenti vicini;
- Tipo A: struttura disperdente verso i locali climatizzati ad una diversa temperatura;
- Tipo E: struttura disperdente da locali non climatizzati verso l’ambiente esterno;
- Tipo R: struttura disperdente da locali non climatizzati verso il terreno;
- Tipo D: divisorio interno alla zona climatizzata.

Suddividendo i vari tipi di muri e di solai in base ai locali che delimitano direttamente da Revit, il software per la simulazione energetica associa correttamente ad ogni tipo una lettera e la compilazione della maschera è perciò veloce e semiautomatica (Figura 5.16).

Componenti		Muri - riepilogo						
		Codice	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ue [W/mK]	Qe [°C]	Vti
M1	Muro di base esterno mattoni pieni 71 cm	M5	D	Muro di base Generico - 10 cm	120,00	2,749	-	●
M3	Muro di base Mattoni pieni - 15 cm	M6	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	15,6	✓
M4	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M7	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M5	Muro di base Generico - 10 cm	M8	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M6	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M9	N	Muro di base Mattoni pieni - 15 cm	150,00	2,654	20,0	✓
M7	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M10	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M8	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M11	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M9	Muro di base Mattoni pieni - 15 cm	M12	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	15,6	✓
M10	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M13	T	Muro di base Mattoni pieni - 15 cm	150,00	3,027	0,0	✗
M11	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M14	N	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	20,0	✓
M12	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M15	N	Muro di base Generico - 20 cm	200,00	2,882	20,0	✓
M13	Muro di base Mattoni pieni - 15 cm	M16	T	Muro di base esterno mattoni pieni 71 cm	710,00	1,781	0,0	✓
M14	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M17	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M15	Muro di base Generico - 20 cm	M18	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M16	Muro di base esterno mattoni pieni 71 cm	M19	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M17	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M20	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M18	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M21	T	Muro di base esterno mattoni pieni - 60 cm	600,00	1,946	0,0	✓
M19	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M22	T	Muro di base Mattoni pieni - 65 cm	650,00	1,867	0,0	✓
M20	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M23	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M21	Muro di base esterno mattoni pieni - 60 cm	M24	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M22	Muro di base Mattoni pieni - 65 cm	M25	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M23	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M26	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M24	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M27	T	Muro di base esterno mattoni pieni - 60 cm	600,00	1,946	0,0	✓
M25	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M28	T	Muro di base esterno mattoni pieni - 55 cm	550,00	2,032	0,0	✓
M26	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M30	T	Muro di base esterno mattoni pieni - 50 cm	500,00	2,126	0,0	✓
M27	Muro di base esterno mattoni pieni - 60 cm	M31	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M28	Muro di base esterno mattoni pieni - 55 cm	M32	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M29	Muro di base esterno mattoni pieni - 50 cm	M33	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M30	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M34	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M31	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M35	T	Muro di base esterno mattoni pieni - 45 cm	450,00	2,229	0,0	✓
M32	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M36	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M33	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M37	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M34	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M38	U	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,262	16,0	✓
M35	Muro di base esterno mattoni pieni - 45 cm	M39	U	Porta - 1 Arta 90x210 cm	40,00	1,685	16,0	✓
M36	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M40	T	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,528	0,0	✗
M37	Porta - 1 Arta 90x210 cm	M41	E	Muro di base esterno mattoni pieni - 45 cm	450,00	2,229	0,0	✓
M38	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	M42	E	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm	300,00	2,528	0,0	✗
M39	Porta - 1 Arta 90x210 cm							
M40	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm							
M41	Muro di base esterno mattoni pieni - 45 cm							
M42	Muro di base interno mattoni pieni - 30 cm							
P1	Pavimento Calcestruzzo da 270 mm con soletta metallica da 50 mm da no c a estemo							
P2	Pavimento Calcestruzzo da 270 mm con soletta metallica da 50 mm da c a non c							
P3	Pavimento latero Cementizio da c a c- 27 cm							
P4	Pavimento latero Cementizio da c a c- 27 cm							
P5	Pavimento latero Cementizio da c a c- 27 cm							
S1	Soffitti Pavimento latero Cementizio da c a c- 27 cm							
S2	Soffitti Pavimento latero Cementizio da c a c- 27 cm							
S3	Tetto di base Lucernari vetro:250046							
S4	Tetto di base:tetto ausiliatore 6_abbaini							
Ponti Termici								

Figura 5.16: Maschera "Componenti involucro"

2.5 Gestione di vani e zone termiche

La caratteristica fondamentale che un modello deve possedere per essere utilizzato per l'analisi energetica è la presenza di vani o locali che delimitino i suoi ambienti. Per l'edificio in analisi si sono utilizzati due differenti modalità per creare tali ambienti: in un primo momento sono stati inseriti all'interno del modello Revit i locali, in seguito i vani. I locali, nonostante delimitino i contorni di un ambiente allo stesso modo dei vani, appartengono al modello architettonico e per questa ragione non possiedono proprietà energetiche; i vani, al contrario, contano nelle proprietà molti campi che riguardano questo ambito sotto la voce "Analisi energetica".

Si prevede quindi EC700 riconosca sia il file esportato con i locali che quello con i vani ma che con il secondo visualizzi anche informazioni di carattere energetico e riesca a rendere il percorso di scambio di informazioni tra i due software quanto più automatico possibile, esportando dati inseriti in Revit anche in Edilclima.

2.5.1 Locali

I locali, inseriti all'interno del progetto attraverso il comando *Architettura* → *Locale e area* → *Locale*, sono denominati in modo da poter essere rintracciabili e riconducibili al loro posizionamento all'interno dell'edificio. È stato possibile attribuire un numero alla stanza poiché si sono modellate anche le partizioni interne dell'edificio che non differenziano solo un

appartamento da quello vicino, ma anche gli ambienti del medesimo interno. Il numero loro assegnato presenta le seguenti caratteristiche:

- 6 o 6 A in base al civico di riferimento;
- -10, 00, 10, 20, 30, 40, 50 secondo il piano a cui appartengono;
- 1, 2, 3 definisce l'appartamento;
- 01, 02, 03 ecc. rappresenta la stanza.

Per meglio chiarire tale denominazione si mostra l'esempio di come si è attribuito il nome alla prima stanza del secondo appartamento del primo piano del civico 6: 6_102_01 (Figura 5.17).



Figura 5.17: Esempio denominazione Locale

Per le parti comuni, non appartenenti agli interni, la denominazione tiene in considerazione la medesima sequenza di informazioni, ad eccezione del numero dell'appartamento. La tabella posta in appendice evidenzia il numero di tutti i locali e i riferimenti per rintracciarli all'interno del modello.¹¹⁴

Dopo aver attribuito ad ogni ambiente un locale è stato possibile procedere con l'importazione in EC700 tramite file IFC. Si è osservato in questo passaggio come, all'interno della maschera "Zone/Locali", i locali siano tutti riconosciuti da Edilclima e raggruppati all'interno dell'ambito "zone climatizzate" (Figura 5.18).

¹¹⁴ Vedi appendice 1

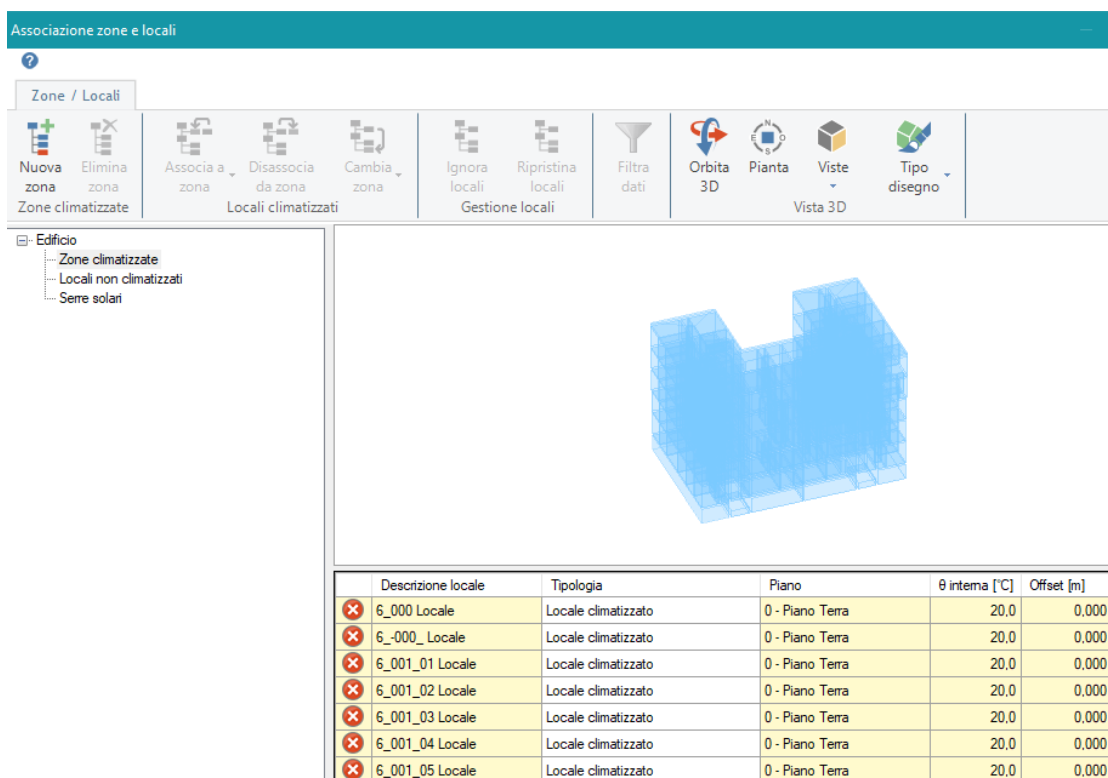


Figura 5.18: Importazione in EC700 locali, zona.

Su quest'interfaccia è possibile agire manualmente, creando una nuova zona climatizzata e associandovi i locali designati selezionandoli e utilizzando il comando *Associa a zona*. È necessario poi modificare la tipologia di climatizzazione del locale, riconoscendolo attraverso il numero assegnatogli in precedenza in Revit e che il software di simulazione energetica riconosce (Figura 5.19).

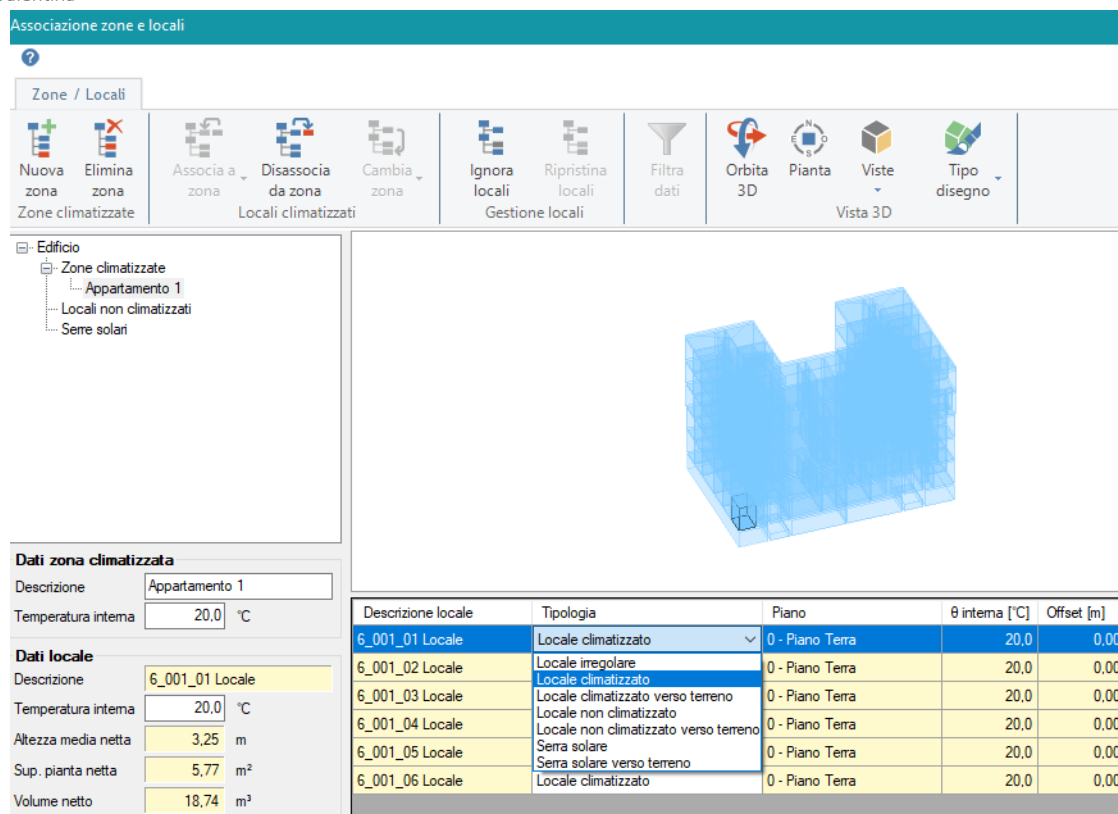


Figura 5.19: Importazione in EC700 locali, tipologia di climatizzazione

2.5.2 Vani

Seguendo quanto già esposto nel paragrafo precedente, si sono poi denominati i vani seguendo la medesima numerazione. La tabella posta in appendice evidenzia il numero di tutti i vani e i riferimenti per rintracciarli all'interno del modello.¹¹⁵

A differenza dei locali, utilizzare i vani per delimitare un ambiente ne facilita l'inserimento di proprietà che possono essere utili per il tipo di analisi svolta. Per caratterizzare ogni vano in maniera dettagliata dal punto di vista energetico sono state assegnate a ciascuno proprietà differenti a seconda del tipo di climatizzazione e alla funzione svolta all'interno dell'edificio. Per chiarezza si riportano due differenti tipologie di classificazione.

2.5.2.1 Proprietà vano climatizzato

In questo caso, l'ambiente presenta il nome "Appartamento" ed è contrassegnata nel comando *Tipo di climatizzazione* la casella *Riscaldamento e raffrescamento* per caratterizzare la proprietà che in Edilclima ne determina la differenziazione. Per completezza è stata aggiunta anche la destinazione d'uso dell'ambiente nella casella *Tipo di vano* e i Parametri IFC che si approfondiranno in seguito in questo capitolo (Figura 5.20).

¹¹⁵ Vedi Appendice 2

Vani (1) Modifica tipo	
Flusso d'aria di scarico sp...	0.00 L/s
Flusso di scarico effettivo	0.00 L/s
Flusso di ricambio d'aria	6.50 L/s
Dati identità	
Workset	Locali
Numero	6A_001_01
Nome	Appartamento
Numero del locale	Non abitabile
Nome del locale	Non abitabile
Immagine	
Commenti	
Modificato da	
Fasi	
Fase	Stato di Progetto
Analisi energetica	
Zona	6A_00_01
Vano tecnico	<input type="checkbox"/>
Abitabile	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo di climatizzazione	Riscaldamento e raffred...
Tipo di vano	Salotto/ricreazione
Tipo di costruzione	<Edificio>
Person	Modifica...
Carichi elettrici	Modifica...
Informazioni sui ricambi ...	Da tipo di vano
Ricambio d'aria per persona	2.36 L/s
Ricambio d'aria per area	0.30 L/(s·m ²)
Cambiamenti d'aria all'ora	0.000000
Metodo di ricambio d'aria	per persona e per area
Carico riscaldamento calc...	Non calcolato
Carico riscaldamento di p...	0.00 W
Carico raffreddamento ca...	Non calcolato
Carico raffreddamento di ...	0.00 W
Parametri IFC	
IfcGUID	1Z65_1Szf8bQuS68WrOR75
IfcExportAs	IfcSpace
IfcExportType	USERDEFINED
IfcObjectType	Climatizzato

Figura 5.20: Proprietà vano climatizzato

2.5.2.2 Proprietà vano non climatizzato

Ogni ambiente non climatizzato è classificato all'interno del modello come *Senza Climatizzazione* e ad ognuno è assegnato un nome che descrive la destinazione d'uso:

- Atrio
- Scale
- Seminterrato
- Sottotetto

La funzione di ogni vano è poi riportata anche nella casella *Tipo di vano* (Figura 5.21).

Vani (1) Modifica ti	
Flusso d'aria di scarico sp...	0.00 L/s
Flusso di scarico effettivo	0.00 L/s
Flusso di ricambio d'aria	34.48 L/s
Dati identità ⌵	
Workset	Locali
Numero	6A_000_
Nome	Atrio
Numero del locale	Non abitabile
Nome del locale	Non abitabile
Immagine	
Commenti	
Modificato da	
Fasi ⌵	
Fase	Stato di Progetto
Analisi energetica ⌵	
Zona	Non climatizzata
Vano tecnico	<input type="checkbox"/>
Abitabile	<input checked="" type="checkbox"/>
Tipo di climatizzazione	Senza climatizzazione
Tipo di vano	Atrio
Tipo di costruzione	<Edificio>
Person	Modifica...
Carichi elettrici	Modifica...
Informazioni sui ricambi ...	Da tipo di vano
Ricambio d'aria per persona	2.36 L/s
Ricambio d'aria per area	0.30 L/(s·m ²)
Cambiamenti d'aria all'ora	0.000000
Metodo di ricambio d'aria	per persona e per area
Carico riscaldamento calc...	Non calcolato
Carico riscaldamento di p...	0.00 W
Carico raffreddamento ca...	Non calcolato
Carico raffreddamento di ...	0.00 W
Parametri IFC ⌵	
IfcGUID	2F85bk5JD7GvJeNI2_RvAA
IfcExportAs	IfcSpace
IfcExportType	USERDEFINED
IfcObjectType	Non climatizzato

Figura 5.21: Proprietà vano non climatizzato

2.5.3 Zone

Le zone sono una raccolta di vani e, di conseguenza, vengono in genere create dopo il posizionamento di vani nel modello. Ogni vano posizionato nel progetto in Revit viene assegnato automaticamente ad una zona di default ed è possibile modificare l'appartenenza alla zona attraverso il comando *Analizza* → *Vani e zone* → *Zone*. Il comando permette infatti di creare una nuova zona, assegnargli proprietà e raggrupparvi all'interno i vani prescelti.

Le zone nel modello BEM sono denominate in maniera analoga ai vani inserendo in *Dati identità* → *Nome* la seguente codifica:

- 6 o 6 A in base al civico di riferimento;
- -10, 00, 10, 20, 30, 40, 50 secondo il piano a cui appartengono;
- 1, 2, 3 per definisce l'appartamento.

I vani definiti come *Senza climatizzazione*, indipendentemente dal piano a cui questi appartengono, sono raggruppati in un'unica zona definita come "Non climatizzata" (Figura

5.22). L'associazione tra vani e zone è riportata integralmente in appendice.¹¹⁶

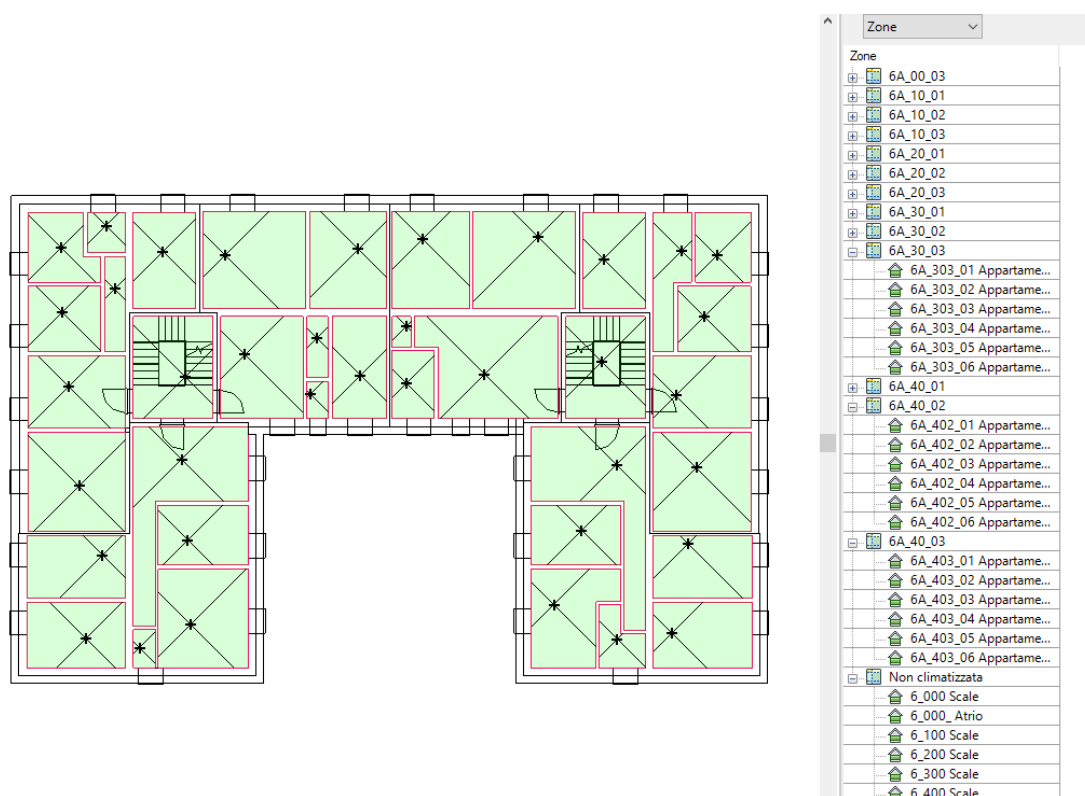


Figura 5.22: Divisione in zone del modello

Importato l'IFC in EC700 si nota come il software riconosca le diverse zone create in Revit e a queste faccia corrispondere i vani appartenenti. Il software per l'analisi energetica non raggruppa però la zona "non climatizzata" in *Locali non climatizzati*, tale caratterizzazione deve essere svolta manualmente. La procedura agevola comunque la scelta della tipologia di climatizzazione dei locali: in un progetto ampio raggruppare gli ambienti per poterli classificare con facilità permette di evitare errori dovuti a distrazioni e rende il processo più veloce e semplificato. (Figura 5.23).

¹¹⁶ Vedi appendice 2

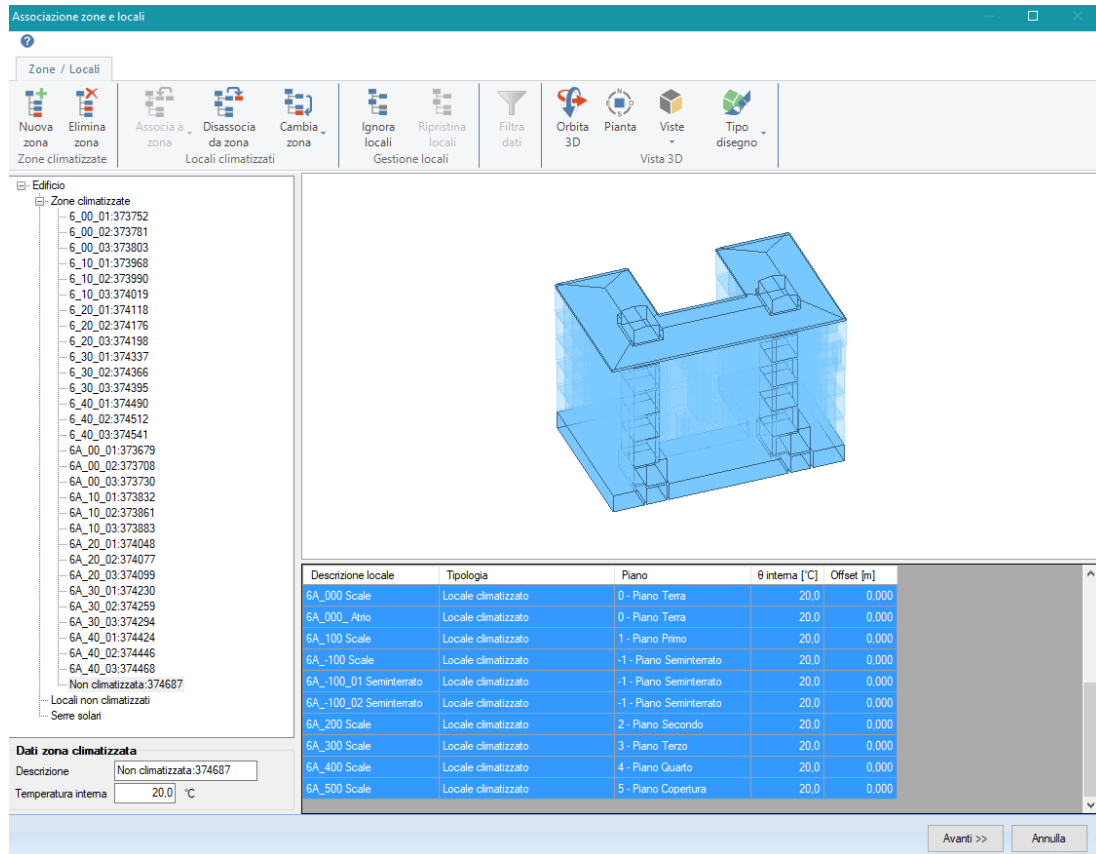


Figura 5.23: Importazione zone in EC700

2.6 Impianti

Durante il lavoro di sperimentazione si è voluto provare ad esportare anche gli impianti e le loro proprietà dal software di BIM authoring a quello per l'analisi energetica. Tale analisi è stata condotta ipotizzando di poter rendere semi-automatica anche la compilazione della maschera "Impianti" presente in EC700 definendo dei sistemi modellati in Revit ed attribuendo loro parametri e caratteristiche riconoscibili da Edilclima.

Per procedere alla loro modellazione si è creato un nuovo file utilizzando un modello meccanico su cui è stato necessario collegare il modello architettonico ultimato precedentemente.

Per permettere il posizionamento degli impianti si è utilizzato il comando *Collabora* → *Copia/Controlla* → *Seleziona collegamento*. Dopo aver selezionato il collegamento con il file dell'architettonico cliccando su *Copia* e spuntando *Multipli*, è possibile inserire i sistemi avendo un coordinamento tra i due file.

Sono quindi stati modellati gli impianti di riscaldamento e acqua calda sanitaria presenti al piano terra dell'edificio cercando di creare un sistema chiuso per ogni appartamento che comprendesse al proprio interno due radiatori, una caldaia e delle tubazioni che raccordassero il tutto. In tabella sono schematizzati tutti gli elementi presenti per ogni sistema (Tabella 5.5).

Tabella 5.5: Elementi presenti negli impianti modellati

Famiglia	Tipo	Immagine
M_Radiatore – Tubo ad aletta sistema idronico	30 NPT	
M_Caldaia	Standard	
Tubazione	Standard	
M_Gomito - Generico	Standard	
M_Calotta - Generica	Standard	
M_Raccordo a T - Generico	Standard	
M_Transizione - Generica	Standard	

Per definire gli elementi necessari alla realizzazione dei sistemi si sono consultati i dati rilevati dai sopralluoghi svolti così da rendere il modello quanto più simile alla realtà possibile: sono state, ad esempio, inserite solo in due appartamenti le caldaie esterne e tutti i radiatori sono stati inseriti sulle murature esterne. Conclusa la modellazione di tutti gli impianti del piano terra dell'edificio il risultato ottenuto è stato il seguente (Figura 5.24).

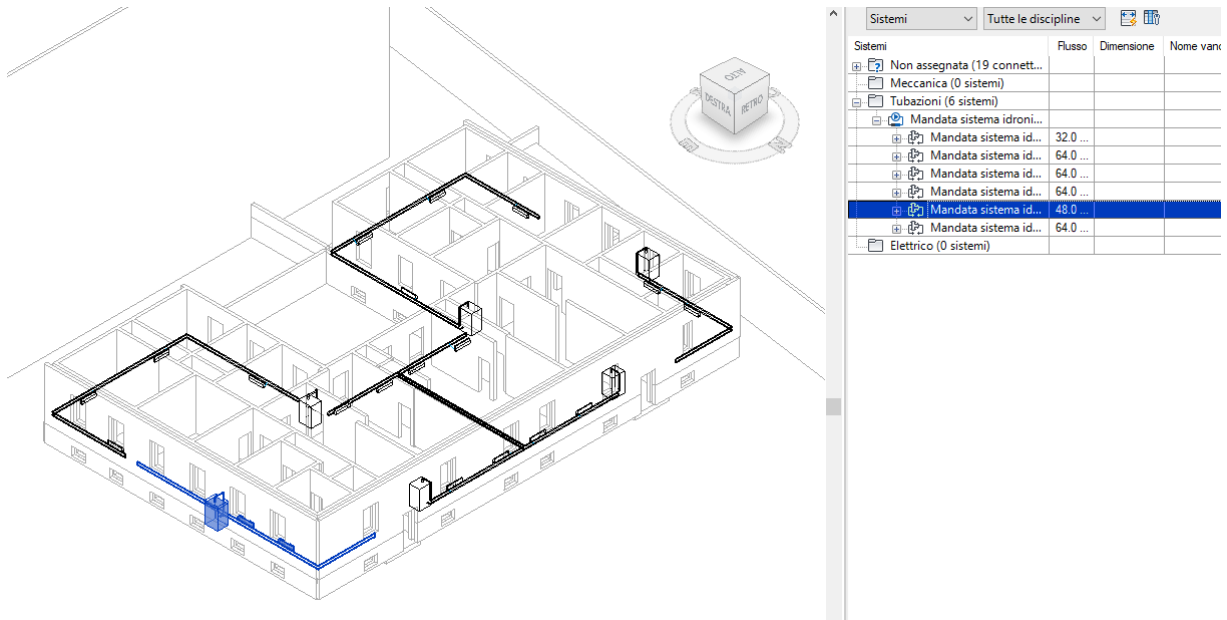


Figura 5.24: Impianti Piano Terra modellati in Revit

2.6.1 Collegamento modello impiantistico a file architettonico

Si sono quindi collegati il file impiantistico con quello architettonico attraverso il comando *Inserisci* → *Gestisci collegamento* → *Aggiungi* e successivamente si è esportato il file IFC. (Figura 5.25) Caricato il file in EC700, è stato possibile osservare come il file impiantistico collegato non comparisse nemmeno nell'input grafico e nessuna informazione relativa al sistema fosse visibile nella maschera "Impianti".

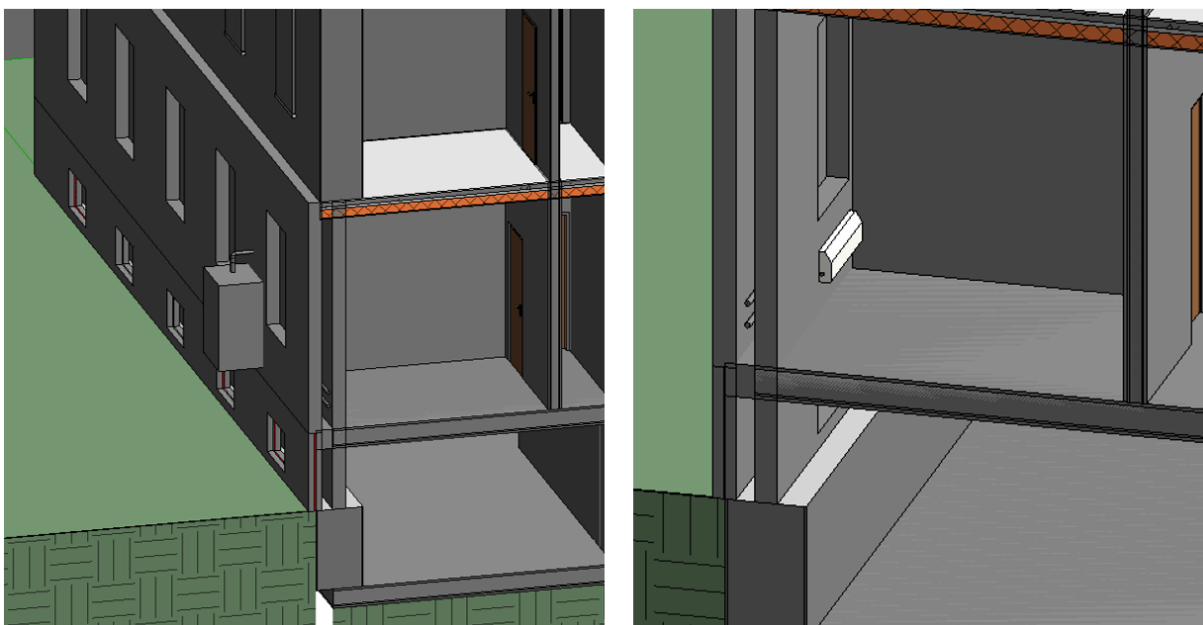


Figura 5.25: Collegamento impianto a file architettonico

2.6.2 Collegamento architettonico a file impiantistico

Si è quindi proceduto con la sperimentazione verificando il collegamento opposto: il file architettonico all'interno di quello impiantistico, osservando se in questo caso il sistema sia riconosciuto. Una volta esportato il file IFC da Revit e caricato in EC700 il messaggio di risposta è il seguente (Figura 5.26).

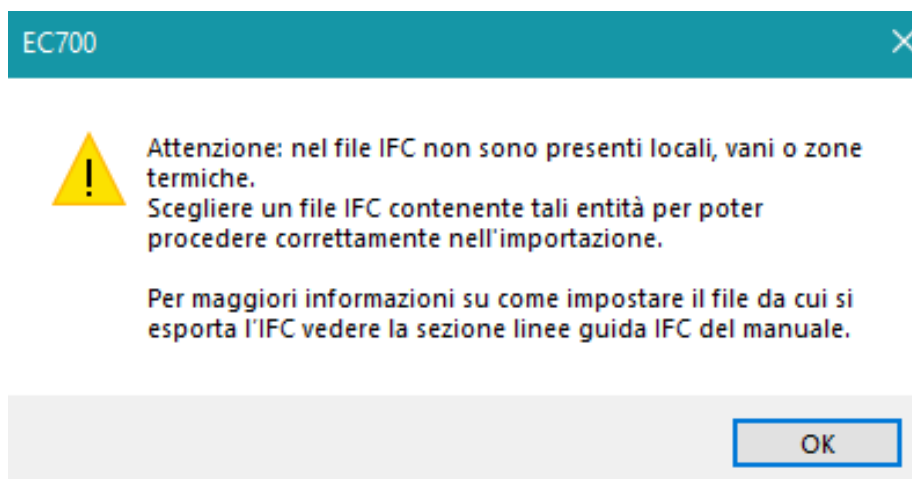


Figura 5.26: Importazione in Edilclima di un file impiantistico con collegato un file architettonico

Si è quindi concluso sia impossibile, ad ora, importare un file che contenga al proprio interno informazioni relative all'ambito impiantistico in EC700. È, per giunta, impossibile importare un file collegato nel programma di simulazione energetica poiché le informazioni che questo riconosce sono relative solamente al file su cui si è realizzato il collegamento.

2.7 Ponti termici e ombreggiamenti

Un'informazione utile da recepire da Revit per l'analisi energetica eseguita in Edilclima è la configurazione dei ponti termici e degli ombreggiamenti di un complesso. Essi non si creano automaticamente nel software di BIM authoring, è quindi necessario creare dei parametri aggiuntivi da assegnare agli elementi costruttivi del progetto per poterli mappare. I parametri sono stati resi simili a quelli creati dal plug-in EC770, assegnati in Revit agli elementi e successivamente riconosciuti da EC700.

Utilizzando il comando *Gestisci* → *Parametri di progetto* → *Aggiungi* si sono creati undici parametri denominati alla stessa maniera di quelli riconosciuti da EC770:

- EC Ombreggiamento
- EC PT architrave
- EC PT davanzale
- EC PT facciata continua
- EC PT infisso
- EC PT pavimento flusso orizzontale
- EC PT pavimento flusso verticale
- EC PT pilastro
- EC PT soffitto flusso orizzontale
- EC PT soffitto flusso verticale
- EC Spessore controsoffitto

Ognuno di questi si è configurato secondo una disciplina comune come parametro di testo, raggruppato in "Analisi energetica", e associato agli elementi che sono interessati da ponti termici ed ombreggiamenti. Si riporta in seguito un esempio del parametro destinato alla mappatura del ponte termico dell'infisso (Figura 5.27).

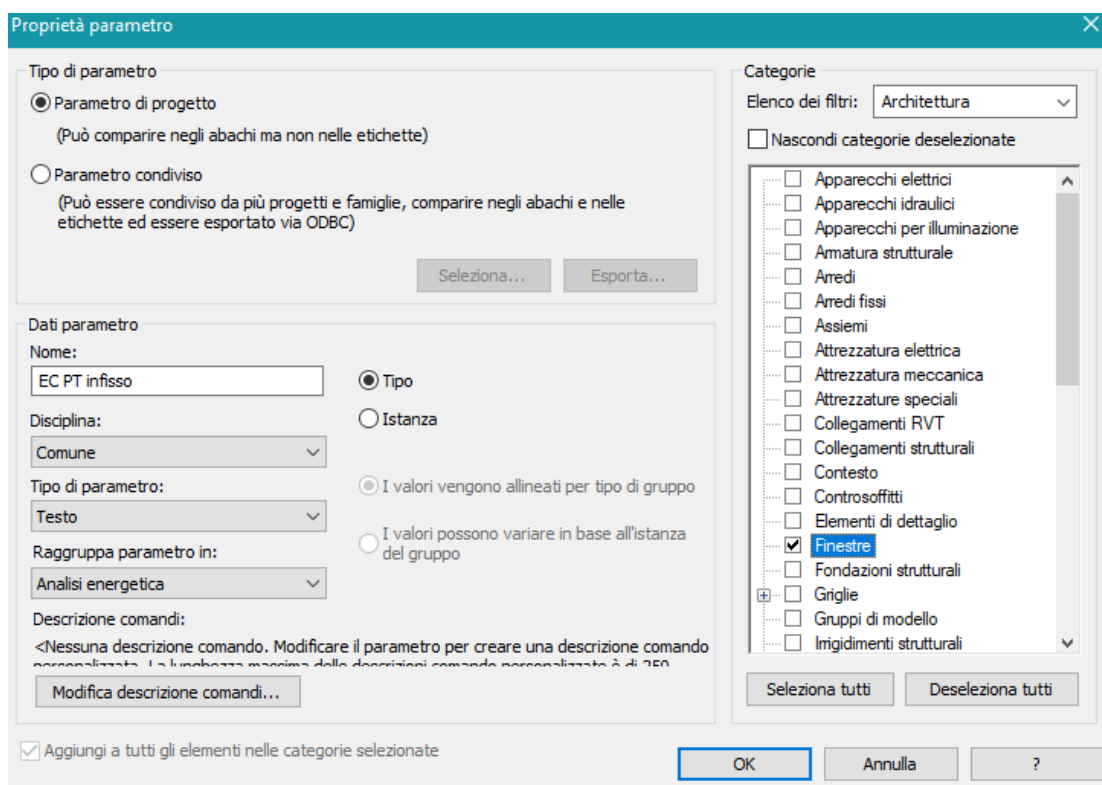


Figura 5.27: Creazione parametro "EC PT infisso"

Completata la creazione e l'inserimento dei ponti termici in Revit si è potuto esportare l'IFC ed importarlo in EC700. Il software di Edilclima non riconosce però parametri relativi ai ponti termici e agli ombreggiamenti che non siano stati importati attraverso l'apposito plug-in EC770. Tale sperimentazione si è quindi rivelata fallimentare dal punto di vista applicativo ma fondamentale per comprendere quanto il software ideato da Edilclima possa rivelarsi interoperabile con i programmi di BIM authoring.

2.8 Parametri IFC

Per completare le informazioni presenti nel file, renderlo quanto più completo possibile e per poter mappare gli elementi in maniera specifica così da non perdere nessun dato assegnata in Revit sono stati assegnati i parametri IFC ad ogni elemento.

Per crearli si è utilizzato il comando *Gestisci* → *Parametri di progetto* → *Aggiungi*. Avviata la schermata corrispondente, è stato possibile spuntare l'opzione *Parametro condiviso* e il tasto *Seleziona* dove si è scelto il file TXT da cui importare i parametri (Figura 5.28).

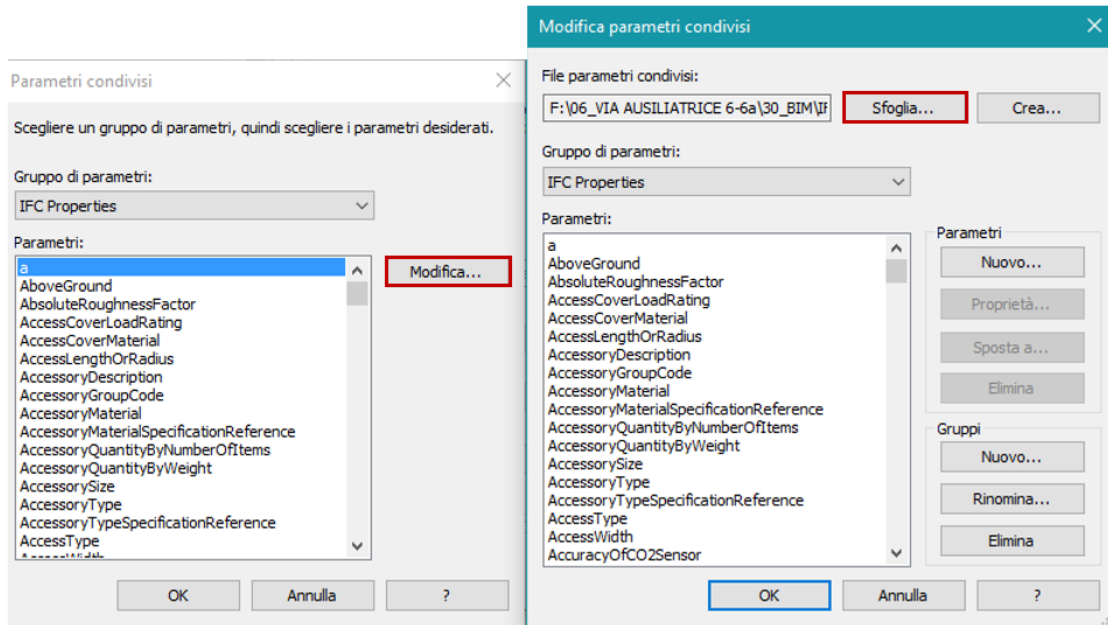


Figura 5.28: Inserimento file per parametri condivisi

Il file di testo, presente nel sito di Autodesk, contiene i parametri IFC per l'aggiornamento manuale di un progetto esistente con tutti o alcuni di questi.¹¹⁷

Selezionato il parametro da importare, è necessario raggrupparlo all'interno di "Parametri IFC", definire se è di tipo o di istanza, successivamente assegnarlo agli elementi del progetto (Figura 5.29).

¹¹⁷ Accesso ai file specifici per il formato IFC, Autodesk. Consultabile in: <https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit/downloads/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ITA/Revit-DocumentsPresent/files/GUID-4EED7335-DCC7-48AD-A8BD-8156CAB27A33-htm.html>.

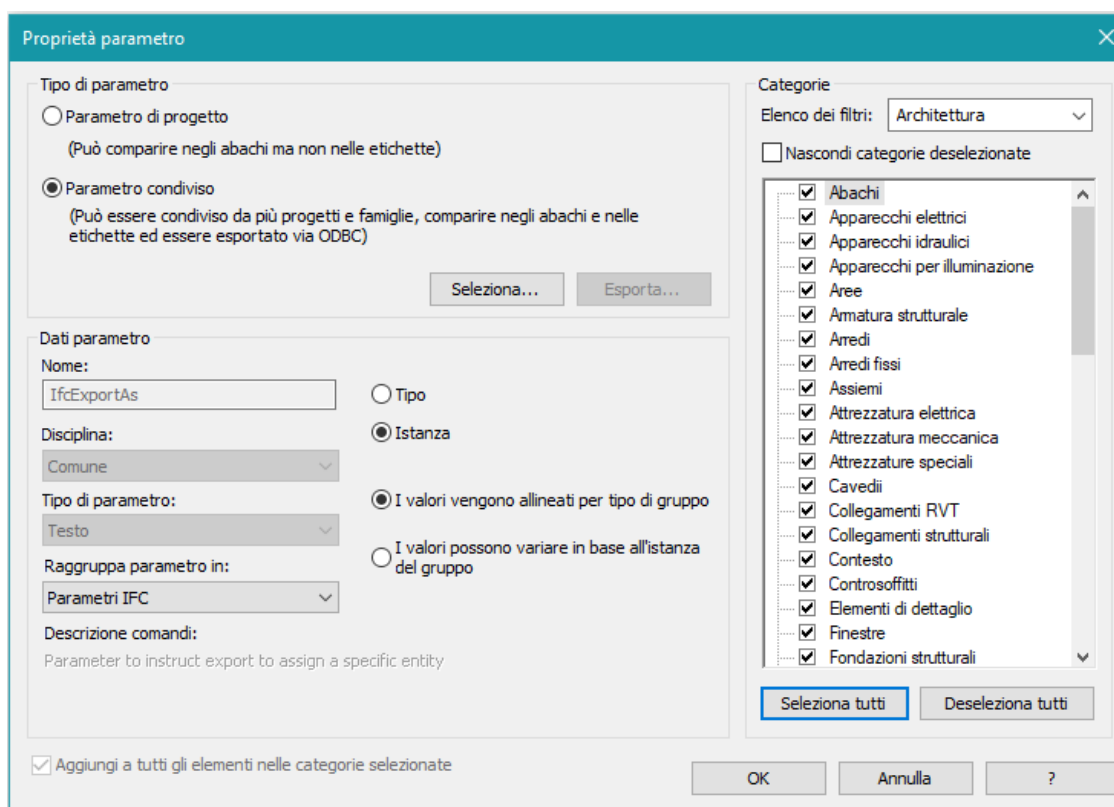


Figura 5.29: Proprietà dei parametri IFC

Si sono creati parametri di tipo per tutti gli elementi del progetto ad eccezione dei vani per i quali sono stati creati di istanza in modo da poter assegnare ad ogni ambiente un tipo di climatizzazione differente. La caratterizzazione IFC è stata svolta per il file architettonico (Tabella 5.6) ma anche per quello impiantistico (Tabella 5.7).

Tabella 5.6: Parametri IFC file architettonico

Elementi	IfcExportAs	IfcExportType	IfcObjectType
Muri	IfcWall	PARTITIONING/SOLIDWALL	-
Porte	IfcDoor	DOOR	-
Finestre	IfcWindow	WINDOW	-
Tetti	IfcSlab	ROOF	-
Pavimenti	IfcSlab	FLOOR	-
Vani	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato/Non climatizzato

Topografia	IfcSite	-	-
Zone	IfcZone	-	-
Scale	IfcStair	TWO_QUARTER_WINDING_STAIR	-
Ringhiere	IfcRailing	HANDRAIL	-

Tabella 5.7: Parametri IFC file impiantistico

Elementi	ifcExportAs	ifcExportType
Tubazione	IfcPipeSegment	RIGIDSEGMENT
Raccordo	IfcPipeFitting	CONNECTOR
Transizione	IfcPipeFitting	TRANSITION
Chiusura	IfcPipeFitting	OBSTRUCTION
Giunzione	IfcPipeFitting	JUNCTION
Caldaia	IfcBoiler	WATER
Radiatore	IfcSpaceHeater	RADIATOR

Al momento dell'esportazione dell'IFC si è poi spuntata l'opzione "Memorizzare il GUID IFC in un parametro elemento dopo l'esportazione" così da attribuire ad ogni elemento esportato del progetto un codice univoco che lo potesse identificare anche dopo il caricamento in altri software.

Dopo aver importato il file in EC700 si è notato come il software di analisi energetica riesca a riconoscere tali parametri e differenze in particolare IfcDoor da IfcWindow: una porta finestrata esterna, che permette l'accesso in un locale riscaldato, deve essere definita come IfcWindow per poter essere configurata in Edilclima con un ponte termico "Parete-Telaio" che può essere assegnato solamente se questa appartiene ai "Componenti finestrati".

Al contrario, una porta da definire, ai fini dell'analisi energetica, come una struttura opaca deve aver assegnato in Revit il parametro IfcDoor così da comparire in EC700 tra i "Muri" della maschera "Componenti Involucro" (Figura 5.30). Il software non riconosce però la sua stratigrafia, poiché non appartenente al modello Revit importato ma ad una famiglia ad esso

associato. È quindi necessario, una volta rintracciato il componente in EC700, riassegnargli i materiali e gli spessori reali.

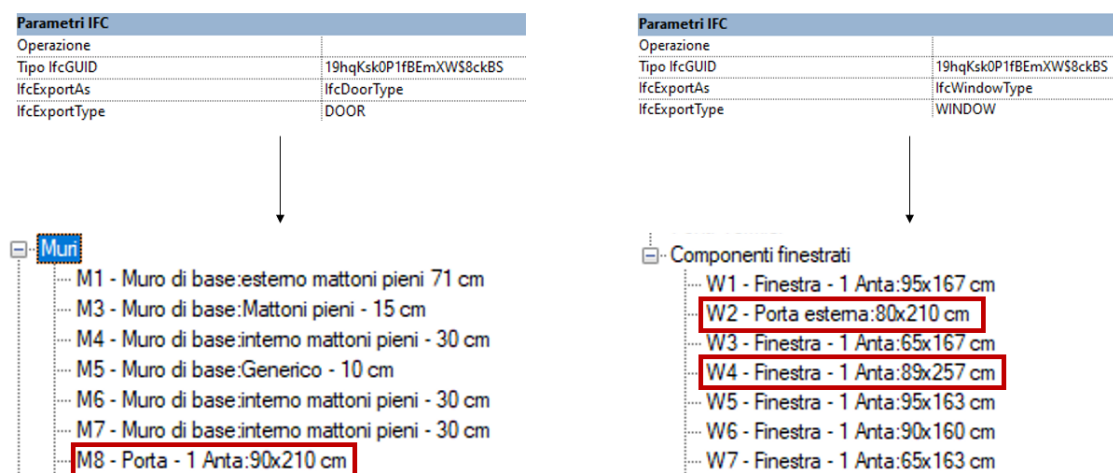


Figura 5.30: Classificazione strutture opache e componenti finestrati tramite parametri IFC

2.9 Classificazione OmniClass

Per completezza gli elementi del file si sono classificati anche secondo la classificazione OmniClass secondo le tabelle 21, 22 e 23 che si riferiscono rispettivamente a (Tabella 5.8):

Tabella 5.8: Tabelle Classificazione OmniClass

Codice tabella	Codice numero	Descrizione
21	21-00 00 00	Elementi
22	22-00 00 00	Risultati delle attività
23	23-00 00 00	Prodotti

OmniClass è un sistema creato e impiegato nel Nord America (secondo lo standard internazionale ISO 12006-2) per assistere tutto il ciclo di vita di una costruzione, dall'ideazione alla dismissione. Il sistema si adatta a tutti i livelli di dettaglio di un'opera: sia essa a carattere industriale, commerciale o residenziale, dai materiali, ai sistemi costruttivi. Si avvale di 15 tavole, ciascuna delle quali tratta differenti informazioni sulla costruzione. Ogni tavola può essere utilizzata singolarmente o in combinazione con le altre per classificare informazioni più complesse e il sistema può essere sempre aggiornato con l'aggiunta di nuovi elementi.

Tale classificazione può essere svolta manualmente, creando i parametri relativi, oppure utilizzando il plug-in "BIM Interoperability Tools" per Revit. All'interno del modulo

aggiuntivo creato è possibile utilizzare i comandi della sezione *Classification Manager* per mappare gli elementi.

Manualmente invece si sono ricreati i parametri (Figura 5.31) utilizzando il comando *Gestisci* → *Parametri di progetto* → *Aggiungi*. I parametri di tipo creati sono di testo, caratterizzati secondo una disciplina comune e raggruppati sotto alla voce “Dati”.

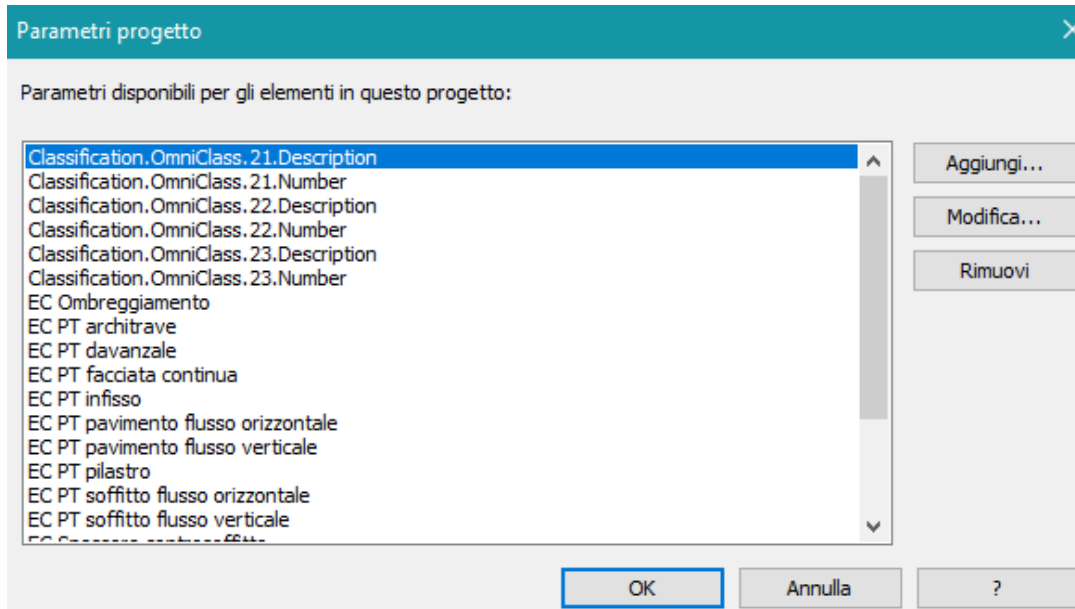


Figura 5.31: Parametri di progetto relativi alla classificazione Omniclass

È quindi possibile assegnare ad ogni elemento del progetto la descrizione e il numero relativo alla propria classificazione secondo le tre tabelle sopracitate. Tutti gli elementi del modello, sia architettonico che impiantistico, sono riassunti nelle seguenti tabelle con associati il numero e la loro caratterizzazione secondo le tabelle Omniclass (Tabella 5.9, Tabella 5.10).

Tabella 5.9: Classificazione Omniclass modello architettonico

Elemento	Tabella 21 Omniclass	Tabella 22 Omniclass	Tabella 23 Omniclass
Partizione interna	21-03 10 10 10 Interior Fixed Partition	-	23-15 11 11 Fixed Partiotins
Muro esterno	21-02 20 10 20 Exterior Wall Construction	-	23-13 33 15 Wall Exteriors
Solaio interpiano	21-03 20 30 Flooring	22-09 60 00 Flooring	23-13 35 23 Structural Floors and Flat Roofs

Tetto	21-02 10 20 Roof construction	22-07 41 43 Composite Roof Panels	23-13 33 27 Glazed Facade and Roof Structures
Lucernario	21-02 30 60 10 Roof Windows and Skylights	22-08 60 00 Roof Windows and Skylights	23-17 17 00 Unit Skylights
Finestre	21-02 20 20 Exterior Windows	22-08 50 00 Windows	23-17 13 00 Windows
Porte	21-03 10 30 Interior Doors	22-08 14 00 Wood Doors	23-17 11 15 Wood Doors
Scale	21-02 10 80 Stairs		23-17 23 17 Stairs
Ringhiere	21-02 10 80 50 Stair Railings	22-05 52 00 Metal Railings	23-17 23 17 11 17 Stair Railings

Tabella 5.10: Classificazione OmniClass modello impiantistico

Elemento	Tabella 21 OmniClass	Tabella 22 OmniClass	Tabella 23 OmniClass
Tubazione	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 11 16 Domestic Water Piping	23-27 39 13 13 Aboveground Single Walled Pipes
Raccordo	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 43 00 Pipe Fittings
Transizione	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 00 Pipe Adapters
Chiusura	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 15 Terminal Pipe Adapters
Giunzione	21-04 20 10 40 Domestic Water Piping	22-22 00 00 Plumbing	23-27 47 21 Twist To Lock Y Cord Pipe Adapters
Caldaia	21-04 20 10 20 Domestic Water Equipment	22-22 11 23 Domestic Water Pumps	23-27 17 00 Pumps

Radiatore	21-04 20 10 20 Domestic Water Equipement	22-23 82 29 Radiators	23-33 15 21 13 Finned Tube Radiators
------------------	--	-----------------------	--------------------------------------

2.10 Model View Definition

Completato il modello BEM è necessario definire con quale Model View Definition EC700 possa riconoscere al meglio la geometria e le proprietà assegnate da Revit. Si sono quindi condotte alcune prove di esportazione con diverse configurazioni in modo da determinare quale sia la più completa e adatta al tipo di analisi svolta. Per comparare le varie MDV si è scelto di confrontare le proprietà e le caratteristiche che compaiono utilizzando un Viewer per i modelli BIM (BIMvision) e l'input grafico di EC700.

2.10.1 IFC2x3 Coordination View 2.0

Nel viewer è possibile osservare come, con tale MVD, l'elemento selezionato sia riconosciuto e a questo siano associate le proprietà inserite nel programma di BIM authoring. La geometria del modello è completa nella sua interezza (Figura 5.32).

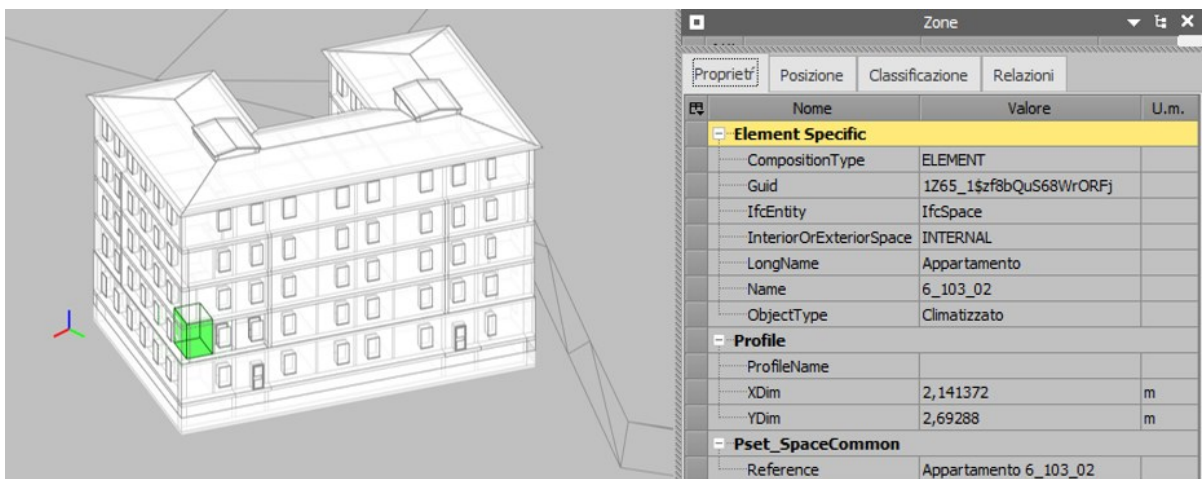


Figura 5.32: IFC2x3 Coordination View 2.0, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)

Esportando l'IFC in EC700 e selezionando la maschera dell'input grafico con la MVD scelta, è possibile osservare come quest'ultimo presenti tutti gli elementi del modello anche se non tutti sono visibili nella loro interezza. Sono un esempio i muri associati alle coperture dei lucernari che pur essendo riconoscibili non si collegano al livello inferiore (Figura 5.33).

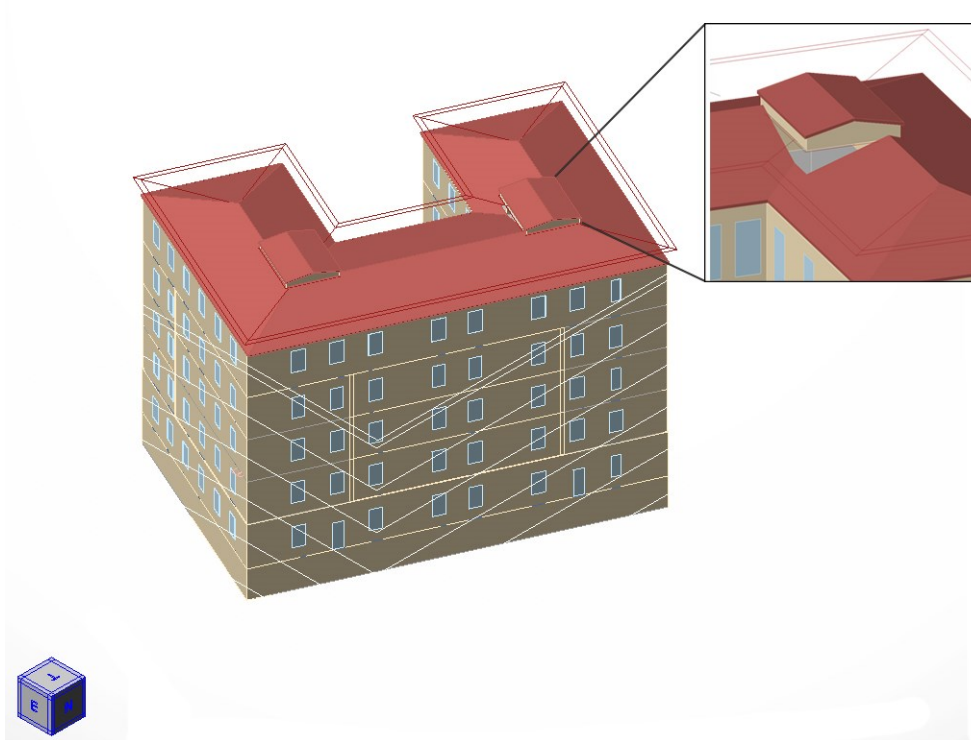


Figura 5.33: 3D generato dalla maschera "Input grafico" di EC700, MVD: IFC2x3 Coordination View 2.0

2.10.2 IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010

IFC2x3 GSA conta al proprio interno molte proprietà relative all'ambito energetico che vengono esportate da Revit e possono essere lette da BIMvision. Selezionando, come nell'immagine (Figura 5.34), un vano è possibile visualizzare una categoria denominata "Analisi energetica".

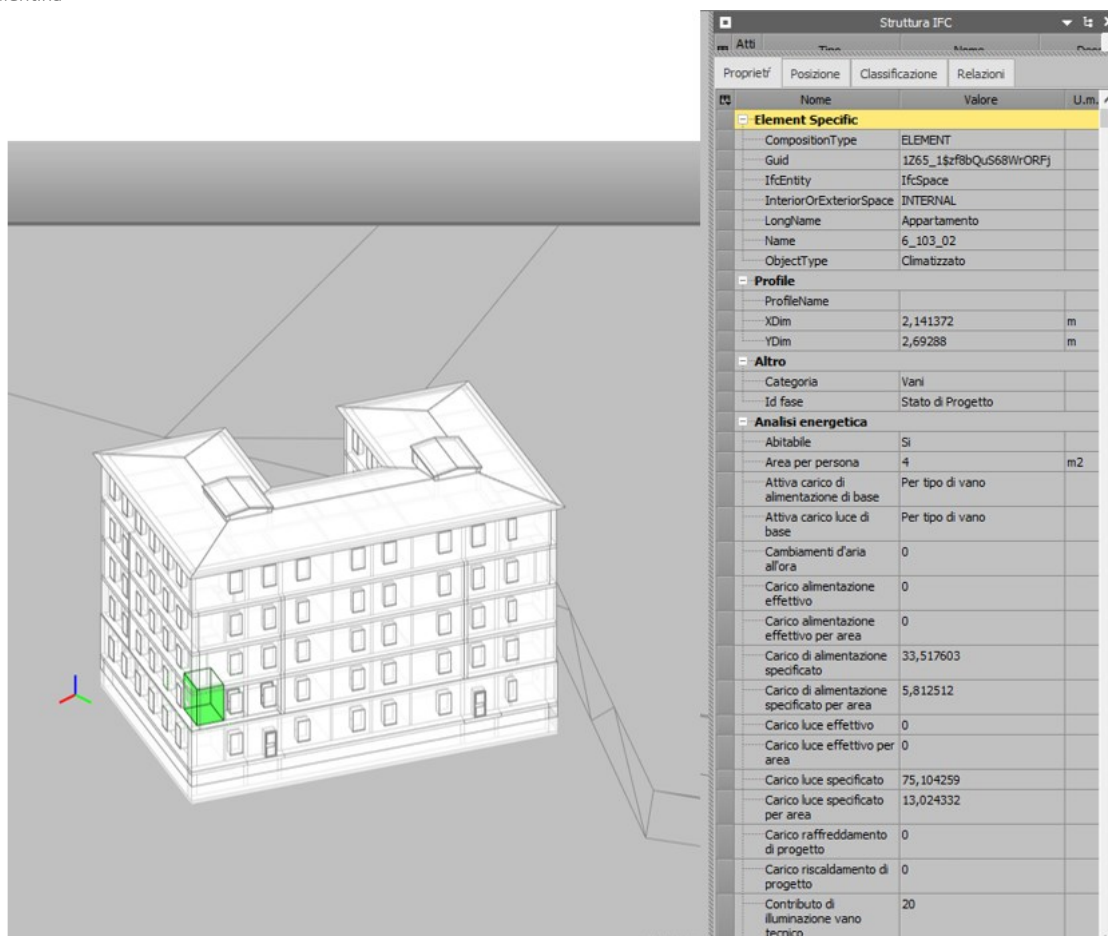


Figura 5.34: IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)

Al momento dell'importazione IFC con questa MVD in Edilclima, la geometria è riconosciuta nella sua interezza ad eccezione di alcune piccoli errori di associazione tra coperture ed elementi murari, come nel caso precedente.

IFC2x3 GSA è la configurazione scelta per l'esportazione del caso studio poiché quella con le più complete proprietà relative all'analisi energetica, utili anche per il confronto con altri software, e una buona visualizzazione dell'input grafico (Figura 5.35).

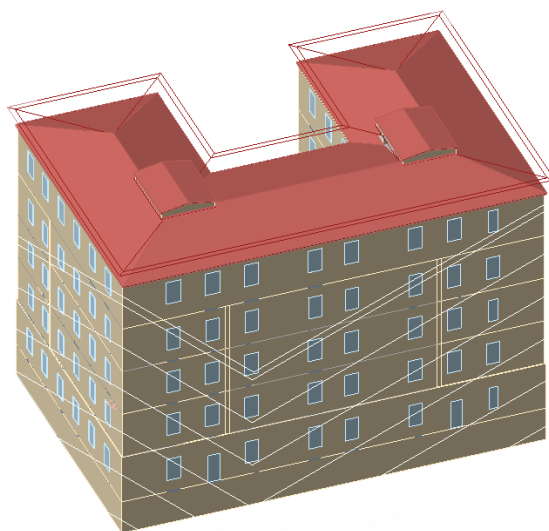


Figura 5.35: 3D generato dalla maschera “Input grafico” di EC700, MVD: IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010

2.10.3 IFC4 Reference View

IFC4 Reference View non è la MVD più indicata per svolgere analisi energetiche in quanto, nonostante nel viewer la visualizzazione presenti tutti gli elementi (Figura 5.36), non è predisposta per esportare in EC700 vani, locali o zone termiche. Tale mancanza non permette al software di procedere all’apertura del file e l’errore che compare alla prima importazione è il seguente (Figura 5.37).

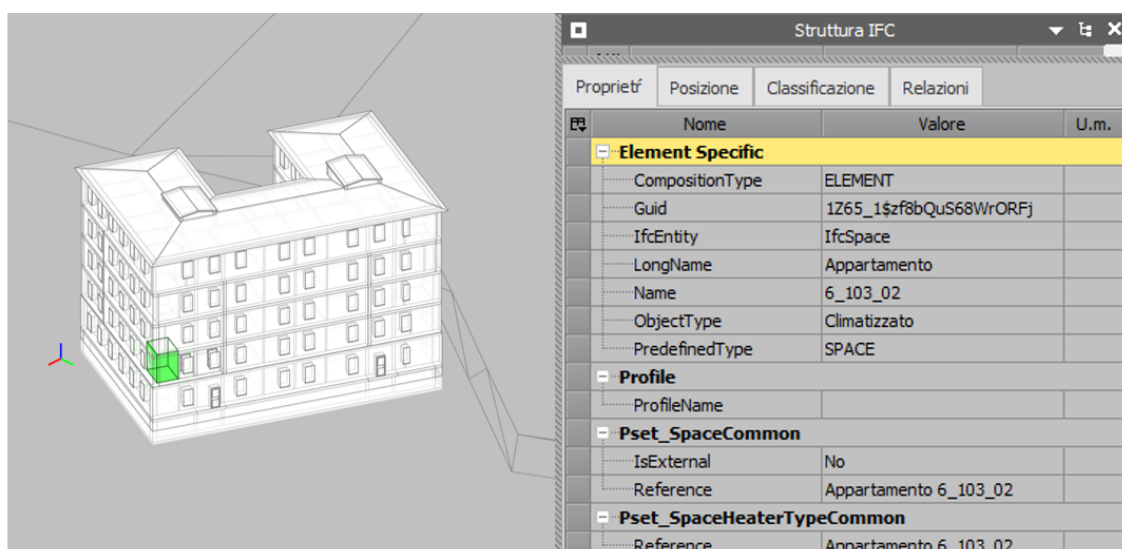


Figura 5.36: IFC4 Reference View, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)

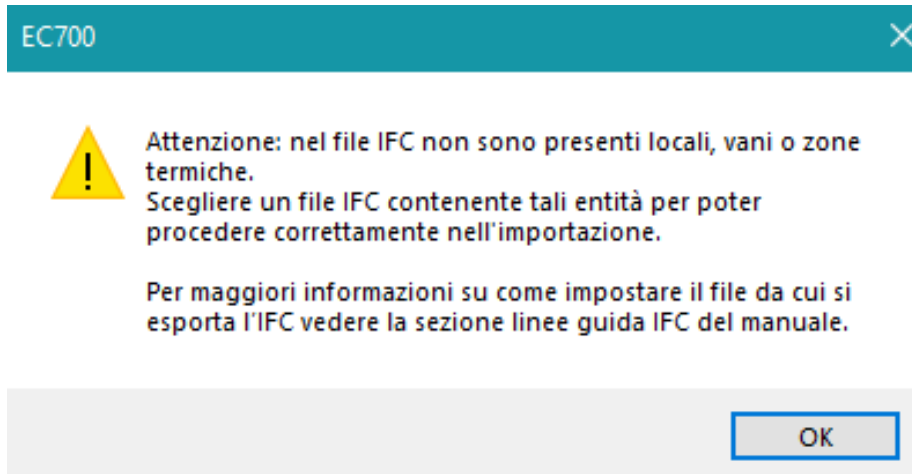


Figura 5.37: Errore importazione modello con IFC4 Reference View

2.10.4 IFC4 Design Transfer View

IFC4 Design Transfer View, nonostante appaia completa nel viewer scelto (Figura 5.38) ha delle difficoltà ad interfacciarsi con il software di Edilclima che non è ancora implementato per supportarla al meglio.

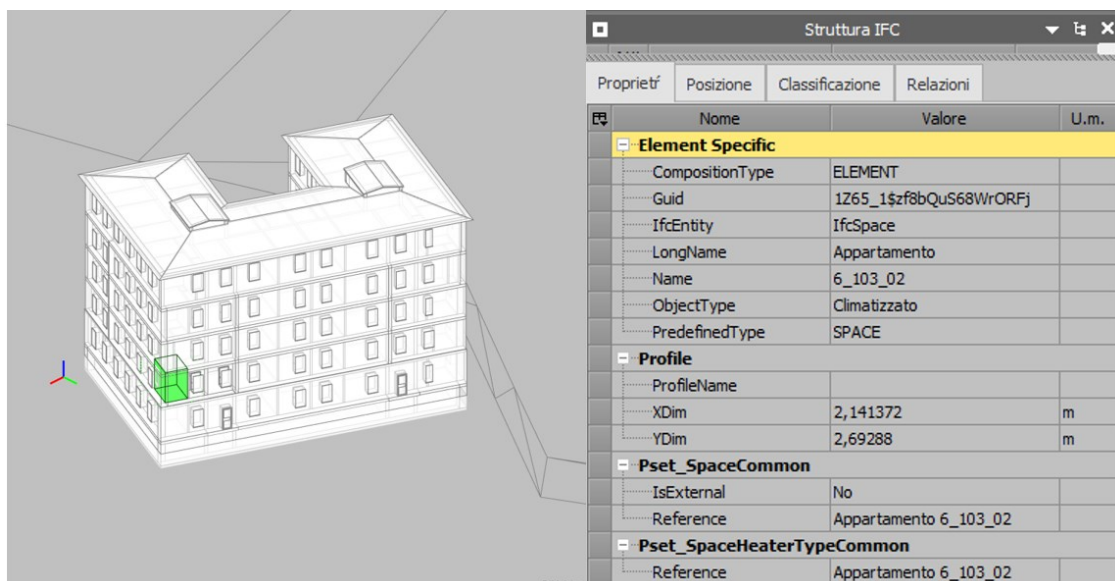


Figura 5.38: FC4 Design Transfer View, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)

Osservando l'immagine seguente (Figura 5.39) è possibile riconoscere come nell'input grafico non sia possibile visionare l'intera copertura dell'edificio ma solo i tetti dei lucernari dei vani scala. Il bug riguarda solo l'input grafico poiché negli schemi tabellari l'entità è conteggiata e l'edificio risulta coperto. Realizzando il calcolo degli ombreggiamenti in maniera automatica il risultato è errato poiché i dati di ingresso sono scorretti in quanto basati sull'input grafico del programma. È pertanto preferibile evitare di utilizzare tale MVD per l'importazione del file IFC in Edilclima.

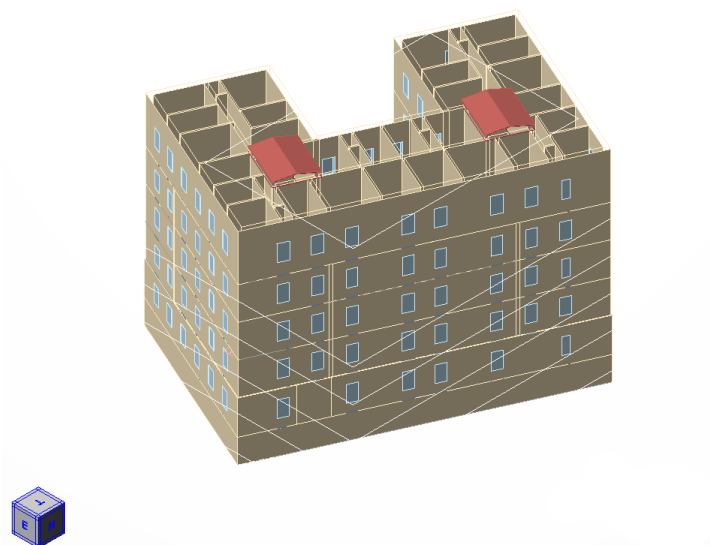


Figura 5.39: 3D generato dalla maschera "Input grafico" di EC700, MVD: IFC4 Design Transfer View

2.10.5 Configurazione scelta: Edilclima GSA

Per l'esportazione definitiva, volta ad interfacciarsi con EC700, si è creata una configurazione specifica che riesca ad esportare informazioni utili da Revit. Tale configurazione, come già anticipato nei paragrafi precedenti, si rifà all'IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010 integrato con le seguenti proprietà della scheda *Avanzata*:

- Utilizzare il nome e il tipo di famiglia per il riferimento;
- Includi quota altimetrica IFCSITE nell'origine di posizionamento del sito locale;
- Memorizzare il GUID IFC in un parametro elemento dopo l'esportazione.

Nella scheda *Gruppi di proprietà* si è selezionata l'esportazione delle quantità di base, così da includere le quantità di base degli elementi del modello presenti nei dati di esportazione. Esse vengono generate dalla geometria del modello per riflettere i valori effettivi delle quantità fisiche, a prescindere dalle regole o dai metodi di misurazione. Nella medesima scheda si è spuntata anche l'opzione relativa all'esportazione di gruppi di proprietà IFC comuni.

Infine, nelle impostazioni generali dell'esportazione, sono state selezionate le seguenti opzioni:

- Versione IFC: IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010
- Tipo file: IFC
- Fase da esportare: Fase di default da esportare
- Contorni di vano: Secondo livello
- Base coordinate: Coordinate condivise.

Selezionando i contorni di vano di secondo livello, questi sono inclusi e divisi rispetto ai vani sul lato opposto del contorno. Un contorno di vano di secondo livello prende in

considerazione il materiale dell'elemento di costruzione e i vani adiacenti esterni, che forniscono ad esempio proprietà termiche.

3 DIAGNOSI ENERGETICA

3.1 Importazione tramite IFC

Dopo aver scelto la Model View Definition, si è importato il modello ed è stato possibile procedere alla diagnosi in EC700 secondo i passaggi già presi in considerazione nel paragrafo 2 di questo capitolo. Sono state condotte diverse tipologie di analisi tenendo in considerazione i pochi dati a disposizione relativi agli impianti e agli infissi. Le prove sono state effettuate con serramenti e impianti più nuovi e più vecchi e quindi meno efficaci così da garantire il salto delle due classi energetiche, necessario per poter procedere con l'intervento. Nella sperimentazione descritta si tiene conto delle caratteristiche peggiori di infissi e sistemi, coerenti con i sopralluoghi condotti. Verranno in seguito confrontati i risultati con quelli ottenuti dalle altre ipotesi analizzate.

3.1.1 Dati generali

Dopo aver definito il Comune di appartenenza e la Categoria DPR 412/93, si è potuto importare il file IFC generato secondo tutte le accortezze precedentemente descritte, andando a definire la tipologia ai vani creati in Revit e associando ai materiali un corrispettivo materiale Edilclima. Si sono quindi andati a caratterizzare i dati normativi prescelti prevedendo di condurre i calcoli nei seguenti modi:

- Ponti termici: calcolo analitico;
- Resistenze liminari: Appendice A UNI EN ISO 6946;
- Serre e locali non climatizzati: calcolo analitico;
- Capacità termica: calcolo analitico;
- Definizione ombreggiamenti: calcolo automatico;
- Radiazione solare: calcolo con angolo di Azimut.

3.1.2 Componenti involucro

Successivamente si è quindi riusciti a proseguire con la seconda maschera relativa ai componenti dell'involucro. Qui si sono caratterizzati gli elementi in maniera puntuale, secondo le caratteristiche richieste dal software. Ad ogni elemento è stata assegnata la caratteristica di struttura esistente e sono state riconfigurate le porte, definite come strutture opache essendo state esportate come IfcDoor, assegnandoci stratigrafia e spessore. Particolare attenzione è stata posta nella caratterizzazione degli elementi finestrati poiché Edilclima li importa come semplici aperture, in quanto appartenenti a famiglie esterne al modello. È stato quindi necessario andare a definirne spessori e dimensioni nella scheda "Dimensioni infisso" e la tipologia del vetro, se singolo o doppio nella scheda apposita (Figura 5.40). Tali caratteristiche sono state assegnate anche alle porte caratterizzate in Revit come IfcWindow e quindi

riconosciute da EC700 come componenti finestrati. Ad ogni componente finestrato è possibile assegnare un ponte termico attraverso la scheda “Dati modulo”, spuntando la casella ponte termico e definendo quale struttura assegnarci.

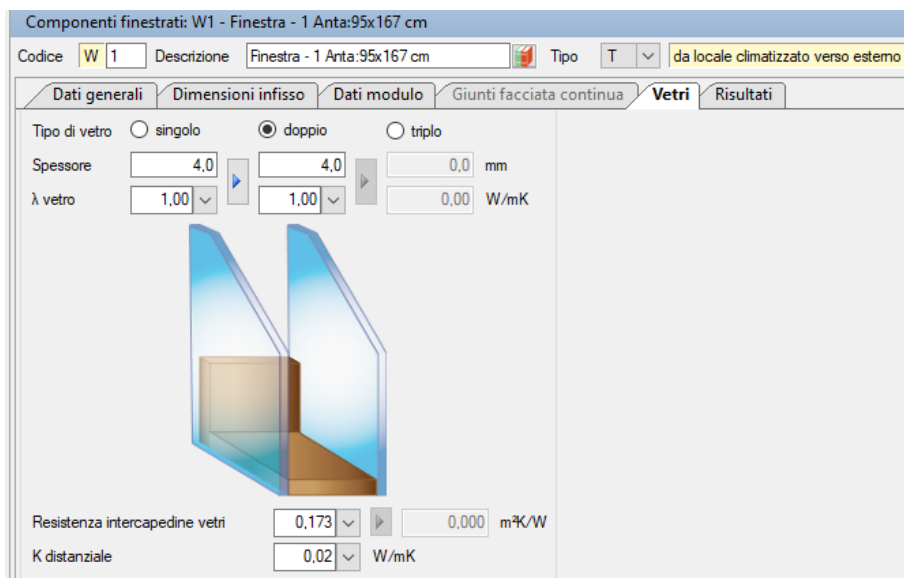


Figura 5.40: Maschera “Componenti involucro”, esempio di porta finestrata

Nella stessa maschera possono essere caratterizzati anche i ponti termici definendo secondo quale origine dati si desidera prendere come riferimento: EC709, Mold Simulator o un file XML. Nel caso specifico è stato deciso di andarli a caratterizzare utilizzando EC709, un abaco che consente di determinare la trasmittanza termica lineica dei ponti termici al variare dei parametri progettuali di maggiore interesse, basandosi su simulazioni agli elementi finiti.

All’interno del modulo sono già predefiniti alcune tipologie di ponte termico con differenti caratteristiche (Figura 5.41).

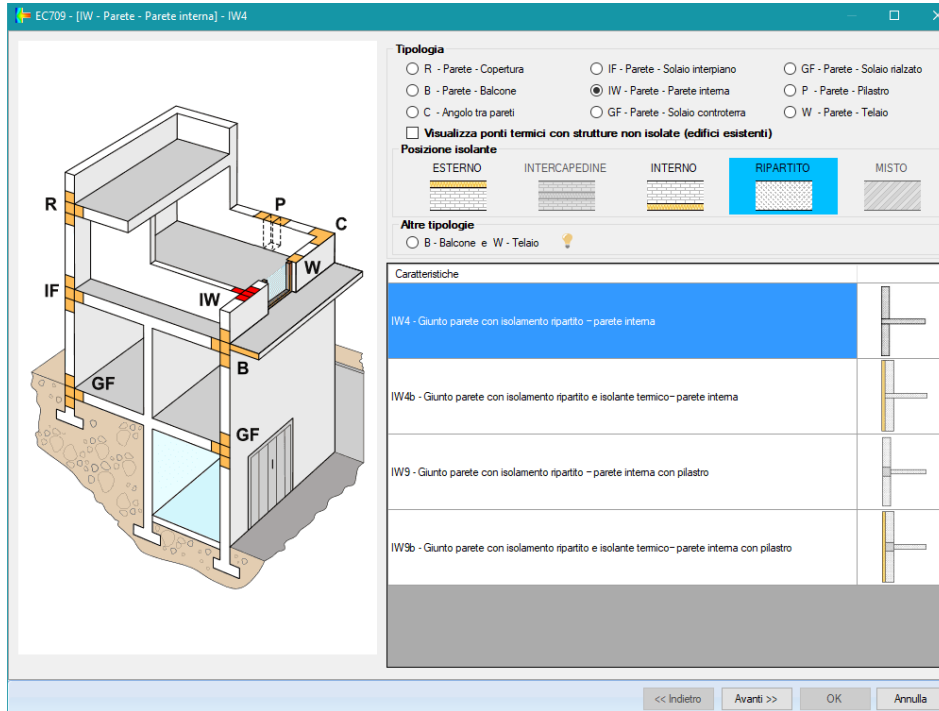


Figura 5.41: Tipologie ponti termici previsti da EC709

Scelto il ponte termico simile al caso studio, è possibile definire le strutture coinvolte, i dati di ingresso e verificare il rischio di formazione di muffe. Nel caso specifico sono stati analizzati tutti i ponti termici relativi a:

- W – Parete – Telaio;
- GF – Parete – Solaio rialzato;
- IF – Parete – Solaio interpiano;
- R – Parete – Copertura;
- C – Angolo tra pareti rientrante;
- C – Angolo tra pareti sporgente;
- IW – Parete – Parete interna.

Relativamente a questo argomento è necessario soffermarsi ad osservare la trasmittanza lineica dei ponti termici tra muri e soffitti poiché questa viene dimezzata in quanto il quadro normativo attuale richiede di fare la verifica della trasmittanza media del soffitto e del muro. La dispersione del ponte termico viene quindi suddivisa equamente tra i due componenti appena citati: a flusso verticale che peggiora la trasmittanza media del soffitto e a flusso orizzontale relativa al muro (Figura 5.42).

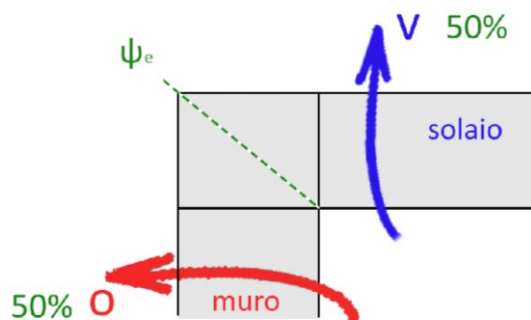


Figura 5.42: Schema calcolo ponte termico nodo muro-solaio

Se si prende a riferimento invece quello relativo ad un solaio interpiano il ponte termico verticale può essere omesso poiché la differenza di temperatura tra l'ambiente sopra e quello sotto è pari a zero. Il ponte termico orizzontale avrà invece sempre la trasmittanza lineica dimezzata (Figura 5.43).

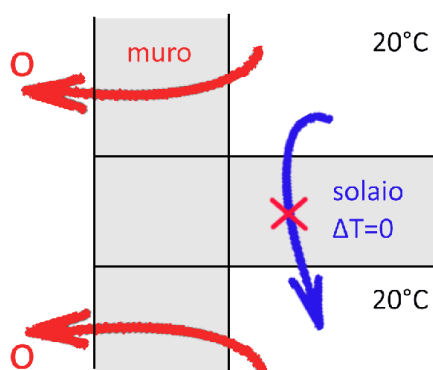


Figura 5.43: Schema calcolo ponte termico nodo parete-solaio interpiano

3.1.3 Ombreggiamenti- Input grafico

Nel caso in analisi la maschera ombreggiamenti risulta spenta poiché si procede secondo un calcolo automatico: il software prende in considerazione, attraverso l'input grafico, gli edifici circostanti, gli alberi, gli eventuali ombreggiamenti propri dell'edificio dati dal tetto, dai balconi, dalle rientranze delle finestre. Avendo definito già in Revit l'orientamento dell'edificio, cliccando su "Calcola ombreggiamenti" il software calcola in automatico i risultati e genera un diagramma solare per ogni componente dell'involucro dell'edificio. In questa maschera possono essere modellati ostacoli esterni come edifici vicini e topografia che non sono esportabili direttamente dal software di BIM authoring.

Il diagramma solare descrive, mediante curve a declinazione solare costante, il moto

apparente del sole nella volta celeste, riportando sull'asse l'orientamento in gradi (convenzionalmente nord=0°, sud=180°, est=+90°, ovest=-90°) e sull'asse delle ordinate l'altezza angolare dell'ostacolo (ovvero l'elevazione rispetto all'orizzonte).

Le curve rappresentate sul diagramma sono quattro: una di queste definisce tracciato e posizione del Sole nella giornata di redazione del progetto; le altre si riferiscono rispettivamente a: solstizio d'estate (21 Giugno), equinozio di primavera e d'autunno (21 Marzo, 23 Settembre) e solstizio d'inverno (21 Dicembre).

Oltre al calcolo automatico degli ombreggiamenti all'interno dell'input grafico è possibile osservare la geometria dell'edificio realizzata direttamente da Revit e se tutti i componenti sono stati correttamente esportati e vengono visualizzati nel software di analisi energetica. Eventualmente è possibile procedere ad una loro correzione.

L'input grafico è fondamentale per la questione dei ponti termici: in questa maschera è possibile associarne uno ad ogni muro (Figura 5.44).

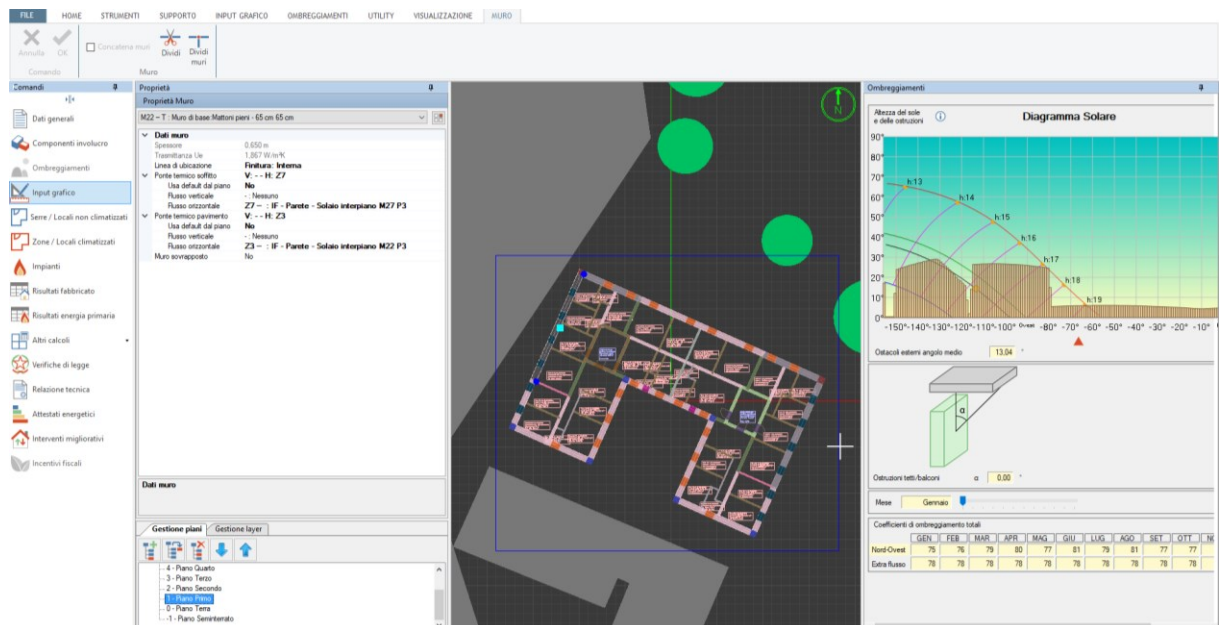


Figura 5.44: Maschera "Input grafico", dettaglio muro con ponti termici associati e ombreggiamenti calcolati

I ponti termici negli angoli tra le pareti vengono definiti tramite l'inserimento di pilastri e successivamente viene assegnato loro il ponte termico corrispondente che era stato creato attraverso la maschera "Componenti involucro".

Conclusi i calcoli che possono essere svolti nella maschera è possibile procedere con l'esportazione delle strutture disperdenti e di tutti i dati dei locali (climatizzati, non climatizzati e serre solari) e delle zone identificati nel lavoro.

3.1.4 Serre/Locali non climatizzati-Zone/Locali climatizzati

In queste due successive maschere non sono state apportate modifiche ma sono state

utilizzate come verifica dei risultati finora ottenuti. Si è potuto osservare come ogni vano sia stato associato ad una zona termica, che evidenzia in questo caso un appartamento, e a questo siano state associate le strutture che lo delimitano. Nella scheda “Strutture disperdenti” è possibile andare ad individuare ogni struttura e il relativo ombreggiamento e ponte termico associato (Figura 5.45).

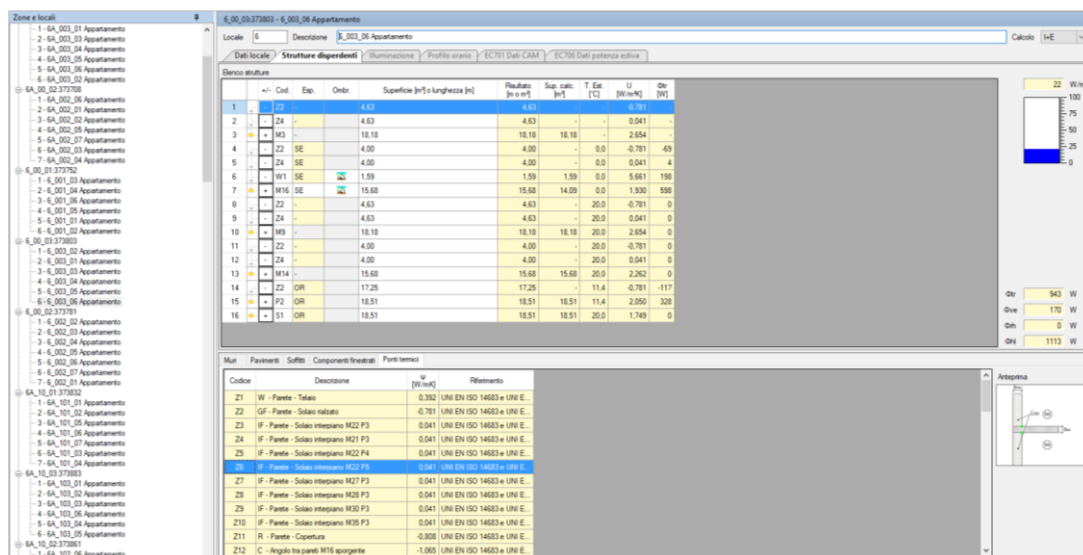


Figura 5.45: Maschera “Zone/Locali climatizzati”, verifica ponti termici

3.1.5 Impianti

In relazione ai sopralluoghi effettuati sono stati ipotizzati, ai fini del calcolo, impianti autonomi per ciascun appartamento con servizio di riscaldamento combinato alla produzione di acqua calda sanitaria. La maschera interpreta correttamente la suddivisione in zone del fabbricato e crea due schede per ognuna di queste: “Riscaldamento” e “Acqua calda sanitaria”.

In Riscaldamento → Circuiti → Sottosistemi è stato possibile inserire il tipo di terminale di erogazione, radiatore su parete esterna non isolata, con una temperatura di mandata di progetto di 70°C, così come rilevato dai sopralluoghi. Nella medesima scheda è possibile determinare il tipo di impianto, autonomo su edificio condominiale a regolazione manuale e l’isolamento delle tubazioni, in questo caso scadente o inesistente

La potenza elettrica assorbita per appartamenti con generatore autonomo è di 120 W (Figura 5.46).

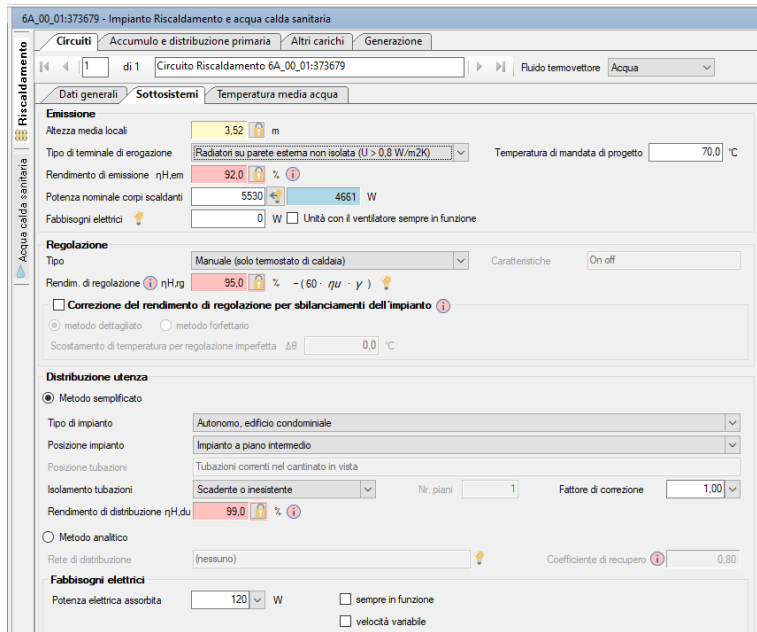


Figura 5.46: Scheda sottosistemi che identifica il terminale di erogazione e il tipo di sistema ipotizzato

In Riscaldamento → Circuiti → Temperatura media acqua sono invece state inserite le temperature previste all'interno del sistema, come è possibile osservare dalla figura seguente (Figura 5.47). Il Δt di progetto lato acqua è stato ipotizzato 10 poiché in assenza di valvole termostatiche. Il Δt nominale lato aria è stato calcolato tramite la differenza tra la temperatura nel radiatore e la temperatura ambiente, 20° C. Per calcolare la temperatura del radiatore è necessario eseguire la media tra temperatura di mandata di progetto e la differenza tra quest'ultima e il Δt di progetto lato acqua.

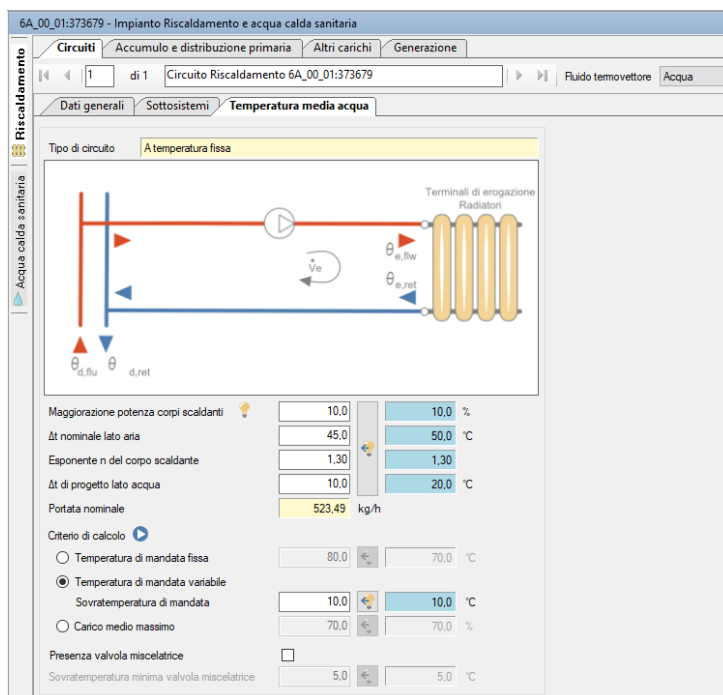


Figura 5.47: Scheda temperatura media acqua per impianto autonomo

È stata poi ipotizzato l'utilizzo di una caldaia tradizionale per ogni appartamento e all'interno della scheda Riscaldamento → Generazione → Generatori è stata inserita la marca, la serie e il modello ipotizzato che possedesse una potenza tra i 24 e i 26 kW e un rendimento tra i 90 e i 93% (Figura 5.48).

Figura 5.48: Scheda generatori sistema scadente

In relazione all'acqua calda sanitaria è stato scelto di operare secondo metodo semplificato con sistemi installati prima dell'entrata in vigore della legge 373/76.

3.1.6 Attestati energetici

Dalla barra dei comandi, selezionando il pulsante "Attestati energetici", si accede alla maschera di inserimento dati per la compilazione dell'attestato di prestazione energetica, in conformità al regime di legge impostato.

Selezionando "Edificio" si procede alla compilazione di un unico documento riferito all'intero immobile: in questo caso nell'albero sarà presente un unico nodo relativo al complesso.

Selezionando "Zone" si procede alla compilazione di un attestato di qualificazione energetica per ciascuna zona inserita nel progetto; in questo caso nell'albero saranno presenti tanti nodi quante sono le zone.

Nell'area di lavoro viene riportato l'elenco delle zone o il solo edificio. Oltre alla destinazione d'uso secondo DPR 412/93 ed ai principali dati dimensionali (superficie netta e volume lordo), vengono indicati i seguenti dati:

- EP_{gl,nren}: indice di prestazione energetica globale non rinnovabile della zona o dell'edificio, espresso in kWh/m²anno. Tale parametro è dato dalla somma degli indici

di prestazione energetica dei servizi presenti.

- Classe energetica: classe energetica dell'edificio o della zona interessata determinata sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile EP_{gl,nren}. La classe energetica rappresenta la qualità energetica dell'edificio (o dell'unità immobiliare) e comprende le prestazioni dei singoli servizi energetici (riscaldamento e acqua calda sanitaria).

L'edificio preso in considerazione per la sperimentazione rientra in classe G (Figura 5.49).

Attestati		Riepilogo						
Attestati energetici		Descrizione	Cat. DPR 412	Sup. netta [m ²]	Vol. lordo [m ³]	EP _{gl,nren}	U.M.	Classe energetica
Edificio		Edificio: Condominio 2 civici - 30 unità abitative	E.1 (1)	1628.63	8008.78	175.33	kWh/m ² anno	G

Figura 5.49: Attestato energetico e classe dell'edificio analizzato

3.1.7 Confronto risultati

Come anticipato al paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, non disponendo di molti dati ricavati dal sopralluogo iniziale, è necessario prevedere che l'edificio abbia caratteristiche differenti rispetto all'analisi appena condotta. Il risultato ottenuto precedentemente si rifà ad una condizione sfavorevole in cui sia i serramenti che gli impianti sono meno prestanti e non ben isolati. Sono dunque state poi condotte delle analisi successive che prevedevano degli infissi in legno con una resistenza termica delle chiusure di 0,22 m²K/m e degli impianti, se pur autonomi, con delle prestazioni leggermente migliori: impianto con caldaia tradizionale e radiatori posizionati su pareti esterne non isolate con una regolazione per zona e un isolamento delle tubazioni. I risultati ottenuti sono stati poi raccolti e inseriti nella seguente tabella (Tabella 5.11):

Tabella 5.11: Confronto risultati APE con serramenti e impianti vecchi e nuovi

	Risultati diagnosi [kWh/m ² anno]	Con PT tramezze (TRAM)	impianti	serramenti
Diagnosi_IFC2x3GSA_Pre	175,33 G	177,25	Vecchi	Vecchi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Pre_serr	163,28 F		Vecchi	Nuovi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Pre_serr_cald	135,05 F		Nuovi	Nuovi

Un secondo confronto effettuato è stato sull'intervento da effettuare per migliorare la classe energetica dell'edificio: si è provato ad operare per la sistemazione del cappotto sulle pareti esterne dell'edificio modellandolo in Edilclima come strato ulteriore di isolante all'interno delle murature esistenti o attraverso la maschera intervento migliorativo propria del software di simulazione energetica. Sono successivamente stati confrontati i risultati ottenuti (Tabella 5.12).

Tabella 5.12: Confronto risultati diagnosi

	Risultati diagnosi [kWh/m ² anno]	impianti	serramenti
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_Intervento migliorativo	83,66 D	Vecchi	Vecchi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_intervento migliorativo_serr	70,51 D	Vecchi	Nuovi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_intervento migliorativo_serr_cald	56,48 C	Nuovi	Nuovi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_cappotto edilclima	71,99 D	Vecchi	Vecchi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_cappotto edilclima_serr	62,48 C	Vecchi	Nuovi
Diagnosi_IFC2x3GSA_Post_cappotto edilclima_serr_cald	51,51 B	Nuovi	Nuovi

Confrontando le due tabelle soprariportate si nota come il salto di due classi energetiche sia garantito e quindi possa essere effettuato l'intervento proposto per il Superbonus di inserimento di un cappotto esterno e l'isolamento del sottotetto non riscaldato.

3.2 Importazione tramite EC770

Per poter comparare i due tipi di esportazione prevista da Revit si è voluto sperimentare l'uso del plug-in EC770-Integrated Technical Design For Revit.

Questo, dopo l'installazione compare nella scheda "Moduli aggiuntivi" nella maschera "Edilclima" (Figura 5.50).

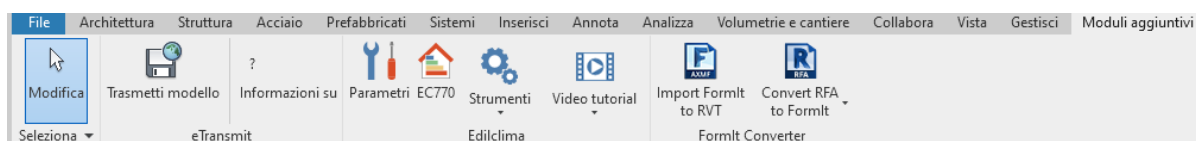


Figura 5.50: Modulo aggiuntivo EC770 in Revit

Conclusa la modellazione dell'architettonico ed inseriti al proprio interno i vani con associate le loro proprietà è possibile avviare il comando "Strumenti" presente nella sezione sopracitata e caricare all'interno del progetto le famiglie di Ponti Termici verticali poiché le altre tipologie, inclusi gli ombreggiamenti, vengono inserite in automatico nelle proprietà relative all'analisi energetica di muri, finestre e solai una volta avviato il plug-in (Figura 5.51).

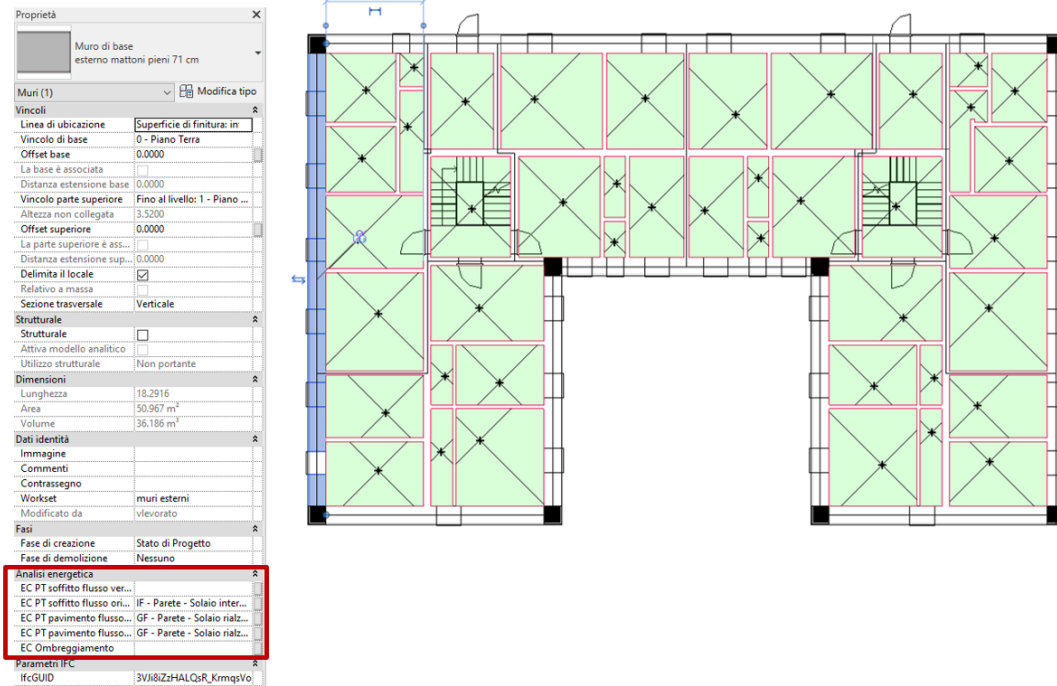


Figura 5.51: Esempio parametri ponti termici e ombreggianti assegnati ad un muro

Tali proprietà sono riconosciute da EC700 solo se vengono compilate con del testo, così da poter essere lette una volta esportate.

Dopo aver inserito tali elementi è possibile utilizzare il comando “Parametri” che permette di accedere ad una finestra di associazione dei locali alle varie zone. Tale procedimento può essere svolto anche con gli strumenti propri di Revit, assegnando ad ogni locale il tipo di climatizzazione e radunandoli in zone. È importante, ai fini dell’esportazione tramite plug-in, mantenere tutti i vani non climatizzati nella zona di default ed assegnar loro il tipo di climatizzazione “Senza climatizzazione”, così da radunarli in locali climatizzati in EC700. Il plug-in, infatti, riconosce il tipo di climatizzazione direttamente da Revit e associa ad ogni vano la corretta zona termica una volta esportato (Tabella 5.13).

Tabella 5.13: Corrispondenza tipologia tra Revit ed Ec700 utilizzando il plug-in

Revit	EC700
Riscaldamento	Locale climatizzato
Raffrescamento	Locale climatizzato
Riscaldamento e raffrescamento	Locale climatizzato
Senza climatizzazione	Locale non climatizzato

Ventilazione	Locale climatizzato
Soltanto ventilazione naturale	Locale climatizzato
-	Locale irregolare
-	Locale climatizzato verso il terreno
-	Locale non climatizzato verso il terreno
-	Serra solare
-	Serra solare verso terreno

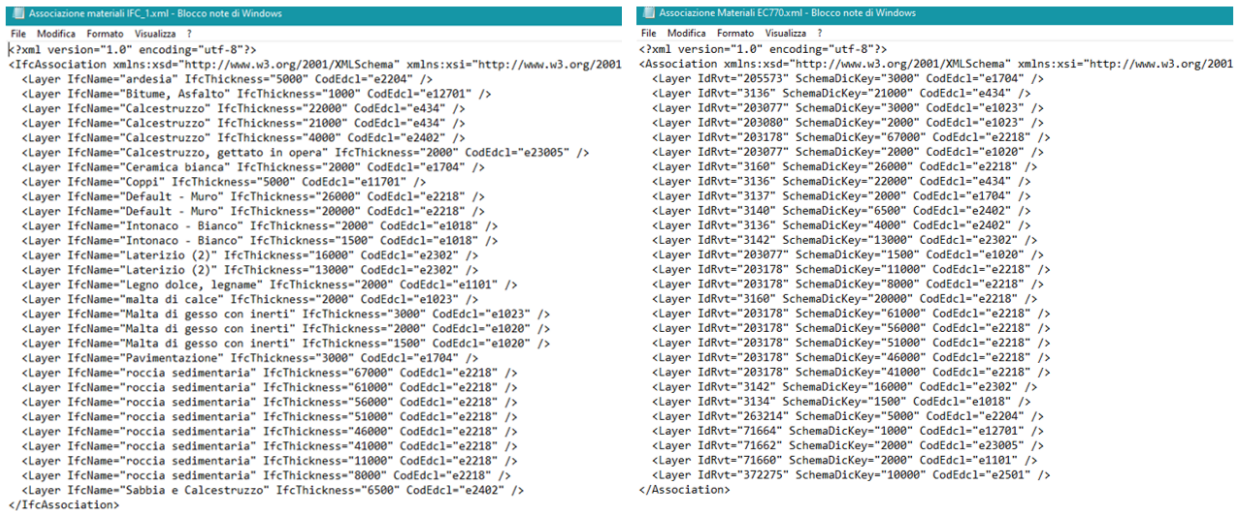
Completata l'operazione sarà possibile cliccare sul comando "Esci" e accedere alla sezione "EC770".

Dopo aver completato la maschera "Dati generali" è possibile accedere a quella denominata "Associa materiali" in cui vengono comparati i materiali delle stratigrafie degli elementi modellati in Revit con quelli presenti in Edilclima (Figura 5.52).

Comandi	Materiale Revit	Spessore [mm]	Strutture utilizzate	Codice	Materiale Edilclima
	✓ ardesia	50,00	S3	e2204	Ardesia
	✓ Bitume, Asfalto	10,00	S3	e12701	Membrana bituminosa (per THERMO 2...
	✓ Calcestruzzo	220,00	P1	e434	C.I.s. amato (1% acciaio)
	✓ Calcestruzzo	210,00	S1, P2, P0, P4, -, -	e434	C.I.s. amato (1% acciaio)
	✓ Calcestruzzo	40,00	S2, P3, S0, P0, S0, S0, S0, P0, S...	e2402	Massetto ripartitore in calcestruzzo con...
	✓ Calcestruzzo, gettato in opera	20,00	S3	e23005	Calcestruzzo CentroStorico
	✓ Ceramica bianca	20,00	S2, P3, S0, P0, S0, S0, S0, P0, P0, S...	e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)
	✓ Default - Muro	260,00	M0, M2, M4, M0, M5, M0, M13, -, -, M...	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ Default - Muro	200,00	M0, M34	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ Intonaco - Bianco	15,00	S0, P0, -, -	e1018	Malta di gesso con inerti
	✓ Laterizio (2)	160,00	S0, P0, -, -	e2302	Soletta in laterizio
	✓ Laterizio (2)	130,00	S2, P3, S0, P0, S0, S0, P0, S5, P5, P...	e2302	Soletta in laterizio
	✓ Legno dolce, legname	20,00	S3	e1101	Legno di abete flussio perpend. alle fibre
	✓ malta di calce	20,00	M1, M3, M7, M8, M9, M10, M11, M12	e1023	Malta di calce o di calce e cemento
	✓ Malta di gesso con inerti	30,00	S1, P2, P0, P4, -, -	e1023	Malta di calce o di calce e cemento
	✓ Malta di gesso con inerti	20,00	M1, M0, M2, P1, M3, M0, M4, M0, M5...	e1020	Malta di gesso con inerti
	✓ Malta di gesso con inerti	15,00	S2, P3, S0, P0, S0, S0, P0, S5, P5, P...	e1020	Malta di gesso con inerti
	✓ Pavimentazione	30,00	S1, P1, P2, P0, P4, -, -	e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)
	✓ roccia sedimentaria	670,00	M1, M3	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ roccia sedimentaria	610,00	M7	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ roccia sedimentaria	560,00	M8	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ roccia sedimentaria	510,00	M9	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ roccia sedimentaria	460,00	M10	e2218	Roccia naturale sedimentaria
	✓ roccia sedimentaria	410,00	M11, M12	e2218	Roccia naturale sedimentaria

Figura 5.52: Associazione materiali EC770

Anche in questo caso, come con l'importazione tramite IFC, è possibile caricare un file XML di associazione. La procedura non può essere effettuata, però, con il medesimo file utilizzato in precedenza poiché, comparandoli, è possibile notare differenze nella lettura dei parametri (Figura 5.53).



```
Associazione materiali IFC_1.xml - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<IfcAssociation xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001
<Layer IfcName="ardesia" IfcThickness="5000" CodEdcl="e2204" />
<Layer IfcName="Bitume, Asfalto" IfcThickness="1000" CodEdcl="e12701" />
<Layer IfcName="Calcestruzzo" IfcThickness="22000" CodEdcl="e434" />
<Layer IfcName="Calcestruzzo" IfcThickness="21000" CodEdcl="e434" />
<Layer IfcName="Calcestruzzo" IfcThickness="4000" CodEdcl="e2402" />
<Layer IfcName="Calcestruzzo, gettato in opera" IfcThickness="2000" CodEdcl="e23005" />
<Layer IfcName="Ceramica bianca" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1704" />
<Layer IfcName="Coppo" IfcThickness="5000" CodEdcl="e11701" />
<Layer IfcName="Default - Muro" IfcThickness="26000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="Default - Muro" IfcThickness="20000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="Intonaco - Bianco" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1018" />
<Layer IfcName="Intonaco - Bianco" IfcThickness="1500" CodEdcl="e1018" />
<Layer IfcName="Laterizio (2)" IfcThickness="16000" CodEdcl="e2302" />
<Layer IfcName="Laterizio (2)" IfcThickness="13000" CodEdcl="e2302" />
<Layer IfcName="Legno dolce, legname" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1101" />
<Layer IfcName="malta di calce" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1023" />
<Layer IfcName="Malta di gesso con inerti" IfcThickness="3000" CodEdcl="e1023" />
<Layer IfcName="Malta di gesso con inerti" IfcThickness="2000" CodEdcl="e1020" />
<Layer IfcName="Malta di gesso con inerti" IfcThickness="1500" CodEdcl="e1020" />
<Layer IfcName="Pavimentazione" IfcThickness="3000" CodEdcl="e1704" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="67000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="61000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="56000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="51000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="46000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="41000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="11000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="roccia sedimentaria" IfcThickness="8000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IfcName="Sabbia e Calcestruzzo" IfcThickness="6500" CodEdcl="e2402" />
</IfcAssociation>

Associazione Materiali EC770.xml - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<Association xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001
<Layer IdRvt="205573" SchemaDicKey="3000" CodEdcl="e1704" />
<Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="21000" CodEdcl="e434" />
<Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="3000" CodEdcl="e1023" />
<Layer IdRvt="203080" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1023" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="67000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1020" />
<Layer IdRvt="3160" SchemaDicKey="26000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="22000" CodEdcl="e434" />
<Layer IdRvt="3137" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1704" />
<Layer IdRvt="3140" SchemaDicKey="6500" CodEdcl="e2402" />
<Layer IdRvt="3136" SchemaDicKey="4000" CodEdcl="e2402" />
<Layer IdRvt="3142" SchemaDicKey="13000" CodEdcl="e2302" />
<Layer IdRvt="203077" SchemaDicKey="1500" CodEdcl="e1020" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="11000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="8000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="3160" SchemaDicKey="20000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="61000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="56000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="51000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="46000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="203178" SchemaDicKey="41000" CodEdcl="e2218" />
<Layer IdRvt="3142" SchemaDicKey="16000" CodEdcl="e2302" />
<Layer IdRvt="3134" SchemaDicKey="1500" CodEdcl="e1018" />
<Layer IdRvt="263214" SchemaDicKey="5000" CodEdcl="e2204" />
<Layer IdRvt="71664" SchemaDicKey="1000" CodEdcl="e12701" />
<Layer IdRvt="71662" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e23005" />
<Layer IdRvt="71660" SchemaDicKey="2000" CodEdcl="e1101" />
<Layer IdRvt="372275" SchemaDicKey="10000" CodEdcl="e2501" />
</Association>
```

Figura 5.53: Comparazione file XML di associazione materiali, IFC e Plug-in

L'impossibilità da parte del plug-in di poter leggere parametri IFC si ripropone nel momento in cui si caratterizzano le porte finestrate in "Componenti involucro": queste sono definite di default come strutture opache, se appartengono alla famiglia "porte" in Revit, e a queste non è possibile associare un ponte termico. In questi casi è quindi consigliabile riprendere il modello Revit e modificare una famiglia di finestre per andarla a collocare in sostituzione alla porta, così da poterci assegnare tale informazione.

Nella medesima maschera è possibile osservare come i ponti termici e gli ombreggiamenti assegnati precedentemente in Revit vengano visualizzati e sia possibile caratterizzarli utilizzando EC709, Mold Simulator o File XML (Figura 5.54).

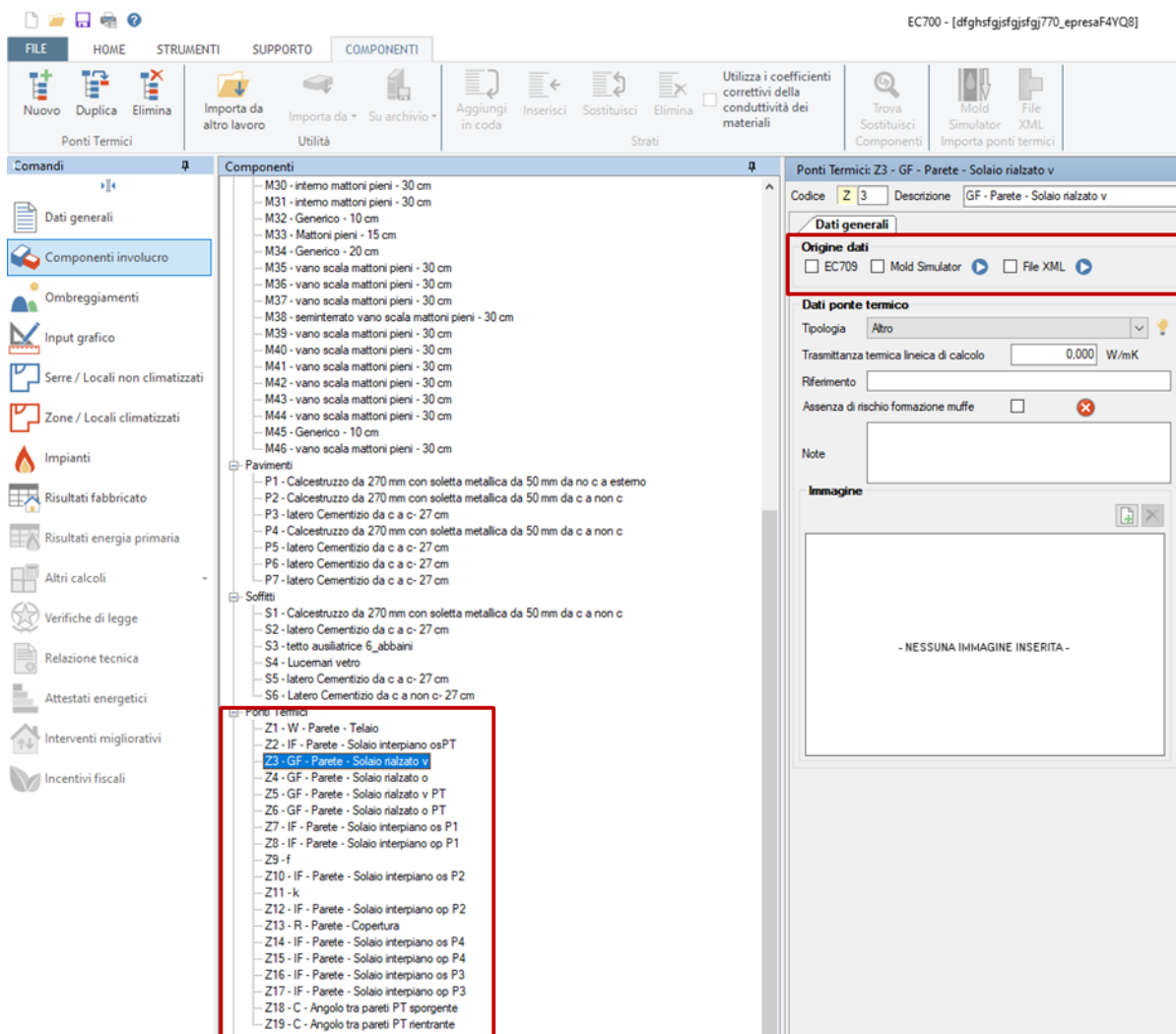


Figura 5.54: Ponti termici esportati attraverso plug-in EC770

Ai ponti termici non viene associata una trasmittanza lineica ne corrispondono a tale parametro delle strutture coinvolte che devono essere riassegnate attraverso EC700. La medesima procedura deve essere svolta per gli ombreggiamenti: all'interno della maschera dedicata sono presenti infatti i nomi assegnati attraverso il plug-in ma non presentano dati, che devono essere aggiunti manualmente completando tale scheda (Figura 5.55).

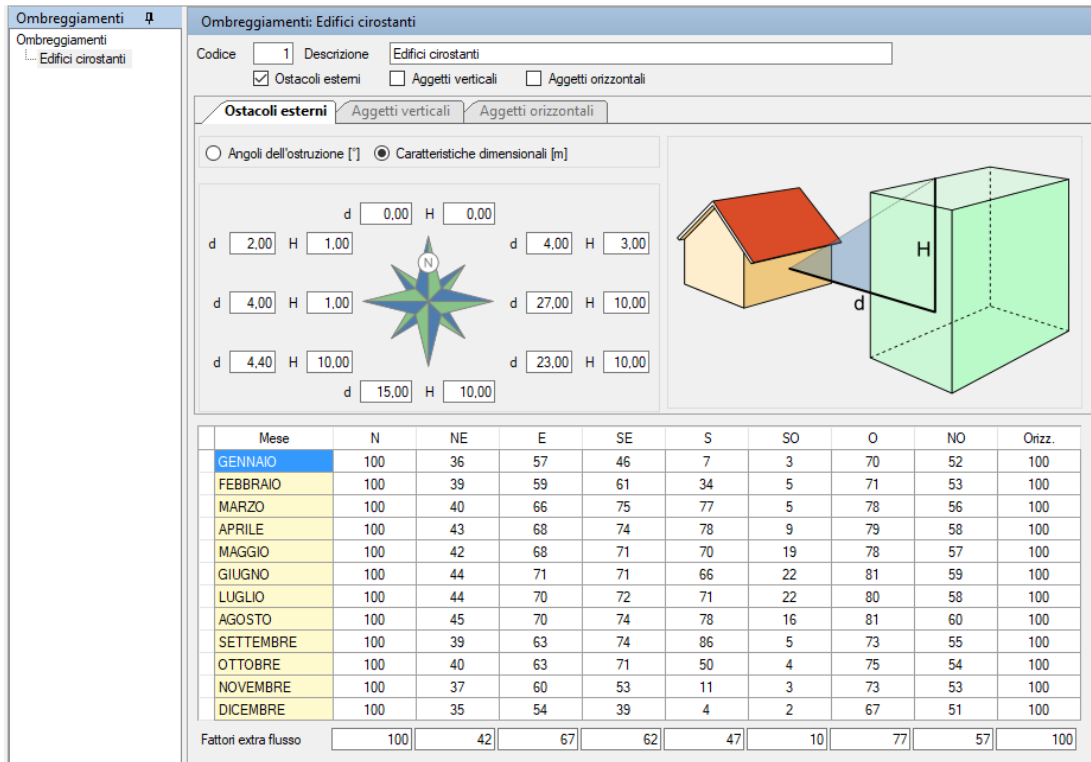


Figura 5.55: Calcolo manuale degli ombreggiamenti nella scheda dedicata

Se la possibilità di esportare dati relativi a ponti termici e ombreggiamenti è un plus che il plug-in offre rispetto all'esportazione IFC, uno svantaggio nel suo utilizzo è l'impossibilità di poter sfruttare la maschera "Input grafico" per poter visualizzare il modello dell'edificio (Figura 5.56).

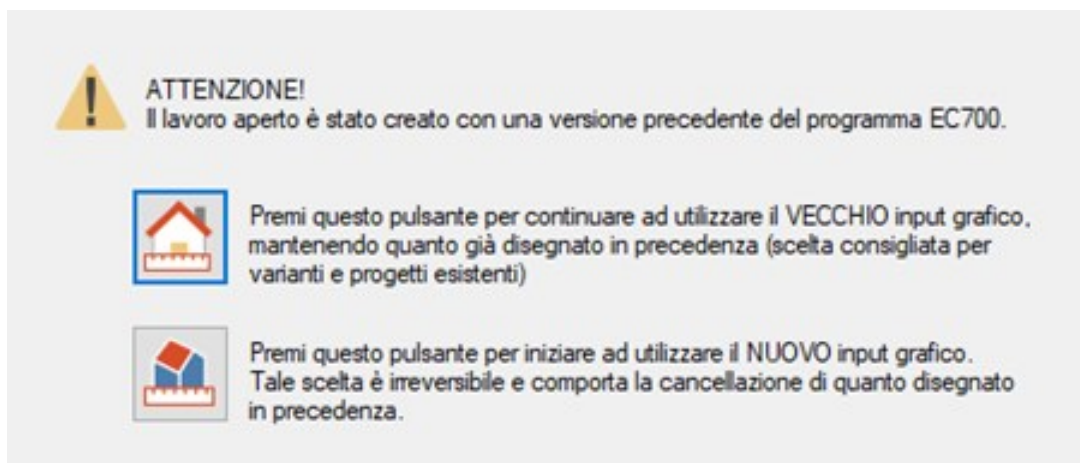


Figura 5.56: Maschera "Input grafico" con EC770

Questo rende impossibile la verifica della corretta esportazione del modello, dei suoi componenti e la possibilità di verificare la corrispondenza del nome, assegnato da EC700, agli elementi costruttivi.

Un ulteriore limite riscontrato utilizzando il plug-in è la possibilità di eseguire il calcolo

degli ombreggiamenti solo in maniera manuale poiché non è restituito nessun input grafico che permetta un calcolo automatico. È quindi superfluo modellare in Revit la topografia e gli edifici circostanti poiché gli ombreggiamenti vengono definiti solo con il completamento della scheda “Ombreggiamenti” e non calcolando le ombre reali restituite dal modello.

Dall’analisi portata a termine è emerso che integrando in EC770 la visualizzazione dell’input grafico si otterrebbe uno strumento utile al dialogo tra i due software e indispensabile per la corretta esportazione dei dati riguardanti i ponti termici del modello analizzato. In questo modo si potrebbe utilizzare il calcolo automatico degli ombreggiamenti che eviterebbe errori nella compilazione della scheda utilizzando dati di input estrapolati direttamente dal software di BIM authoring.

4 INTEROPERABILITÀ TRA SOFTWARE A CONFRONTO

4.1 TerMus

Con lo scopo di indagare l’interoperabilità tra Revit e TerMus è stato utilizzato questo software per la simulazione energetica, importando il medesimo IFC utilizzato in EC700 così da poter osservare le proprietà riconosciute e le caratteristiche del dialogo tra i due software.¹¹⁸

All’apertura del programma è possibile cliccare il comando *Nuovo* → *Nuovo da IFC* → *Prestazioni energetiche e certificazioni* e scegliere l’IFC da importare. La prima maschera da completare è quella relativa ai dati generali che richiedono il posizionamento dell’edificio. Questo comporta il programma di simulazione energetica non riconosca la località attribuita al modello in Revit e, di conseguenza, ostacola la volontà di rendere semi-automatico il processo di simulazione.

Dopo aver completato la prima maschera è possibile spostarsi in quelle successive liberamente andando ad osservare la geometria del modello importato attraverso il comando *Viste 3D* oppure *Livelli*. L’edificio appare integro, senza discontinuità dovute all’associazione tra muri e coperture. La topografia è presente e viene descritta dal programma come superficie. Spostandosi in pianta è possibile osservare come il programma riconosca anche scale e vani, assegnati ad ogni ambiente dell’edificio.

I vani, che nel software di BIM authoring erano stati caratterizzati attraverso parametri IFC attribuendo loro una tipologia di climatizzazione, mantengono la loro geometria ma non conservano le proprietà assegnate. Un altro dato che viene perso nel dialogo tra i due software è l’appartenenza di ogni vano ad una determinata zona: l’ambiente deve essere selezionato nella vista di pianta e a questo dev’essere associata una zona termica che è possibile creare

¹¹⁸ L’IFC importato in TerMus ha una MVD 2x3 GSA, presenta un proprio posizionamento e ogni suo elemento è classificato secondo parametri IFC e classificazione OmniClass. La sua geometria è semplificata e ogni ambiente è evidenziato da vani raggruppati in zone termiche. Ogni vano è caratterizzato da un tipo di climatizzazione “Riscaldamento o raffrescamento” o “Senza climatizzazione”.

direttamente in TerMus attraverso la maschera *EODc e Zone*. Mantenere l'associazione tra vani e zone termiche faciliterebbe di molto il lavoro di analisi svolto e limiterebbe la probabilità di commettere errori e inesattezze.

Il riconoscimento dei ponti termici viene svolto in automatico selezionando l'apposito comando che evidenzia in verde tutti i ponti termici standard riconosciuti e calcola la loro trasmittanza lineica (Figura 5.57). Anche gli ombreggiamenti sono riconosciuti in maniera automatica dal software.

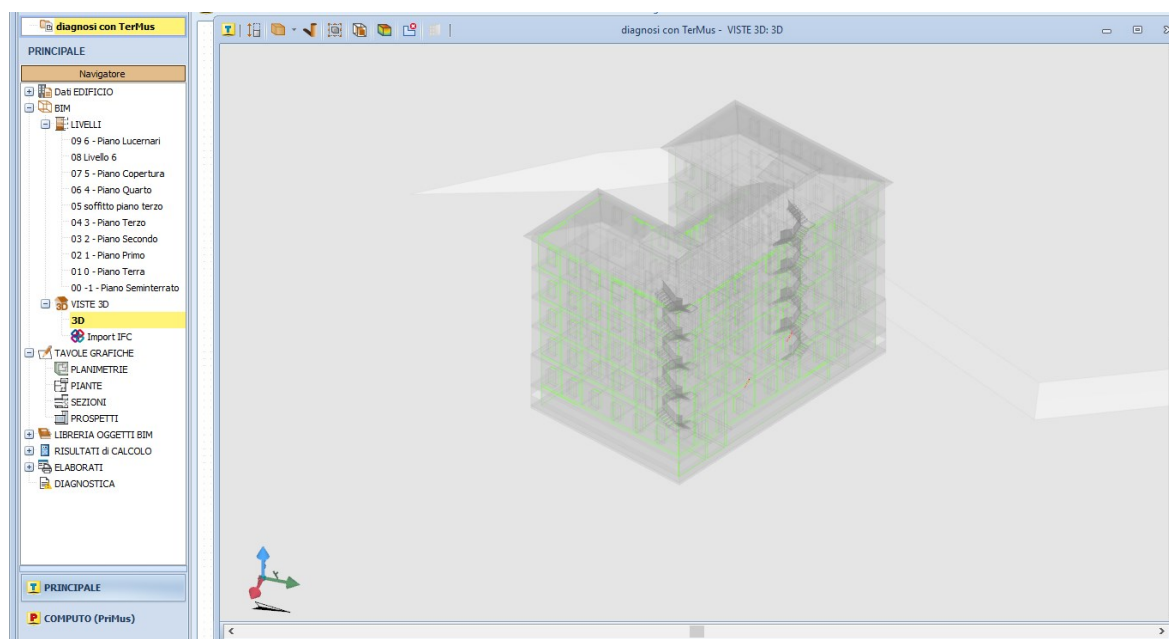


Figura 5.57: Inserimento ponti termici TerMus

Per completare l'analisi si è dovuta compilare la maschera relativa agli impianti in quanto, nonostante il software dimostri un'interoperabilità con Revit, non riconosce un file impiantistico collegato con un file architettonico.

4.2 Termolog

Il confronto tra l'importazione IFC dei vari software si è voluto svolgere anche con Termolog, programma di Logical Soft per il calcolo dell'efficienza energetica degli edifici.

Anche in questo caso è stato importato l'IFC utilizzato degli altri due programmi con una garanzia in più, data dalla possibilità di sfruttare il viewer integrato che può essere utile a verificare la correttezza del modello ad analizzarne le caratteristiche e a consultare pSet standard e dettagli dei singoli elementi. Nella medesima maschera di importazione è possibile decidere anche se utilizzare i materiali IFC oppure quelli di Termolog: nel primo caso le proprietà dei materiali di Revit vengono mantenute anche nell'analisi, nel secondo si procede invece ad una rapida associazione tra materiali che permette di attribuire ad ogni stratigrafia Revit delle proprietà riconosciute dal software energetico.

In questo programma non vengono riconosciute le zone impostate dal software di BIM authoring e nemmeno il tipo di climatizzazione di ogni vano: è quindi necessario procedere a suddividere i vani per zone e attribuire a queste ultime il tipo di climatizzazione desiderata.

L'assegnazione degli ombreggiamenti è automatica mentre i ponti termici sono gestiti e calcolati attraverso un Wizard che individua e inserisce discontinuità dovuta al ponte termico sulle strutture disperdenti del modello energetico.

Come nei due casi precedenti, è stato deciso di sperimentare il collegamento del file impiantistico con quello architettonico in modo tale da trasferire dati di input nel software di analisi energetica utili a compilare la maschera "Impianti". Il risultato è stato simile agli altri due programmi, rendendo impossibile realizzare una procedura semi-automatica per la compilazione delle schede di generatore e terminali di emissione.

È stato, in conclusione, riassunto in tabella (Tabella 5.14) il confronto tra i tre software per evidenziare quali proprietà necessarie all'analisi energetica ognuno di loro riesce a riconoscere da un IFC esportato mediante un programma di BIM authoring. Visionandola, se ne evince EC700 riesca a rendere la procedura di analisi più automatica, riconoscendo le zone e mantenendo i vani associati.

Tabella 5.14: Confronto tra software

IFC	EC700	TerMus	Termolog
Stratigrafia	Associazione materiali	Creazione materiali	Associazione materiali/importazione
Ponti termici	EC770	No	No
Ombreggiamenti	EC770	No	No
Impianti/collegamenti	No	No	No
Vani	Si	Si	Si
Zone	Si	No	No

1 CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi mette in luce come il BIM sia ormai uno strumento versatile e capace di interagire e relazionarsi con numerose discipline. Proprio grazie alle caratteristiche della modellazione BIM, nel caso studio approfondito in questa analisi è stato possibile condurre una diagnosi energetica a partire da un modello architettonico modellato in Autodesk Revit.

L'analisi energetica ha la necessità di analizzare numerose informazioni che descrivono il funzionamento di un edificio. I fenomeni energetici che si sviluppano all'interno o all'esterno dell'involucro possono avere natura differente ma sono sempre in continua relazione tra loro. Dalla complessità delle variabili che possono influenzare il comportamento di un edificio, nasce la necessità di sviluppare software sempre più precisi con molteplici dati di input per poter produrre un risultato attendibile. La precisione richiesta può essere offerta dal mondo del BIM che si relaziona, attraverso formati aperti, all'ambito energetico rendendo i dati di ingresso delle informazioni comuni e complete, utilizzabili in diversi programmi e per scopi differenti. L'interoperabilità tra software permette infatti di eliminare la maggior parte degli errori che possono essere commessi inserendo manualmente le informazioni e di velocizzare il processo che porta alla diagnosi energetica.

Nello svolgimento di questa tesi, l'interoperabilità tra software è stata sperimentata andando a confrontare EC700 e Revit attraverso due differenti modalità: importazione tramite file IFC e attraverso plug-in EC770.

L'importazione tramite IFC ha mostrato come il programma di analisi energetica utilizzato riesca a visualizzare le informazioni relative alla geometria dell'edificio, alla divisione degli ambienti e alla lettura di alcuni parametri IFC, come `IfcExportAs` e `IfcExportType`. È stato possibile osservare anche i limiti di interoperabilità di EC700: il software infatti non riconosce la tipologia di climatizzazione dei vani attribuita attraverso Revit sia questa sia definita come Enumerativo del vano che attraverso il comando "tipo di vano". EC700, attraverso l'importazione IFC, non visualizza parametri relativi a ponti termici e ombreggiamenti creati attraverso il software di BIM authoring e vincola quest'ultimi all'inserimento attraverso la maschera dedicata.

Differentemente, EC770, importa attraverso parametri appositamente generati sia ponti termici che ombreggiamenti in Edilclima, lasciandoli configurare in un secondo momento nell'apposita scheda. La difficoltà riscontrata con questo plug-in è stata l'impossibilità di

utilizzare l'input grafico per verificare la correttezza del modello importato ed effettuare il calcolo degli ombreggiamenti in maniera automatica. Integrando le funzionalità già presenti nel plug-in con la possibilità di visualizzare e verificare la geometria del modello importato si potrebbe ottenere uno strumento di dialogo efficace e completo tra i due programmi.

Per entrambi i procedimenti si è dovuto prima preparare un modello adatto all'importazione in un software di analisi energetica tenendo in considerazione le limitazioni proprie di EC700, nato come programma di calcolo tabellare e successivamente implementato con la visualizzazione grafica degli elementi, il programma riscontra delle difficoltà nel visualizzare correttamente tutte le informazioni geometriche inserite: sono stati riscontrati errori nell'associazione tra pareti e coperture e nel generare un tetto complesso che comprende più falde e inclinazioni. Un altro limite è rappresentato dalla tipologia differente di informazioni che è possibile trasmettere nei due software e dal grado di dettaglio al quale si vuole svolgere l'analisi.

Principalmente, sperimentando l'interoperabilità tra i due software, è risultato evidente che EC700 riesca a comprendere molte delle informazioni desunte da Revit, tuttavia è auspicabile questo in un futuro riesca a riconoscere due file collegati, si tratti di due architettonici o di un file impiantistico collegato ad un modello architettonico.

A tal proposito è stato condotto uno studio volto ad evidenziare le caratteristiche, relative alla tematica impiantistica, che Revit è in grado di esportare attraverso l'IFC e che EC700 potrebbe utilizzare come dati di input per poter rendere semi-automatica la compilazione della maschera "Impianti". Di seguito sono evidenziate nelle tabelle le proprietà. Di seguito sono evidenziate nelle tabelle le proprietà desunte da Revit attraverso IFC, Pset o proprietà del tipo con la loro corrispondente caratterizzazione in Edilclima di:

- Sistema (Tabella 6.1)
- Generatore (Tabella 6.2)
- Terminale di emissione (Tabella 6.3)

Tabella 6.1: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Sistema

Revit	Edilclima	
IFC	Proprietà del tipo	
	Meccanica → Temperatura del fluido	Temperatura di mandata di progetto
IfcDistributionSystemEnum → DOMESTICHOTWATER	Caratterizzazione del tipo di sistema	

Tabella 6.2: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Generatore

Revit		Edilclima	
IFC	Pset	Proprietà del tipo	Proprietà della famiglia
		Dati identità→Modello	Marca/Serie/Modello
		Dati identità→Prodotto re	Marca/Serie/Modello
			Materiale
			Materiale del generatore
IfcBoiler→ WATER			Caratterizzazione del tipo di generatore
	Pset_BoilerTypeWater→ NominalEfficiency		Potenza nominale al focolare

Tabella 6.3: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Terminali di emissione

Revit		Edilclima	
IFC	Pset	Proprietà del tipo	
		Meccanico-Carichi→ BtuPerFit	Potenza nominale dei corpi scaldanti
	Pset_SpaceHeaterTypeCommon→ TemperatureClassification→ LOWTEMPERATURE		Delta T nominale lato aria
		Parametri IFC→IfcExportType →RADIATOR	Tipo di terminale di erogazione
IfcSpaceHeater→ RADIATOR			Tipo di corpo scaldante
	Pset_SpaceHeaterPHistory→ SpaceAirTemperature		Temperatura ambiente sezione generatori
	PEnum_SpaceHeaterPlacementType→WALL		Tipo di terminale di erogazione

	Pset_SpaceHeaterTypeCom mon→ TemperatureClassification→ HIGHTEMPERATURE		Temperatura di mandata di progetto
--	--	--	---------------------------------------

2 SVILUPPI FUTURI

In conclusione, dalle considerazioni evinte si può affermare che l'IFC può essere un buon formato per poter importare dati di input e output in software per la simulazione energetica. Tuttavia alcune delle informazioni inserite nel software di BIM Authoring non possono essere esportate attraverso questo tipo di file in programmi per la simulazione energetica. Si ritiene dunque un possibile sviluppo futuro del lavoro di tesi sia l'analisi dei dati e degli attributi che possono essere inseriti nel data model IFC per poter supportare una progettazione e una gestione energetica. Procedendo all'integrazione delle classi mancanti si riuscirebbero a censire tutte le informazioni necessarie all'efficientamento energetico e si otterrebbe un dialogo costante tra software.

APPENDICE 1 –ABACO DEI LOCALI

Numero	Area	Volume Netto (h 2.70 m)	Livello	IfcExportAs	IfcExportType
6A_-100_01	135.28 m ²	297.6 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6_-100_01	135.28 m ²	297.6 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6_-100_03	8.97 m ²	8.3 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6_-100_02	26.39 m ²	58.1 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6A_-100_02	26.39 m ²	58.1 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6A_-100_13	8.97 m ²	8.3 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6A_-100	12.05 m ²	28.7 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6_-100	12.05 m ²	28.7 m ³	-1 - Piano Seminterrato	IfcSpace	SPACE
6A_000_	8.97 m ²	29.2 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_000	12.05 m ²	41.4 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_000	12.05 m ²	41.4 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_-000_	8.97 m ²	29.2 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_01	7.26 m ²	23.6 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_02	6.87 m ²	22.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_03	10.64 m ²	34.6 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_04	14.50 m ²	47.1 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_05	1.22 m ²	4.0 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_001_06	3.63 m ²	11.8 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_01	12.86 m ²	41.8 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_02	7.92 m ²	25.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_03	12.86 m ²	41.8 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_04	3.17 m ²	10.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_05	9.43 m ²	30.6 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_06	9.15 m ²	29.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_002_07	1.95 m ²	6.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_01	14.69 m ²	47.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_02	11.14 m ²	36.2 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_03	12.40 m ²	40.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_04	1.15 m ²	3.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_05	1.95 m ²	6.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_003_06	8.27 m ²	26.9 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_001_01	5.77 m ²	18.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_001_02	7.17 m ²	23.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_001_03	10.64 m ²	34.6 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_001_04	14.50 m ²	47.1 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_001_05	1.95 m ²	6.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE

6_001_06	3.96 m ²	12.9 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_01	12.86 m ²	41.8 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_02	7.92 m ²	25.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_03	12.86 m ²	41.8 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_04	3.17 m ²	10.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_05	9.43 m ²	30.6 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_06	9.15 m ²	29.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_002_07	1.95 m ²	6.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_01	14.61 m ²	47.5 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_02	11.22 m ²	36.5 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_03	8.27 m ²	26.9 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_04	1.15 m ²	3.7 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_05	1.95 m ²	6.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6_003_06	12.40 m ²	40.3 m ³	0 - Piano Terra	IfcSpace	SPACE
6A_101_01	6.43 m ²	19.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_02	7.17 m ²	22.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_03	10.64 m ²	33.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_04	14.50 m ²	45.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_05	2.30 m ²	7.1 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_06	2.97 m ²	9.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_101_07	8.97 m ²	27.8 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_01	12.87 m ²	39.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_02	8.10 m ²	25.1 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_03	13.32 m ²	41.3 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_04	1.25 m ²	3.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_05	9.75 m ²	30.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_06	9.27 m ²	28.7 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_102_07	3.94 m ²	12.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_01	14.88 m ²	46.1 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_02	11.29 m ²	35.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_03	8.38 m ²	26.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_04	1.19 m ²	3.7 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_05	12.56 m ²	38.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_103_06	1.95 m ²	6.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_01	5.77 m ²	17.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_02	7.17 m ²	22.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_03	10.64 m ²	33.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_04	14.50 m ²	45.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_05	2.54 m ²	7.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_06	3.40 m ²	10.5 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_101_07	8.97 m ²	27.8 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_102_01	17.00 m ²	52.7 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_102_02	8.04 m ²	24.9 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_102_03	10.79 m ²	33.4 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE

6_102_04	3.29 m ²	10.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_102_05	9.75 m ²	30.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_102_06	9.27 m ²	28.7 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_103_01	14.88 m ²	46.1 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_103_02	11.29 m ²	35.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_103_03	0.89 m ²	2.8 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_103_04	4.32 m ²	13.4 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_103_05	19.42 m ²	60.2 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_100	12.20 m ²	40.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6_100	12.20 m ²	40.0 m ³	1 - Piano Primo	IfcSpace	SPACE
6A_201_01	8.08 m ²	25.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_02	7.09 m ²	22.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_03	10.78 m ²	33.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_04	14.70 m ²	45.6 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_05	1.35 m ²	4.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_06	2.91 m ²	9.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_201_07	9.09 m ²	28.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_01	12.79 m ²	39.6 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_02	8.21 m ²	25.5 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_03	13.69 m ²	42.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_04	1.29 m ²	4.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_05	10.07 m ²	31.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_06	9.39 m ²	29.1 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_202_07	3.94 m ²	12.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_01	14.78 m ²	45.8 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_02	11.75 m ²	36.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_03	8.49 m ²	26.3 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_04	1.23 m ²	3.8 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_05	12.72 m ²	39.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_203_06	1.95 m ²	6.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_01	3.79 m ²	11.7 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_02	0.97 m ²	3.0 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_03	12.35 m ²	38.3 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_04	14.95 m ²	46.3 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_05	12.98 m ²	40.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_201_06	9.09 m ²	28.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_01	12.71 m ²	39.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_02	8.15 m ²	25.3 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_03	11.11 m ²	34.4 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_04	3.38 m ²	10.5 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_05	10.07 m ²	31.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_06	9.39 m ²	29.1 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_202_07	4.09 m ²	12.7 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_203_01	15.08 m ²	46.8 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE

6_203_02	11.44 m ²	35.5 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_203_03	0.90 m ²	2.8 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_203_04	4.41 m ²	13.7 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_203_05	19.09 m ²	59.2 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_200	12.35 m ²	40.5 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6_200	12.35 m ²	40.5 m ³	2 - Piano Secondo	IfcSpace	SPACE
6A_301_01	1.04 m ²	3.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_301_02	12.14 m ²	37.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_301_03	13.91 m ²	43.1 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_301_04	14.89 m ²	46.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_301_05	3.82 m ²	11.8 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_301_06	9.21 m ²	28.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_01	12.70 m ²	39.4 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_02	8.33 m ²	25.8 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_03	14.06 m ²	43.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_04	1.34 m ²	4.1 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_05	10.39 m ²	32.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_06	9.51 m ²	29.5 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_302_07	3.94 m ²	12.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_01	15.12 m ²	46.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_02	11.75 m ²	36.4 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_03	8.59 m ²	26.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_04	1.27 m ²	4.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_05	12.87 m ²	39.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_303_06	1.95 m ²	6.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_01	6.19 m ²	19.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_02	7.22 m ²	22.4 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_03	16.28 m ²	50.5 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_04	13.15 m ²	40.8 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_05	2.48 m ²	7.7 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_06	0.30 m ²	0.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_301_07	9.21 m ²	28.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_01	12.63 m ²	39.1 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_02	8.23 m ²	25.5 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_03	13.90 m ²	43.1 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_04	4.17 m ²	12.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_05	1.21 m ²	3.8 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_06	9.51 m ²	29.5 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_302_07	10.39 m ²	32.2 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_303_01	15.28 m ²	47.4 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_303_02	11.59 m ²	35.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_303_03	8.59 m ²	26.6 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_303_04	1.27 m ²	4.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_303_05	12.87 m ²	39.9 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE

6_303_06	1.95 m ²	6.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_300	12.50 m ²	41.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6_300	12.50 m ²	41.0 m ³	3 - Piano Terzo	IfcSpace	SPACE
6A_401_01	8.73 m ²	27.1 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_02	7.68 m ²	23.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_03	11.20 m ²	34.7 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_04	15.27 m ²	47.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_05	1.22 m ²	3.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_06	3.16 m ²	9.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_401_07	9.45 m ²	29.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_01	16.68 m ²	51.7 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_02	8.44 m ²	26.2 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_03	14.44 m ²	44.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_04	1.38 m ²	4.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_05	10.72 m ²	33.2 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_402_06	9.63 m ²	29.9 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_01	15.32 m ²	47.5 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_02	11.90 m ²	36.9 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_03	8.70 m ²	27.0 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_04	1.32 m ²	4.1 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_05	13.03 m ²	40.4 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_403_06	1.95 m ²	6.0 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_01	8.73 m ²	27.1 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_02	7.68 m ²	23.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_03	11.20 m ²	34.7 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_04	15.27 m ²	47.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_05	1.22 m ²	3.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_06	3.16 m ²	9.8 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_401_07	9.45 m ²	29.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_01	16.61 m ²	51.5 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_02	8.38 m ²	26.0 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_03	14.34 m ²	44.4 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_04	1.38 m ²	4.3 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_05	10.72 m ²	33.2 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_402_06	9.63 m ²	29.9 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_01	15.40 m ²	47.7 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_02	11.82 m ²	36.6 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_03	8.70 m ²	27.0 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_04	1.32 m ²	4.1 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_06	13.03 m ²	40.4 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_403_05	1.95 m ²	6.0 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_400	12.66 m ²	39.2 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6_400	12.66 m ²	39.2 m ³	4 - Piano Quarto	IfcSpace	SPACE
6A_500_	370.11 m ²	282.8 m ³	5 - Piano Copertura	IfcSpace	SPACE

6A_500	12.66 m ²	25.2 m ³	5 - Piano Copertura	IfcSpace	SPACE
6_500	12.66 m ²	25.2 m ³	5 - Piano Copertura	IfcSpace	SPACE

APPENDICE 2 – ABACO DEI VANI

Numero	Area	Volum e	Zona	Livello	Tipo di climatizzazione	IfcExpor tAs	IfcExport Type	IfcObjectTy pe
6_001_03	1.95 m ²	6.34 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_04	1.15 m ²	3.74 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_06	12.40 m ²	40.30 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_05	14.61 m ²	47.49 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_01	11.22 m ²	36.45 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_001_02	8.27 m ²	26.89 m ³	6_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_02	7.92 m ²	25.74 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_03	12.86 m ²	41.79 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_04	1.95 m ²	6.35 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_05	3.17 m ²	10.31 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_06	9.15 m ²	29.72 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_07	9.43 m ²	30.65 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_002_01	12.86 m ²	41.79 m ³	6_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_02	3.96 m ²	12.89 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_01	1.95 m ²	6.34 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_03	5.77 m ²	18.74 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_04	7.17 m ²	23.31 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_05	10.64 m ²	34.57 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_003_06	14.50 m ²	47.14 m ³	6_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_03	4.32 m ²	13.41 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_02	0.89 m ²	2.76 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_01	11.29 m ²	35.00 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_04	19.42 m ²	60.21 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_101_05	14.88 m ²	46.14 m ³	6_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_02	8.04 m ²	24.91 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_03	10.79 m ²	33.45 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_04	3.29 m ²	10.19 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_06	9.75 m ²	30.21 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato
6_102_05	9.27 m ²	28.73 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFINED	Climatizzato

6_102_0 1	17.00 m ²	52.56 m ³	6_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 1	8.97 m ²	27.81 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 2	5.77 m ²	17.88 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 3	7.17 m ²	22.24 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 4	10.64 m ²	32.97 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 5	14.50 m ²	44.96 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_103_0 6	6.16 m ²	19.09 m ³	6_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_201_0 1	11.44 m ²	35.47 m ³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_201_0 4	15.08 m ²	46.75 m ³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_201_0 5	19.64 m ²	60.89 m ³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_201_0 2	0.90 m ²	2.79 m ³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_201_0 3	4.41 m ²	13.66 m ³	6_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 6	9.39 m ²	29.10 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 7	10.07 m ²	31.21 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 5	3.38 m ²	10.47 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 2	8.15 m ²	25.27 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 3	11.11 m ²	34.44 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 1	12.71 m ²	39.41 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_202_0 4	4.09 m ²	12.67 m ³	6_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 1	9.09 m ²	28.18 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 4	0.97 m ²	3.00 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 5	12.35 m ²	38.30 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 2	3.79 m ²	11.75 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 3	14.95 m ²	46.34 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_203_0 6	12.98 m ²	40.23 m ³	6_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 1	11.59 m ²	35.93 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 2	8.59 m ²	26.63 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 3	1.95 m ²	6.05 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 4	1.27 m ²	3.95 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 6	12.87 m ²	39.91 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_301_0 5	15.28 m ²	47.36 m ³	6_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_302_0 6	9.51 m ²	29.48 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_302_0 2	8.23 m ²	25.51 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_302_0 3	13.90 m ²	43.08 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato

6_302_04	1.21 m ²	3.76 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_302_05	10.39 m ²	32.22 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_302_01	16.92 m ²	52.46 m ³	6_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_03	6.19 m ²	19.18 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_05	7.22 m ²	22.39 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_04	0.30 m ²	0.92 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_07	13.15 m ²	40.76 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_06	16.28 m ²	50.45 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_01	9.21 m ²	28.55 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_303_02	2.48 m ²	7.70 m ³	6_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_02	8.70 m ²	26.96 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_01	11.82 m ²	36.64 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_03	1.95 m ²	6.05 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_04	1.32 m ²	4.08 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_06	13.03 m ²	40.40 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_401_05	15.40 m ²	47.73 m ³	6_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_02	8.38 m ²	25.99 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_03	14.34 m ²	44.44 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_04	1.38 m ²	4.27 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_06	10.72 m ²	33.25 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_05	9.63 m ²	29.85 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_402_01	16.61 m ²	51.48 m ³	6_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_01	9.45 m ²	29.30 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_04	8.73 m ²	27.05 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_02	1.22 m ²	3.79 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_03	3.16 m ²	9.79 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_05	7.68 m ²	23.82 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_06	11.20 m ²	34.72 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6_403_07	15.27 m ²	47.35 m ³	6_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_001_01	7.26 m ²	23.60 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_001_02	6.87 m ²	22.32 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_001_05	3.63 m ²	11.79 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_001_04	1.22 m ²	3.96 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_001_03	10.64 m ²	34.57 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato

6A_001_06	14.50 m ²	47.14 m ³	6A_00_01	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_06	7.92 m ²	25.74 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_01	9.15 m ²	29.72 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_02	9.43 m ²	30.65 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_05	3.17 m ²	10.31 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_07	12.86 m ²	41.79 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_03	12.86 m ²	41.78 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_002_04	1.95 m ²	6.35 m ³	6A_00_02	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_01	14.69 m ²	47.73 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_03	11.14 m ²	36.21 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_04	1.95 m ²	6.34 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_05	1.15 m ²	3.74 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_06	8.27 m ²	26.89 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_003_02	12.40 m ²	40.31 m ³	6A_00_03	0 - Piano Terra	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_01	6.43 m ²	19.95 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_02	7.17 m ²	22.24 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_05	2.30 m ²	7.12 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_06	2.97 m ²	9.20 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_07	8.97 m ²	27.81 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_03	10.64 m ²	32.97 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_101_04	14.50 m ²	44.96 m ³	6A_10_01	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_06	8.10 m ²	25.10 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_01	9.27 m ²	28.73 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_02	9.75 m ²	30.21 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_05	1.25 m ²	3.88 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_04	13.32 m ²	41.29 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_102_03	16.93 m ²	52.49 m ³	6A_10_02	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_01	14.88 m ²	46.14 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_02	12.56 m ²	38.93 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_03	11.29 m ²	35.00 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_06	8.38 m ²	25.98 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_04	1.95 m ²	6.05 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_103_05	1.19 m ²	3.70 m ³	6A_10_03	1 - Piano Primo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_01	8.08 m ²	25.04 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato

6A_201_02	7.09 m ²	21.97 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_03	10.09 m ²	31.28 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_05	1.35 m ²	4.19 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_06	2.91 m ²	9.01 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_07	9.09 m ²	28.18 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_201_04	15.38 m ²	47.69 m ³	6A_20_01	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_06	8.21 m ²	25.46 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_07	13.69 m ²	42.44 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_04	3.94 m ²	12.21 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_01	9.39 m ²	29.10 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_02	10.07 m ²	31.21 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_05	1.29 m ²	4.01 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_202_03	12.79 m ²	39.64 m ³	6A_20_02	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_01	14.78 m ²	45.80 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_02	12.72 m ²	39.42 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_04	1.95 m ²	6.05 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_05	1.23 m ²	3.82 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_06	8.49 m ²	26.31 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_203_03	11.75 m ²	36.42 m ³	6A_20_03	2 - Piano Secondo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_06	3.82 m ²	11.83 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_01	1.04 m ²	3.23 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_02	12.14 m ²	37.63 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_03	13.91 m ²	43.13 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_05	9.21 m ²	28.55 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_301_04	14.89 m ²	46.16 m ³	6A_30_01	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_05	8.33 m ²	25.82 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_04	14.06 m ²	43.59 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_03	1.34 m ²	4.14 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_02	10.39 m ²	32.22 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_01	9.51 m ²	29.48 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_302_06	16.77 m ²	51.98 m ³	6A_30_02	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_303_01	15.12 m ²	46.88 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_303_02	12.87 m ²	39.91 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_303_03	11.75 m ²	36.41 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato

6A_303_04	1.95 m ²	6.05 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_303_05	1.27 m ²	3.95 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_303_06	8.59 m ²	26.63 m ³	6A_30_03	3 - Piano Terzo	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_01	8.73 m ²	27.05 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_02	7.68 m ²	23.82 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_03	11.20 m ²	34.72 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_05	1.22 m ²	3.79 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_07	9.45 m ²	29.30 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_06	3.16 m ²	9.79 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_401_04	15.27 m ²	47.35 m ³	6A_40_01	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_05	8.44 m ²	26.18 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_06	14.44 m ²	44.76 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_04	1.38 m ²	4.27 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_02	10.72 m ²	33.25 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_01	9.63 m ²	29.85 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_402_03	16.68 m ²	51.70 m ³	6A_40_02	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_01	15.32 m ²	47.49 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_02	13.03 m ²	40.40 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_06	8.70 m ²	26.96 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_03	11.90 m ²	36.88 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_04	1.95 m ²	6.05 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_403_05	1.32 m ²	4.08 m ³	6A_40_03	4 - Piano Quarto	Riscaldamento e raffreddamento	IfcSpace	USERDEFI NED	Climatizzato
6A_-100_01	328.77 m ²	723.30 m ³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_400	12.66 m ²	39.24 m ³	Non climatizzata	4 - Piano Quarto	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_300	12.50 m ²	38.77 m ³	Non climatizzata	3 - Piano Terzo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_400	12.66 m ²	39.24 m ³	Non climatizzata	4 - Piano Quarto	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_300	12.50 m ²	38.77 m ³	Non climatizzata	3 - Piano Terzo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_200	12.35 m ²	38.29 m ³	Non climatizzata	2 - Piano Secondo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_200	12.35 m ²	38.29 m ³	Non climatizzata	2 - Piano Secondo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_100	12.20 m ²	37.81 m ³	Non climatizzata	1 - Piano Primo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_100	12.20 m ²	37.81 m ³	Non climatizzata	1 - Piano Primo	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_-100_01	8.97 m ²	19.47 m ³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_-100_02	8.97 m ²	19.47 m ³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_-100	12.05 m ²	28.72 m ³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato

6_-100	12.05 m ²	28.72 m ³	Non climatizzata	-1 - Piano Seminterrato'	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_000_	8.97 m ²	29.15 m ³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_000_	8.97 m ²	29.15 m ³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_000	12.05 m ²	39.53 m ³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_000	12.05 m ²	40.24 m ³	Non climatizzata	0 - Piano Terra	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_500_	372.20 m ²	291.70 m ³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6_500	12.66 m ²	25.40 m ³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato
6A_500	12.66 m ²	25.40 m ³	Non climatizzata	5 - Piano Copertura	Senza climatizzazione	IfcSpace	USERDEFI NED	Non climatizzato

About gbXML, gbXML. Consultabile in:

https://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML.

ACCA Software, *IFC-Open BIM, l'importanza del formato aperto dei dati nella progettazione*, Ingenio, 30 Gennaio 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/25717-ifc-open-bim-limportanza-del-formato-aperto-dei-dati-nella-progettazione>.

ACCA Software, *TerMus Prestazioni Energetiche e Certificazione*. Consultabile in: <https://download.acca.it/Files/Scheda/TerMus.pdf>.

Accesso ai file specifici per il formato IFC, Autodesk. Consultabile in: <https://knowledge.autodesk.com/it/support/revit/downloads/caas/CloudHelp/cloudhelp/2021/ITA/Revit-DocumentPresent/files/GUID-4EED7335-DCC7-48AD-A8BD-8156CAB27A33-hm.html>.

AICARR, *Efficienza Energetica attraverso la Diagnosi e il Servizio Energia negli Edifici*, Linee Guida, pp.

Autodesk, *Green Building Studio*. Consultabile in: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>.

Bazjanac V., Kiviniemi A., *Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data*, Gennaio 2007.

Bazjanac V., *Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation*.

Bearzi V., *Impianti di riscaldamento- guida alla progettazione del sistema edificio-impianto*, Milano, Tecniche Nuove, 2012.

Borin P., Zanchetta C., *IFC Processi e modelli digitali openBIM per l'ambiente costruito*, Maggioli S.p.a., settembre 2020.

Bourg H., *Introduzione al formato IFC*, Graphisoft, 18 luglio 2019. Consultabile in: <https://blog.archicad.it/bim/tutto-quello-che-c%C3%A8-da-sapere-sul-formato-ifc-introduzione>.

Cammarata G., *Impianti termotecnici- Volume II- Impianti di Riscaldamento*, 21 agosto 2016.

Carradori M., *IFC- Industry Foundation Classes: un PDF per i modelli edilizi*, bis-lab. Consultabile in: <https://www.bis-lab.eu/2017/03/26/ifc-industry-foundation-classes-un-pdf-per-i-modelli-edilizi/>.

Castagna A., *Calcolo dinamico orario con la UNI EN ISO 52016-1*, Logical. Consultabile in: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/logicalsoft/PDF/ebook/Logical+Soft+->

+il+Calcolo+Dinamico+Orario+con+la+UNI+EN+ISO+52016.pdf.

Cengel Y. A., Dall'O' G., Sarto L., *Fisica Tecnica Ambientale*, New York, McGraw-Hill Education, 2017.

Comitato Termotecnico Italiano, *Breve storia del CTI*. Consultabile in: <https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=1>.

Comitato Termotecnico Italiano, *Regolamento per la verifica di strumenti di calcolo e software commerciali ai fini del rilascio della dichiarazione CTI*, 7 giugno 2016.

Comitato Termotecnico Italiano, *Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo*.

Consultabile in:

<https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62>.

CTI, *Le norme tecniche di riferimento per la stima delle prestazioni energetiche degli edifici*.

Consultabile in: <https://www.cti2000.eu/la-uni-ts-11300/>.

Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n.551 "Regolamento recante modifiche al decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n.412, in materia di progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici degli edifici, ai fini del contenimento dei consumi di energia".

Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412 "Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10".

Decreto Legge 19 maggio 2020, n.34 "Misure urgenti in materia di salute, sostegno al lavoro e all'economia, nonché di politiche sociali connesse all'emergenza epidemiologica da COVID-19".

Decreto Legislativo 10 giugno 2020, n.48 "Attuazione della 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".

Decreto Legislativo 14 luglio 2020, n.73 "Attuazione della Direttiva (UE) 2018/2002 che modifica la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica".

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n.192 "Attuazione della Direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Decreto legislativo 30 maggio 2008, n.115 "Attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della Direttiva 93/76/CEE".

Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 "Adeguamento del decreto del Ministro dello sviluppo economico, 26 giugno 2009 –Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici".

Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 "Applicazione delle metodologie di calcolo delle

prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”. Consultabile in: <https://www.nextville.it/normativa/2715/dm-sviluppo-economico-26-giugno-2015/>.

Decreto Ministeriale 26 giugno 2015 “Schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici”. Consultabile su: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2015/07/15/15A05199/sg>.

Denza A., Lauria M., *Certificazione energetica (APE)*, 18 marzo 2013. Consultabile in: <https://www.certificato-energetico.it/certificazione-energetica.html>.

Denza A., Lauria M., *Indice di prestazione energetica (APE)*, 12 ottobre 2014. Consultabile in: <https://www.certificato-energetico.it/articoli/prestazione-energetica.html>.

Denza A., *Simulazione dinamica energetica degli edifici*. Consultabile in: <https://www.enup.it/articoli/simulazione-dinamica.html>.

DesignBuilder, *DesignBuilder*. Consultabile in: <https://designbuilder.co.uk/software/product-overview>.

Di Giorgio D., *Introduzione alla Simulazione Energetica in Regime Dinamico degli Edifici Nzeb*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/05/05/simulazione-energetica-dinamica-edifici-nzeb.html>.

Di Giorgio D., *Simulazione Energetica Dinamica: 16 motivi per cui devi assolutamente utilizzarla*. Consultabile in: <https://www.mygreenbuildings.org/2015/06/09/simulazione-energetica-dinamica-16-motivi-per-utilizzarla.html>.

di Perna C., Summa S., Tarabelli L., *Il nuovo metodo dinamico orario della UNI EN ISO 52016-1*. Consultabile in: <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=uni-en-iso-52016-1-perna-cil-180.pdf>.

Direttiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 11 dicembre 2018.

Direttiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo e del Consiglio, 30 maggio 2018.

Direttiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 19 maggio 2010.

Direttiva n. 2009/29/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, 23 aprile 2009.

Dong B., Lam K. P., Huang Y. C., *A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments*, 2007.

Edilcima, *La storia- la nascita e l'evoluzione raccontata dal presidente Franco Soma*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/la-storia/>.

Edilclima, *EC700- Calcolo prestazioni energetiche degli edifici*.

Edilclima, *EC770- Integrated technical Design for Revit*. Consultabile in:

<https://www.edilclima.it/software-termotecnica/prog-edile/scheda/770>.

Edilclima, *Profilo*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/azienda/chi-siamo/profilo/>.

Edilclima, *Prog. Termotecnica Energetica*. Consultabile in: <https://www.edilclima.it/>.

Edilclimasoftware, *EC700 v10- calcolo prestazioni energetiche degli edifici*. Consultabile in: <https://www.youtube.com/watch?v=3hEso9aGLvU>.

EdilTecnico, *Metodi di calcolo per la prestazione energetica: in vigore le norme*, 27 febbraio 2018. Consultabile in: <https://www.ediltecnico.it/61393/metodicalcolo-prestazione-energetica-norme/>.

Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, *Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions*, 15 Novembre 2018.

Elagiry M., Charbel N., Bourreau P., Di Angelis E., Costa A., *IFC to building energy performance simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches*, Settembre 2020.

EnergyPlus, *EnergyPlus*. Consultabile in: <https://energyplus.net/>.

ExpoClima, *Prestazione energetica degli edifici: in vigore le nuove UNI EN 15316 per le modalità di calcolo*, 27 febbraio 2018. Consultabile in: <https://www.expoclima.net/prestazione-energetica-degli-edifici-in-vigore-le-nuove-uni-en-15316-per-le-modalit%C3%A0-di-calcolo>.

Gallotta A., *Simulazioni energetiche: stazionarie, semi-stazionarie, dinamiche*, 20 giugno 2015. Consultabile in: <https://www.architetturaecosostenibile.it/green-life/curiosita-ecosostenibili/simulazioni-energetiche-stazionarie-dinamiche-403>.

Gazulli D., Lauro G., Ranauro V., *BIM e Interoperabilità: lo scambio dei dati attraverso il formato IFC per la progettazione strutturale*, *Ingenio*, 4 Novembre 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/27663-bim-e-interoperabilita-lo-scambio-dei-dati-attraverso-il-formato-ifc-per-la-progettazione-strutturale>.

Guida per il calcolo dell'impianto di riscaldamento della casa, 5 novembre 2018. Consultabile in: https://www.pgcasa.it/articoli/riscaldamento/guida-per-il-calcolo-dellimpianto-di-riscaldamento-della-casa__11793.

Hitchcock R. J., Wong J., *Transforming IFC Architectural view BIMs for energy simulation*, 16 Novembre 2011.

IFC Formats, BuildingSMART. Consultabile in: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-formats/>.

IfcBuildingElement, BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/ifcbuildingelement.htm.

IfcPropertyDefinition, BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifckernel/lexic

al/ifcpropertydefinition.htm.

Industry Foundation Classes (IFC)- An Introduction, BuildingSMART. Consultabile in: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>.

Industry Foundation Classes IFC4 Official Release, BuildingSMART. Consultabile in: <https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/>.

Ivanova I., Kiesel K, Mahdavi A., *BIMgenerated data models for EnergyPlus- A comparison of gbXML and IFC Formates*, 4-6 febbraio 2015.

L'impianto di riscaldamento: una panoramica sui componenti e sul loro funzionamento, 19 giugno 2020. Consultabile in: <https://www.ectmingegneria.it/2020/06/19/come-e-fatto-impianto-di-riscaldamento-funzioni-tipologie/>.

Laurent S., *Il nuovo metodo orario dinamico per il calcolo dei fabbisogni dell'edificio nel nuovo pacchetto EPDB*, Ingenio, 14 novembre 2019. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/23568-il-nuovo-metodo-orario-dinamico-per-il-calcolo-dei-fabbisogni-delledificio-nel-nuovo-pacchetto-epbd>.

Legge 3 agosto 2013, n. 90. "Conversione, con modificazioni, del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 maggio 2010, sulla prestazione energetica nell'edilizia per la definizione delle procedure d'infrazione avviate dalla Commissione europea, nonché altre disposizioni in materia di coesione sociale".

Legge 30 marzo 1976, n.373 "Norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici".

Legge 9 gennaio 1991, n. 10 "Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia".

Magrini A., *La progettazione degli impianti di climatizzazione degli edifici*, Roma, EPC LIBRI, 2004.

Manuale dello standard IFC per Revit, Autodesk, 2018. Consultabile in: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/emea/docs/impl-180213-ifc-handbuch-it.pdf>.

Manuale Ideal riscaldamento, Milano, Ideal-Standard S.p.a., 1963.

Mastino C. C., Da Pos V., *BIM e diagnosi energetica dei sistemi impiantistici in edifici esistenti*, 12 febbraio 2020. Consultabile in: <https://www.ingenio-web.it/24492-bim-e-diagnosi-energetica-dei-sistemi-impiantistici-in-edifici-esistenti>.

Mastino C.C., Baccoli R., Frattolillo A., Marini M., Di Bella A., Da Pos V., *The Building Information Model and the IFC standard: analysis of the characteristics necessary for the acoustic and energy simulation of buildings*, 2017.

- MC4Software, *Mc4Suite*. Consultabile in: <https://www.mc4software.com/moduli-mc4suite/>.
- Moretti E., *Classificazione degli impianti: gli impianti di riscaldamento*.
- Nissim L., *IFC: cos'è? E come è fatto?*, 30 dicembre 2015. Consultabile in: <https://www.ibimi.it/ifc-cose-e-come-e-fatto/>.
- OpenStudio, *OpenStudio*. Consultabile in: <https://openstudio.net/>.
- Paparella R., Zanchetta C., *BIM & digitalizzazione del patrimonio immobiliare*, Società Editrice Esculapio s.r.l., 2019.
- Pifferi E., *Certificazione energetica VS diagnosi energetica*, 25 marzo 2015. Consultabile in: <https://www.certificazione-energetica-bologna.it/certificazione-energetica-vs-diagnosi-energetica/>.
- Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *Model View Definition For advanced building energy performance simulation*, Settembre 2016.
- Pinheiro S., Wimmer R., O'Donnell J., Muhic S., Bazjanac V., Maile T., Frisch J., van Treeck C., *MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation*, 2018.
- Soma D., *La diagnosi energetica con il software Edilclima: i punti di forza ed il valore aggiunto*. Consultabile in <https://webapi.ingenio-web.it/immagini/file/byname?name=EDILCLIMA%20DIAGNOSI%20ENERGETICHE.pdf>.
- Taidelli Palmizi A., *L'impianto di riscaldamento nella casa sana*, Monfalcone, EdicomEdizioni, 2005.
- Tripodi P., *Cosa si intende per indice di prestazione energetica*. Consultabile in: <https://www.studiocardilloetripodi.it/home/energia/attestato-prestazione-energetica-ape-certificazioni-energetiche-edifici-residenziali-commerciali-industriali/attestato-prestazione-energetica-ape-firenze/indice-di-prestazione-energetica>.
- UNI, *Diagnosi energetiche: pubblicate in lingua italiana le prime quattro parti della UNI CEI EN 16247*, 25 agosto 2015. Consultabile in: https://www.uni.com/index.php?option=com_content&view=article&id=4155%3Adiagnosi-energetiche-pubblicate-in-lingua-italiana-le-prime-quattro-parti-della-uni-cei-en-16247&catid=170&Itemid=2612.
- UNI, *EN ISO 52016-1:2017*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/en-iso-52016-1-2017/>.
- UNI, *UNI 10412-1:2006*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10412-1-2006>.
- UNI, *UNI 10412-2:2009*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-10412-2-2009>.
- UNI, *UNI EN 12831-1:2018*. Consultabile in: <http://store.uni.com/catalogo/uni-en-12831-1-2018>.

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1.1: Applicativi certificati secondo il Comitato Termotecnico Italiano (Comitato Termotecnico Italiano, <i>Validazione software: verifica degli strumenti di calcolo</i> . Consultabile in: https://www.cti2000.it/index.php?controller=sezioni&action=show&subid=62.).....	32
Tabella 2.1: Scala di comfort degli impianti ad acqua a seconda del tipo di trasmissione e delle temperature	44
Tabella 2.2: Rendimento di emissione di un corpo scaldante.....	45
Tabella 3.1: Dati input e output software energetici	60
Tabella 4.1: Estensione, testo e dimensione dei formati IFC	69
Tabella 4.2: Confronto caratteristiche gbXML e IFC (Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, <i>Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions</i> , 15 Novembre 2018.)	84
Tabella 4.3: Formati di import ed export Revit ed Edilclima	85
Tabella 4.4: IFC type classification for space boundary levels (Bazjanac V., <i>Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation.</i>)	91
Tabella 5.1: Tipologie costruttive e serramenti 1900-2005	98
Tabella 5.2: Stratigrafie elementi costruttivi.....	102
Tabella 5.3: Tipi di muro presenti nel modello RVT	105
Tabella 5.4: Tipi di pavimentazioni presenti nel modello RVT	106
Tabella 5.5: Elementi presenti negli impianti modellati.....	115
Tabella 5.6: Parametri IFC file architettonico.....	121
Tabella 5.7: Parametri IFC file impiantistico.....	122
Tabella 5.8: Tabelle Classificazione OmniClass	123
Tabella 5.9: Classificazione OmniClass modello architettonico	124
Tabella 5.10: Classificazione OmniClass modello impiantistico	125
Tabella 5.11: Confronto risultati APE con serramenti e impianti vecchi e nuovi	140
Tabella 5.12: Confronto risultati diagnosi	141

Tabella 5.13: Corrispondenza tipologia tra Revit ed Ec700 utilizzando il plug-in	142
Tabella 5.14: Confronto tra software	149
Tabella 6.1: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Sistema	151
Tabella 6.2: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Generatore	152
Tabella 6.3: Proprietà Revit utilizzabili come dati di input Edilclima-Terminali di emissione	152

INDICE ICONOGRAFICO

Figura 1.1: Rappresentazione schematica delle diverse tipologie di analisi. Da sinistra: stazionario-semi stazionario-dinamico.	6
Figura 1.2: Scala di classificazione degli edifici su base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile $EP_{gl,nren}$	12
Figura 2.1: Schema impianto a pioggia	39
Figura 2.2 Schema impianto a sorgente.....	39
Figura 2.3: Schema impianto a sifone	40
Figura 2.4: Schema di impianto complanare monotubo con terminali in serie	40
Figura 2.5: Schema di impianto a due tubi e ritorno semplice	41
Figura 2.6: Schema di impianto a collettori complanari	41
Figura 2.7: Diagramma portata-perdita di carico per tubazioni in acciaio a), in rame b).	49
Figura 3.1: Logo Edilclima	54
Figura 4.1: Il logo di IFC.....	67
Figura 4.2: Versioni del formato (BuildingSMART, <i>MVD Database</i> . Consultabile in: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/).	71
Figura 4.3: Dati generali dell'HEADER del formato testuale	74
Figura 4.4: Dati generali dell'HEADER del visualizzatore IFC (Open IFC Viewer).....	74
Figura 4.5: Dati presenti all'interno di un file testuale DATA.....	75
Figura 4.6: Organizzazione delle classi di IFC	77
Figura 4.7: Definizione ereditate da <i>supertype</i> (BuildingSMART. Consultabile in: https://standards.buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifckernel/lexical/ifcobject.htm .)	78
Figura 4.8: Definizioni ereditate da <i>supertype</i> di <i>IfcBuildingElement</i> (BuildingSMART)	79
Figura 4.9: Esempio di <i>EnumType</i> associabili ad <i>IfcRoof</i> (BuildingSMART)	79
Figura 4.10: Determinazione di <i>ShellGeometry</i> , <i>SpaceBoundary</i> e <i>Surface</i>	81
Figura 4.11: Parziale rappresentazione di un file gbXML contenente informazioni per	

l'analisi energetica (Ehsan Kamel, Ali M. Memarib, *Review of BIM's application in energy simulation tools, issues and solutions*, 15 Novembre 2018.)..... 83

Figura 4.12: Processo per la trasformazione di un modello BIM in un modello per la simulazione energetica (Elagiry M., Charbel N., Bourreau P., Di Angelis E., Costa A., *IFC to building energy performance simulation: a systematic review of the main adopted tools and approaches*, Settembre 2020.)..... 87

Figura 4.13: 2° level space boundary tipo A e tipo B (Bazjanac V., *Space Boundary requirements for modeling of building geometry for energy and other performance simulation.*) 90

Figura 5.1: Vista 3D Via Maria Santissima Ausiliatrice 6/6 A, Genova (Google Maps).. 93

Figura 5.2: Viste prospettive: a) esterno lato Ovest, b) cortile lato 94

Figura 5.3: Dettaglio interno sottotetto 94

Figura 5.4: Disposizione appartamenti e vani scala Piano Primo 95

Figura 5.5: Workset di progetto 96

Figura 5.6: Inserimento planimetrie catastali e piante CAD su Revit..... 97

Figura 5.7: Modello BIM completo di contesto 98

Figura 5.8: Famiglia parametrica componenti finestrati 99

Figura 5.9: Semplificazione copertura 100

Figura 5.10: Modello semplificato per l'esportazione IFC 100

Figura 5.11: Inserimento posizionamento edificio in Revit 101

Figura 5.12: Inserimento posizionamento Edilclima 101

Figura 5.13: Proprietà termiche assegnate al materiale "ardesia" 102

Figura 5.14: Associazione materiali IFC-Edilclima..... 104

Figura 5.15: File di associazione materiali Revit-Edilclima..... 104

Figura 5.16: Maschera "Componenti involucro" 107

Figura 5.17: Esempio denominazione Locale 108

Figura 5.18: Importazione in EC700 locali, zona..... 109

Figura 5.19: Importazione in EC700 locali, tipologia di climatizzazione 110

Figura 5.20: Proprietà vano climatizzato 111

Figura 5.21: Proprietà vano non climatizzato 112

Figura 5.22: Divisione in zone del modello 113

Figura 5.23: Importazione zone in EC700	114
Figura 5.24: Impianti Piano Terra modellati in Revit	116
Figura 5.25: Collegamento impianto a file architettonico	117
Figura 5.26: Importazione in Edilclima di un file impiantistico con collegato un file architettonico	117
Figura 5.27: Creazione parametro "EC PT infisso"	119
Figura 5.28: Inserimento file per parametri condivisi	120
Figura 5.29: Proprietà dei parametri IFC.....	121
Figura 5.30: Classificazione strutture opache e componenti finestrati tramite parametri IFC	123
Figura 5.31: Parametri di progetto relativi alla classificazione Omniclass	124
Figura 5.32: IFC2x3 Coordination View 2.0, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)	126
Figura 5.33: 3D generato dalla maschera "Input grafico" di EC700, MVD: IFC2x3 Coordination View 2.0	127
Figura 5.34: IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010, visualizzazione file nel viewer (BIMvision).....	128
Figura 5.35: 3D generato dalla maschera "Input grafico" di EC700, MVD: IFC2x3 GSA Concept Design BIM 2010.....	129
Figura 5.36: IFC4 Reference View, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)	129
Figura 5.37: Errore importazione modello con IFC4 Reference View	130
Figura 5.38: IFC4 Design Transfer View, visualizzazione file nel viewer (BIMvision)....	130
Figura 5.39: 3D generato dalla maschera "Input grafico" di EC700, MVD: IFC4 Design Transfer View	131
Figura 5.40: Maschera "Componenti involucro", esempio di porta finestrata	133
Figura 5.41: Tipologie ponti termici previsti da EC709	134
Figura 5.42: Schema calcolo ponte termico nodo muro-solaio	135
Figura 5.43: Schema calcolo ponte termico nodo parete-solaio interpiano.....	135
Figura 5.44: Maschera "Input grafico", dettaglio muro con ponti termici associati e ombreggiamenti calcolati	136
Figura 5.45: Maschera "Zone/Locali climatizzati", verifica ponti termici.....	137
Figura 5.46: Scheda sottosistemi che identifica il terminale di erogazione e il tipo di	

sistema ipotizzato.....	138
Figura 5.47: Scheda temperatura media acqua per impianto autonomo	138
Figura 5.48: Scheda generatori sistema scadente	139
Figura 5.49: Attestato energetico e classe dell’edificio analizzato	140
Figura 5.50: Modulo aggiuntivo EC770 in Revit.....	141
Figura 5.51: Esempio parametri ponti termici e ombreggiamenti assegnati ad un muro	142
Figura 5.52: Associazione materiali EC770	143
Figura 5.53: Comparazione file XML di associazione materiali, IFC e Plug-in	144
Figura 5.54: Ponti termici esportati attraverso plug-in EC770	145
Figura 5.55: Calcolo manuale degli ombreggiamenti nella scheda dedicata.....	146
Figura 5.56: Maschera “Input grafico” con EC770	146
Figura 5.57: Inserimento ponti termici TerMus.....	148

