



Ricerca di Sistema elettrico

# Stato dell'arte e proposte per la piena interoperabilità nella progettazione e gestione dell'uso energetico di edifici ZEB in prospettiva Open BIM

P. Borin, E. Casagrande, C. Cecchini, M. Scarpa, C. Vianello

I  
-  
U  
-  
A  
-  
V

## STATO DELL'ARTE E PROPOSTE PER LA PIENA INTEROPERABILITÀ NELLA PROGETTAZIONE E GESTIONE DELL'USO ENERGETICO DI EDIFICI ZEB IN PROSPETTIVA OPEN BIM

P. Borin (Università degli Studi di Padova), E. Casagrande (Università Iuav di Venezia), C. Cecchini (Università degli Studi di Pavia), M. Scarpa (Università Iuav di Venezia), C. Vianello (Università Iuav di Venezia)

Con il contributo di: G. D'Acunto, L. Fregolent, L. Gabrielli

Aprile 2021

### Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico (oggi Ministero della Transizione Ecologica) - ENEA  
Piano Triennale di Realizzazione 2019-2021 - II annualità

Obiettivo: *N. 1 - Tecnologie*

Progetto: *1.5 - Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti*

Work package: *1 - Edifici ad alta efficienza energetica*

Linea di attività: *LA1.21 - Strumenti e metodi di progettazione integrata (BIM) verso ZEB in grado di evidenziare la fattibilità tecnico-economica delle tecnologie impiegate – I*

Responsabile del Progetto: Giovanni Puglisi, ENEA

Responsabile del Work package: Domenico Iatauro, ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione *“Strumenti e metodi per la progettazione integrata (modelli BIM) verso standard Zero Energy Buildings in grado di evidenziare la fattibilità tecnico-economica delle tecnologie impiegate”*

Responsabile scientifico ENEA: Ing. Giulia Centi

Responsabile scientifico Università Iuav di Venezia: Prof. Massimiliano Scarpa

Si ringraziano per la collaborazione i seguenti allievi del Corso Master (di II livello) in BIM + BIM Management di progetto (referente Arch. Elvio Casagrande), presso l'Università Iuav di Venezia: Maria Capuozzo, Francesco Coser, Enrico Lachina.

# Indice

INDICE DELLE FIGURE.....	7
INDICE DELLE TABELLE.....	9
SOMMARIO.....	10
1 INTRODUZIONE.....	11
2 IL CONTESTO APPLICATIVO: BUILDING INFORMATION MODELING (BIM) E ZERO ENERGY BUILDINGS.....	13
2.1 PREMESSA.....	13
2.2 IL BIM.....	13
2.3 GLI STANDARD BIM APERTI IN AMBITO ENERGETICO (OPEN BIM).....	14
2.4 GLI ZEB (ZERO ENERGY BUILDING).....	15
2.5 GLI ZEB E IL CONTESTO LEGISLATIVO ENERGETICO: GLI NZEB.....	16
2.6 ESEMPI DI APPLICAZIONI D'USO.....	17
2.7 PERCHÉ PROGETTAZIONE E ANALISI ENERGETICA VENGONO RIPORTATE ALLA SIMULAZIONE ENERGETICA?.....	19
2.8 I FABBISOGNI DEI PROGETTISTI NELLA PROGETTAZIONE INTEGRATA DI ZEB.....	19
3 GLI STANDARD OPEN BIM NELLA PROGETTAZIONE ENERGETICA.....	21
3.1 PREMESSA.....	21
3.2 IL FORMATO IFC (INDUSTRY FOUNDATION CLASSES).....	21
3.2.1 <i>Descrizione generale</i> .....	21
3.2.2 <i>L'IDM (Information Delivery Manual)</i> .....	31
3.2.3 <i>La MVD (Model View Definition)</i> .....	32
3.3 LO STANDARD GBXML (GREEN BUILDING EXTENSIBLE MARKUP LANGUAGE).....	33
3.3.1 <i>Cenni storici</i> .....	33
3.3.2 <i>Aspetti tecnici</i> .....	33
3.4 ASSUNZIONE DELLO STANDARD IFC QUALE BASE PER L'INTEGRAZIONE DEGLI ASPETTI ENERGETICI.....	38
3.5 NORMATIVA DI RIFERIMENTO IN AMBITO BIM.....	38
4 STRUMENTI PER LA PROGETTAZIONE ENERGETICA DI ZEB.....	43
4.1 PREMESSA.....	43
4.2 STRUMENTI DI VALUTAZIONE ENERGETICA DEL SISTEMA EDIFICIO-IMPIANTO.....	43
4.2.1 <i>Strumenti di certificazione energetica</i> .....	44
4.2.2 <i>Motori di simulazione termo-energetica dinamica</i> .....	44
4.2.3 <i>Strumenti di valutazione energetica</i> .....	47
4.3 STRUMENTI DI OTTIMIZZAZIONE.....	47
4.4 DATABASE.....	48
4.4.1 <i>Database di componenti d'involucro</i> .....	49
4.4.2 <i>Database di componenti impiantistici</i> .....	49
4.4.3 <i>Database di modalità d'uso degli edifici</i> .....	49
4.4.4 <i>Database di costi di costruzione</i> .....	49
5 PROGETTI INTERNAZIONALI E SOFTWARE SVILUPPATI O IN CORSO.....	51
5.1 PREMESSA.....	51
5.2 SVILUPPO DI CONVERTITORI BIM→IDF.....	51
5.2.1 <i>IFCtoIDF</i> .....	53
5.2.2 <i>IFC HVAC interface</i> .....	53
5.2.3 <i>SBT-1</i> .....	53
5.2.4 <i>IFC-based IDF Converter</i> .....	53
5.2.5 <i>Simergy</i> .....	54
5.2.6 <i>OpenStudio</i> .....	54
5.2.7 <i>DesignBuilder</i> .....	56

5.2.8	<i>Sefaira</i> .....	56
5.3	METODOLOGIA IDM/MVD.....	57
5.3.1	<i>(AECOO-1) Testbed</i> .....	57
5.3.2	<i>IfcDoc (mvdXML)</i> .....	58
5.3.3	<i>IEA EBC Annex 60</i> .....	58
5.3.4	<i>IBPSA PROJECT 1</i> .....	58
5.3.5	<i>XPPM, SEM e GMSD</i> .....	59
5.3.6	<i>Applicazione di Query languages</i> .....	59
5.3.7	<i>MVDLite</i> .....	60
5.3.8	<i>Nordic Energy Analysis (NOW-001)</i> .....	60
5.3.9	<i>Architectural Design to Building Energy Analysis (GSA-003)</i> .....	60
5.3.10	<i>HVAC information exchange (HVACie)</i> .....	61
5.3.11	<i>Energy Analysis View</i> .....	61
5.4	PROGETTI EUROPEI.....	62
5.4.1	<i>HESMOS (ICT Platform for Holistic Energy Efficiency Simulation and Lifecycle Management of Public Use Facilities)</i> .....	62
5.4.2	<i>BERTIM (Building Energy Renovation through Timber prefabricated Modules)</i> .....	63
5.4.3	<i>BIM4EEB (BIM based toolkit for Efficient rEnovation in Buildings)</i> .....	63
5.4.4	<i>eeEmbedded (Collaborative Holistic Design Laboratory and Methodology for Energy-Efficient Embedded Buildings)</i> .....	63
5.4.5	<i>SWIMing (Semantic Web for Information Management in Energy Efficient Buildings)</i> .....	64
5.5	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE.....	66
6	CONVERSIONE BIM↔BEM.....	67
6.1	PREMESSA.....	67
6.2	ENTITÀ DI SUPPORTO.....	67
6.2.1	<i>Comunicazioni</i> .....	68
6.2.2	<i>Documenti</i> .....	69
6.2.3	<i>Serie temporali di dati</i> .....	69
6.3	IL CICLO DI VITA DELL'EDIFICIO: ASPETTI IMPIANTISTICI, ENERGETICI E DI QUALITÀ DELL'AMBIENTE INTERNO.....	70
6.3.1	<i>Premessa</i> .....	70
6.3.2	<i>Progettazione/analisi energetica</i> .....	71
6.3.3	<i>Fase di gestione</i> .....	78
6.4	PARAMETRI DI SCAMBIO.....	81
7	IFC E PROGETTAZIONE ENERGETICA NELLA REALTÀ: ESEMPIO DI APPLICAZIONE A UN CASO STUDIO.....	109
7.1	PREMESSA.....	109
7.2	DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO.....	109
7.2.1	<i>Presentazione del sito di costruzione</i> .....	109
7.2.2	<i>Descrizione generale dell'edificio</i> .....	109
7.2.3	<i>Involucro edilizio</i> .....	111
7.2.4	<i>Profili di conduzione e occupazione</i> .....	113
7.3	VERIFICA DEL LIVELLO D'INTEROPERABILITÀ ATTUALMENTE DISPONIBILE.....	114
7.4	DISCUSSIONE IN MERITO ALL'APPLICAZIONE AL CASO STUDIO.....	118
8	LINEE GUIDA PER L'INTEGRAZIONE DI PIATTAFORME BIM.....	119
8.1	PREMESSA.....	119
8.2	CRITICITÀ DI SISTEMA E SOLUZIONI NELL'INTEROPERABILITÀ PER LA PROGETTAZIONE ENERGETICA DI ZEB.....	119
8.2.1	<i>Procedura avanzata di studio di fattibilità BEM</i> .....	119
8.2.2	<i>Procedura di progettazione dettagliata BEM</i> .....	120
8.2.3	<i>Verifica della strategia di regolazione degli impianti</i> .....	120
8.2.4	<i>Sviluppo di database</i> .....	121
8.3	CRITICITÀ OPERATIVE E SOLUZIONI NELL'INTEROPERABILITÀ PER LA PROGETTAZIONE ENERGETICA DI ZEB.....	121
8.3.1	<i>Revisione dei property set</i> .....	121
8.3.2	<i>Esportazione di property set personalizzati</i> .....	122
8.3.3	<i>Intersezioni geometriche</i> .....	122
8.3.4	<i>Superfici speciali</i> .....	122

8.3.5	<i>Space Boundary</i> .....	122
8.3.6	<i>Controsoffitti</i> .....	125
8.3.7	<i>Zonizzazione trans-piano</i> .....	126
8.3.8	<i>Costruzioni</i> .....	126
8.3.9	<i>Descrizione dettagliata delle stratigrafie vetrate</i> .....	126
8.3.10	<i>Ponti termici</i> .....	126
8.3.11	<i>Carichi di acqua calda sanitaria</i> .....	127
9	CONCLUSIONI.....	129
10	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	131
11	ABBREVIAZIONI ED ACRONIMI.....	135
	GRUPPO DI LAVORO .....	137
	PAOLO BORIN .....	137
	ELVIO CASAGRANDE.....	137
	CRISTINA CECCHINI .....	137
	MASSIMILIANO SCARPA .....	137
	CLAUDIO VIANELLO .....	138



## Indice delle figure

Figura 1. Come illustrato in [1], nel riquadro blu, il modello, nella prima iterazione, è creato attraverso le fasi A e B e consegnato nella fase C All'interno del ciclo informativo, all'atto di un ulteriore utilizzo, il modello della fase C diventa sorgente di informazioni per una nuova fase operativa di intervento.....	14
Figura 2. Schema di funzionamento di un formato di dati standard rispetto all'uso di ambienti di modellazione proprietari [9]. .....	22
Figura 3. Standard offerti da buildingSmart International [10]. .....	22
Figura 4. Esempio di visualizzazione di un modello gbXML all'interno del tool Ladybug [23]. .....	33
Figura 5. Schema sintetico degli approcci pregressi per la trasmissione di modelli IFC al motore di calcolo EnergyPlus. ....	52
Figura 6. Interfaccia grafica di SBT-1. In alto il campo per l'importazione dei file IFC e in basso il risultato dell'analisi sulle delimitazioni degli spazi. ....	55
Figura 7. Interfaccia grafica dell'applicativo IDF Converter [38]. ....	55
Figura 8. Schermate esplicative delle funzionalità di Simergy, dalla modellazione di organismi edilizi alla visualizzazione dei risultati dettagliati [39]. ....	55
Figura 9. Schermate esplicative delle funzionalità di OpenStudio, dalla caratterizzazione del modello in SketchUp alla visualizzazione di schede sintetiche sui risultati [40]. ....	55
Figura 10. Schermate esplicative delle funzionalità di DesignBuilder, dalla modellazione tridimensionale alla consultazione dei risultati delle analisi [41]. ....	56
Figura 11. Schermate esplicative delle funzionalità di Sefaira, dalla caratterizzazione dei modelli in Autodesk Revit alla consultazione dei risultati sintetici nel plug-in [42]. ....	56
Figura 12. Illustrazioni tratte da [53]: a) Exchange Requirements definiti nei principali MVD legati alla modellizzazione energetica, confrontati con quelli considerati dal progetto IEA EBC Annex 60; b) Mappa di processo per lo scambio d'informazioni tra BIM e BEM; c) Schema per la definizione di un'entità Heatpump, mediante IfcUnitaryEquipment. ....	61
Figura 13. Rappresentazione del coordinamento tra i progetti IEA EBC Annex60 e IBPSA Project 1 [55]. ....	62
Figura 14. Immagine esemplificativa del progetto HESMOS [56]. ....	64
Figura 15. Esempio di archivio BCFzip contenente le rispettive cartelle, ognuna avente un GUID specifico [63]. ....	69
Figura 16. Struttura dati per l'assegnazione dei parametri di colore da associare a un materiale (Fonte: buildingSMART). ....	76
Figura 17. Rappresentazione esemplificativa dell'edificio (Fonte: Master di II livello "BIM+BIM Management di Progetto", Università Luav di Venezia): a) e b) forniscono una visione prospettica generale; c) espone una vista in pianta del piano tipo; d) presenta una vista in trasparenza dei principali elementi interni; e), f) e g) illustrano i prospetti principali; h) presenta una sezione dell'edificio. ....	110
Figura 18. Collocazione dei componenti opachi e trasparenti costituenti l'edificio (in spaccato assonometrico dall'alto verso il basso, per il piano terra (a), e dal basso verso l'alto, per il primo piano (b)): in violetto la controsoffittatura, in giallo la copertura, in verde le pareti esterne, in azzurro le pareti interne e in bianco la parete virtuale. ....	112
Figura 19. Space boundary di Primo e Secondo livello (Tipo A e Tipo B) [77]. ....	124
Figura 20. Procedura d'identificazione di tipo e funzione delle superfici, conformemente al progetto europeo BERTIM [58]. ....	125
Figura 21. Tipica localizzazione dei ponti termici sull'involucro dell'edificio (Fonte: www.masterclima.info). ....	127



## Indice delle tabelle

Tabella 1. Esempi di formati aperti sviluppati per diversi contesti applicativi.....	14
Tabella 2. Elenco delle voci Types di IFC (TypeEnum, Select), Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico. ....	24
Tabella 3. Elenco delle voci Classes di IFC, Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico.....	25
Tabella 4. Elenco delle voci Property Sets di IFC, Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico. ....	27
Tabella 5. Elenco delle voci Quantity Sets di IFC, Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico. ....	31
Tabella 6. Elenco alfabetico delle voci elemento di gbXML, Versione 6.01 [24]. ....	34
Tabella 7. Elenco alfabetico delle voci tipo di gbXML, Versione 6.01 [25]. ....	36
Tabella 8. Elenco dei principali software che utilizzano gbXML in esportazione e/o importazione [26]. ....	37
Tabella 9. Principali norme coinvolte nell'ambito della progettazione BIM. ....	39
Tabella 10. Motori di simulazione energetica dinamica. ....	45
Tabella 11. Sintesi sinottica dei principali progetti/tool di conversione IFC→IDF.....	52
Tabella 12. Sintesi sinottica dei principali progetti/tool per la creazione di MVD per l'analisi energetica. ...	57
Tabella 13. Principali coordinate del Progetto HESMOS [57]. ....	65
Tabella 14. Principali coordinate del Progetto BERTIM [58]. ....	65
Tabella 15. Principali coordinate del Progetto BIM4EEB [59] ....	65
Tabella 16. Principali coordinate del Progetto eeEmbedded [60]. ....	66
Tabella 17. Principali coordinate del Progetto SWIMing [61]. ....	66
Tabella 18. Parametri di definizione della singola richiesta d'azione. ....	85
Tabella 19. Parametri di definizione di caratteristiche e posizione del singolo documento.....	85
Tabella 20. Parametri di definizione della singola serie temporale.....	86
Tabella 21. Parametri di definizione del sito di costruzione – Informazioni generali.....	87
Tabella 22. Parametri di definizione del sito di costruzione – Meteo – Condizioni di progetto. ....	88
Tabella 23. Parametri di definizione della singola costruzione per superfici opache.....	89
Tabella 24. Parametri semplificati di definizione della singola costruzione per superfici trasparenti. ....	90
Tabella 25. Parametri dettagliati di definizione della singola costruzione per superfici trasparenti. ....	91
Tabella 26. Parametri di definizione della singola finitura superficiale per materiale opaco.....	92
Tabella 27. Parametri di definizione del singolo ponte termico.....	92
Tabella 28. Parametri di definizione delle condizioni interne (invernali e/o estive), per quanto attiene ai carichi legati all'occupazione, per il singolo vano.....	93
Tabella 29. Parametri per la trasmissione dei risultati del singolo dimensionamento in condizioni di progetto (invernali o estive). ....	100
Tabella 30. Parametri di sintesi dei risultati di simulazione, per l'intera unità immobiliare o l'edificio.....	101
Tabella 31. Parametri di definizione del riferimento al singolo manutentore. ....	104
Tabella 32. Parametri di descrizione generale di contratti di una singola fornitura. ....	104
Tabella 33. Parametri di sintesi delle bollette di vettori energetici e altre risorse, per la singola fornitura. ....	105
Tabella 34. Parametri di definizione del singolo sensore.....	106
Tabella 35. Parametri di definizione del singolo attuatore. ....	107
Tabella 36. Descrizione delle stratigrafie costituenti le superfici.....	111
Tabella 37. Profili di occupazione. ....	113
Tabella 38. Temperature di controllo dell'ambiente interno.....	114
Tabella 39. Lista dei parametri d'esportazione/importazione tra piattaforme BIM e software BEM, con relativo supporto, per lo svolgimento di simulazioni termo-energetiche per la progettazione energetica. ....	114

## Sommario

La progettazione energetica di edifici sta guadagnando importanza nell'ambito della progettazione edilizia, rispetto ai decenni passati. Ciò avviene a causa degli obiettivi prestazionali vieppiù elevati imposti dalle più recenti normative, atti a minimizzare le emissioni climalteranti conseguenti alla conduzione degli edifici. Tali obiettivi rendono la progettazione degli edifici un'attività ancor più critica che nel passato, dal momento che richiedono strumenti di calcolo molto dettagliati, in grado di governare l'attuale complessità progettuale e garantire l'effettivo raggiungimento degli obiettivi, identificando soluzioni progettuali ottime in grado di coniugare prestazioni, costi, manutenibilità, funzionalità, etc.

A tal fine giunge in aiuto il BIM (Building Information Modeling), che, attraverso procedure e strumenti innovativi, può supportare i progettisti, integrandone le attività e consentendo il ricorso a strumenti informatici avanzatissimi. Tuttavia, le criticità ancora aperte sono numerose e, in particolare nel settore energetico, sono richiesti ulteriori sforzi nello sviluppo dei software, in particolare per quanto attiene all'interoperabilità tra software di progettazione architettonica e software di calcolo energetico. A tal fine diventano fondamentali i formati aperti, come IFC (Industry Foundation Classes) e gbXML (green building XML). In particolare, nel volume si è assunto quale riferimento lo standard IFC, in quanto già consolidato in tutti gli altri settori coinvolti all'interno delle procedure di progettazione edilizia e civile.

In questo volume si è dapprima raccolto lo stato dell'arte per quanto attiene alla progettazione energetica avanzata, passando poi alla simulazione del processo di progettazione energetica di edifici ZEB (Zero Energy Buildings) attraverso gli strumenti di simulazione e dimensionamento più avanzati oggi disponibili, cercando d'individuare i problemi d'interoperabilità tra software di diversi settori, in particolare tra piattaforme BIM e software specialistici di progettazione energetica.

Da una prima presentazione del contesto applicativo inerente al BIM e agli ZEB (Capitolo 2), si passa a illustrare gli attuali formati BIM finalizzati all'interoperabilità in ambito energetico (Capitolo 3), ivi includendo le attinenti norme. Si passa poi alla disamina delle iniziative finora intraprese per l'integrazione della progettazione energetica all'interno di procedure e piattaforme BIM (Capitolo 5). Il Capitolo 4 illustra nel dettaglio gli strumenti utilizzabili nella progettazione energetica avanzata di edifici, utile premessa alla dettagliata illustrazione di come i BIM possano supportare la progettazione energetica e la conduzione impiantistica di edifici (Capitolo 6). Infine, il Capitolo 7 illustra il caso studio (una porzione di Residenza Sanitaria Assistenziale, RSA) utilizzato per verificare sul campo il livello d'interoperabilità ora raggiungibile, mentre il Capitolo 8 esprime le criticità individuate e fornisce linee guida per il miglioramento dell'esperienza progettuale integrata in chiave energetica. Infine, il Capitolo 9 sintetizza l'attività svolta e illustra i principali risultati ottenuti.

## 1 Introduzione

L'attività svolta è inquadrata all'interno dell'Accordo di collaborazione "Strumenti e metodi per la progettazione integrata (modelli BIM) verso standard Zero Energy Buildings in grado di evidenziare la fattibilità tecnico-economica delle tecnologie impiegate", entro il Work Package 1 - Edifici ad alta efficienza energetica, entro il progetto 1.5 "Tecnologie, tecniche e materiali per l'efficienza energetica ed il risparmio di energia negli usi finali elettrici degli edifici nuovi ed esistenti", entro l'Accordo di Programma 2019-2021, tra MISE ed ENEA, per le attività di ricerca e sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale.

Il sistema elettrico nazionale sarà il protagonista della progressiva elettrificazione dei consumi energetici nazionali, conseguente alla conversione della produzione da fonti fossili a fonti rinnovabili. Uno dei cardini di questa rivoluzione sarà il concetto di ZEB (Zero Energy Building), cioè di edificio a impatto energetico netto nullo. Tutti i nuovi edifici, nonché gli edifici sottoposti a lavori d'estesa riqualificazione dovranno infatti puntare a tale livello prestazionale, limitando i consumi e provvedendo ad autoprodurre una quantità d'energia atta a bilanciarli. La progettazione di edifici ZEB è tuttavia un'attività delicata, in quanto involucro e sistemi impiantistici devono essere progettati in modo tale da consentire il raggiungimento del target prestazionale pur limitando i sovraccosti. Inoltre, il target prestazionale dev'essere effettivamente ottenuto e mantenuto nel tempo. In breve, il progetto dev'essere fedelmente seguito nel corso della costruzione dell'edificio, giacché a difformità realizzative possono conseguire deviazioni prestazionali che, pur limitate in senso assoluto, assumerebbero incidenza percentualmente rilevante; per di più, similmente, si dovranno evitare decadimenti d'efficienza energetica nel corso della vita dello ZEB, attraverso un'efficace conduzione.

In un tale contesto, giunge necessario affrontare il tema ZEB guardando al ciclo di vita dell'edificio, dalla progettazione alla costruzione, fino alla manutenzione. Inoltre, la necessità di gestire più elevate complessità progettuali e gestionali richiede il supporto di strumenti avanzati, in grado d'offrire un elevato grado d'automatizzazione nel processo di progettazione e di proporsi quale hub informativo per l'intero ciclo di vita. Tale ruolo non può che esser assolto dal BIM (Building Information Modeling), che racchiude in sé tutte le potenzialità d'estensione necessarie allo scopo. Le piattaforme BIM devono tuttavia essere ulteriormente sviluppate per assolvere efficacemente le funzioni proposte.

L'attività svolta è stata appunto finalizzata a fornire linee guida atte a esplicitare i principali fabbisogni degli stakeholders nella progettazione, costruzione e manutenzione di ZEB, nonché un possibile cammino per il loro soddisfacimento, attraverso l'integrazione di piattaforme BIM.

L'attività svolta è pienamente coerente con l'intento dell'Accordo di Collaborazione. In particolare, questo primo anno è stato dedicato alla fattibilità tecnica della progettazione di ZEB attraverso piattaforme open BIM, passo fondamentale per discutere, nel corso del secondo anno, della fattibilità economica di tale attività. Proprio per promuovere una fattiva discussione in merito all'ottenimento di strumenti adeguati alla progettazione di ZEB mediante BIM, il presente volume entra nel merito sia di dettagli d'implementazione (voci di IFC corrispondenti alle principali informazioni necessarie allo svolgimento di simulazioni avanzate per la progettazione ottimizzata) sia di strumenti sistemici, quali database e interfacce mirate all'ottimizzazione multicriteriale.



## 2 Il contesto applicativo: Building Information Modeling (BIM) e Zero Energy Buildings

### 2.1 Premessa

Il presente capitolo introduce i campi tecnologici che costituiscono il contesto applicativo della ricerca svolta, fornendo informazioni per il primo orientamento del lettore, anche se proveniente da altro settore. Il capitolo si apre con l'illustrazione dei principi base del Building Information Modeling (BIM), dapprima a livello generale, in 2.2, e successivamente con particolare riferimento ai formati BIM aperti finalizzati alla progettazione energetica, in 2.3. Successivamente, si passa alla presentazione del concetto di Zero Energy Building (ZEB), in 2.4, per poi specificarne l'accezione in ambito normativo (2.5). Infine, si offre una visione delle possibili applicazioni in cui BIM ed energetica possono trovare vantaggiose sinergie (2.6).

### 2.2 Il BIM

Il BIM consiste nell'utilizzo di una rappresentazione digitale condivisa di un asset al fine di facilitare i processi di progettazione, costruzione ed esercizio dell'opera, in modo da creare una base decisionale affidabile (UNI EN ISO 19650:1).

L'acronimo BIM, in verità, cela una spiccata ambivalenza, quale acronimo di Building Information Modeling e di Building Information Model. Da un lato, "Modeling" punta l'attenzione sulle procedure, con particolare riferimento alla facilitazione dei sub-processi edilizi che riguardano la progettazione, la costruzione e la gestione di un asset edilizio, mentre "Model" focalizza sulla rappresentazione digitale e condivisa di un organismo edilizio, laddove:

- "digitale" è da intendersi quale sinonimo di computazionale, ovvero leggibile e interpretabile da una macchina. Ne derivano alcune caratteristiche fondamentali:
  - il modello presenta non solo geometrie tridimensionali, ma gli oggetti che lo compongono hanno una chiara definizione semantica. Ne deriva la cosiddetta "modellazione a oggetti", in cui questi sono organizzati per classi (quali, per esempio, muri, finestre, tubi di aerazione, travi, locali, etc.);
  - gli oggetti così organizzati presentano metodi e proprietà differenti, che veicolano la possibilità d'inserire informazioni. Un muro presenta così un valore di trasmittanza termica che non è necessario per la tubazione di mandata di un impianto, che esporrà invece il valore di velocità dell'aria di progetto o quella ottenuta da un sensore opportunamente installato in fase gestionale;
- "condivisa" mira invece a specificare come il modello sia implicitamente condiviso dai molteplici attori che partecipano al processo edilizio (progettisti, aziende costruttrici, sub-appaltatori, imprese di manutenzione, enti gestori, etc.). Le informazioni sono così inserite da alcuni attori, verificate da altri e utilizzate da altri ancora, in un ciclo continuo (Figura 1).

Concludendo la disamina dei termini utilizzati nella definizione sopra menzionata, le caratteristiche di un modello così composto permetterebbero, con le tecnologie già disponibili, di costituire una base di dati informativa quanto più affidabile possibile al fine di prendere le decisioni necessarie al completamento di ogni processo.

La generalità di questi concetti va poi declinata nell'ambito della progettazione ZEB, in cui il risultato deriva da un alto grado di relazione tra sistemi predittivi, attraverso simulazioni (energetiche ed economiche) di soluzioni differenti (processo progettuale) che includono l'accurata scelta dei componenti e il loro corretto dimensionamento, nonché la successiva installazione dei componenti edilizi (processo costruttivo) e il monitoraggio prestazionale dell'edificio (processo gestionale).



Figura 1. Come illustrato in [1], nel riquadro blu, il modello, nella prima iterazione, è creato attraverso le fasi A e B e consegnato nella fase C All'interno del ciclo informativo, all'atto di un ulteriore utilizzo, il modello della fase C diventa sorgente di informazioni per una nuova fase operativa di intervento.

### 2.3 Gli standard BIM aperti in ambito energetico (Open BIM)

Si parla di standard “aperto” quando ne vengono resi pubblici, mediante esaustiva documentazione, la sintassi, la semantica, il contesto operativo e le modalità di utilizzo. Tali informazioni, unitamente a una guida all’uso del formato orientata alla lettura da parte dell’utilizzatore, devono essere presenti in uno o più documenti rilasciati dall’ente proponente lo standard. L’ente proponente può essere un ente di standardizzazione, una pubblica amministrazione o una comunità di utenti. Standard aperti entrati nella vita di tutti i giorni sono, per esempio, quelli riferiti ai formati elencati in Tabella 1. Si parla invece di standard “proprietario” (o “chiuso”) quando non ne sono liberamente disponibili e/o fruibili le specifiche tecniche complete.

Tabella 1. Esempi di formati aperti sviluppati per diversi contesti applicativi.

Contesto applicativo	Estensione del formato
Documenti	PDF, TXT
Strutture dati tabellari	CSV, ODS
Rappresentazioni raster	JPEG, PNG, BMP
Archivi compressi	ZIP, 7Z
Rappresentazioni vettoriali	GIS, SHP
Strutture dati complesse	XML, JSON

Gli standard BIM aperti sono i formati più usati nel settore dell’edilizia per rappresentare e documentare i manufatti, specificamente sviluppati per descrivere le caratteristiche di un edificio nelle sue fattezze geometriche, caratteristiche termiche, aspetti gestionali, etc.

Tra questi sono di rilievo i seguenti formati:

- gbXML (Green Building XML), usato principalmente per il calcolo energetico e attualmente sviluppato da software house, liberi professionisti e dal NREL (National Renewable Energy Laboratory), U.S. Department of Energy e ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers);
- IFC (Industry Foundation Classes), che nasce da necessità industriali dell’industria manifatturiera, per poi essere implementato specificamente nel settore edilizio. Esso è sviluppato dall’ente BuildingSMART International, di cui fanno parte liberi professionisti e software house, e ha riferimenti nazionali in enti o, direttamente, in sezioni nazionali. Lo standard IFC è l’unico standard aperto da intendersi per l’intero settore delle costruzioni, in quanto il modello di dati che propone

permette di descrivere una molteplicità di domini e settori disciplinari all'interno del processo (ruoli e loro proprietà) e del sistema (sistema architettonico, strutturale, impiantistico, energetico, etc.). Utilizzare standard BIM aperti anziché proprietari consente la rapida diffusione di uno standard e il suo rapido utilizzo da parte di tutti gli sviluppatori/stakeholders. Il consolidato ricorso a uno standard BIM aperto può quindi condurre a indubbi vantaggi per le figure professionali operanti nel corso del ciclo di vita dell'edificio, quali:

- La possibilità di comunicare con realtà estere utilizzando lo stesso linguaggio (informatico-lavorativo);
- Minore tempo nello scambio delle informazioni grazie all'utilizzo di set informativi standard;
- La possibilità di scegliere i software in uso diversamente da altri attori;
- La diminuita probabilità di perdite informative nello scambio (condivisione) di dati, con notevole abbassamento della percentuale di errore in fase costruttiva e gestionale;
- La possibilità di ricostruire il dato nel tempo, senza essere vincolati a specifici interlocutori privati.

## 2.4 Gli ZEB (Zero Energy Building)

ZEB (Zero Energy Building) è l'acronimo coniato per gli edifici a bilancio energetico (netto annuale) nullo. La definizione di ZEB, in verità, risulta tutt'altro che univoca. Ne esistono infatti molteplici declinazioni, le principali delle quali saranno dettagliate nelle sottostanti righe. In generale, esse sono definite in base ai seguenti fattori:

- Contorno entro il quale può avvenire il reperimento dell'energia rinnovabile: impronta a terra dell'edificio, area circostante l'edificio, etc.;
- Servizi energetici considerati: riscaldamento/raffrescamento degli ambienti, ventilazione, produzione dell'acqua calda sanitaria, illuminazione, altri dispositivi elettrici, veicoli elettrici, energia grigia incorporata all'interno del manufatto, etc.;
- Tipo di bilancio: bilancio sull'energia primaria (energia fossile sottesa ai consumi energetici dell'edificio) o sull'energia secondaria (vettore energetico) legate alla conduzione dell'edificio, bilancio sull'energia primaria sottesa all'intero ciclo di vita dell'edificio (tipicamente, costruzione e conduzione), bilancio economico, bilancio sulle emissioni di CO<sub>2</sub>, etc.;
- Finestra temporale per il bilancio energetico: tipicamente, consiste nell'anno, ma possono essere suggeriti bilanci stagionali o mensili, ma pure l'intero ciclo di vita (definito temporalmente per convenzione) dell'edificio.

A tali possibilità s'aggiunge la varietà di indicatori prestazionali che possono essere utilizzati per progettare e verificare la prestazione dello ZEB. Per esempio, quali indicatori prestazionali, si possono usare il rapporto tra l'energia generata e l'energia consumata, il rapporto tra l'energia esportata e l'energia importata, il rapporto tra l'energia consumata e l'energia importata, la frazione di energia autoconsumata, le somme nette annuali di energia consumata/generata, la somma dei residui di bilancio energetico mensili, includendo poi varianti quali la valutazione differenziata dell'elettricità esportata, l'inclusione delle biomasse esterne al territorio limitrofo all'edificio, lo svolgimento del bilancio sul singolo vettore energetico o sull'intero conto energetico dell'edificio, etc.

Tra le molteplici combinazioni possibili, rientrano nella categoria ZEB edifici progettati con obiettivi prestazionali diversi, quali:

- Il bilancio netto nullo annuale con riferimento al luogo presso cui sorge l'edificio (Zero net site energy use). In tal caso, la prestazione considerata consiste nel bilanciamento dell'energia consumata dall'edificio con energia prodotta da fonti rinnovabili localmente reperibili (tipicamente, l'energia solare e l'energia eolica).
- Il bilancio netto nullo annuale con riferimento all'energia primaria. In tal caso, la prestazione considerata consiste nel bilanciamento dell'energia consumata dall'edificio e dell'energia necessaria alla generazione e dispacciamento di quest'ultima con energia prodotta da fonti rinnovabili localmente reperibili. Di conseguenza, tale obiettivo prestazionale risulta più ambizioso del precedente.

- Il bilancio netto nullo annuale con riferimento alle emissioni in atmosfera. In tal caso, la prestazione considerata consiste nel bilanciamento delle emissioni sottese al consumo energetico dell'edificio attraverso le emissioni evitate mediante la generazione energetica da fonti rinnovabili avvenuta presso l'edificio.
- Il bilancio netto nullo sul ciclo di vita dell'edificio con riferimento alle emissioni in atmosfera. In tal caso, la prestazione considerata consiste nel bilanciamento delle emissioni sottese alla costruzione dell'edificio e al consumo energetico legato all'uso dell'edificio attraverso le emissioni evitate mediante la generazione energetica da fonti rinnovabili avvenuta presso l'edificio.
- Il bilancio netto nullo annuale con riferimento ai costi economici. In tal caso, la prestazione considerata consiste nel bilanciamento dei costi dovuti all'energia acquistata dall'edificio attraverso la vendita dell'energia in eccesso alla rete elettrica nazionale.
- L'utilizzo esclusivo di fonti energetiche rinnovabili. In tal caso, la prestazione considerata consiste nell'esclusivo consumo di fonti energetiche rinnovabili, anche se generate lontano dal sito di costruzione.
- L'autarchia energetica. In tal caso, la prestazione considerata consiste nella conduzione dell'edificio esclusivamente a mezzo di energia generata dall'edificio stesso, attraverso il ricorso ad accumuli energetici opportunamente dimensionati.

Non sarà certo sfuggito il frequente ricorso alla parola "netto". In tal senso s'intende dire che il bilanciamento tra energia consumata ed energia/emissioni generata/evitate dev'essere ottenuto come differenza (generalmente annuale) tra esse, senza quindi inseguire la chimera dell'effettivo consumo nullo istantaneo da parte dell'edificio, obiettivo d'improbabili realizzabilità e convenienza. Si ammette dunque che consumo e generazione dell'energia possano avvenire in momenti diversi. Tipicamente, il primo risulta preponderante in inverno, mentre la seconda in estate. In tal modo, s'intendono evitare sovradimensionamenti e soluzioni progettuali di dubbi ritorni energetico ed economico.

Lo ZEB deve quindi mantenere la propria connessione alle reti energetiche nazionali (elettricità ed eventualmente gas), ma garantendo il bilanciamento del proprio consumo annuale mediante la generazione in sito di energia da fonte rinnovabile. In tal modo, anzi, gli ZEB diventeranno una parte fondamentale delle reti energetiche, in particolare della rete elettrica nazionale, in quanto provvederanno alla generazione di larga parte dell'energia elettrica distribuita dalla rete elettrica nel periodo estivo.

La progettazione di ZEB segue due principali obiettivi:

- La minimizzazione del consumo energetico globale, cioè per il riscaldamento/raffrescamento dell'edificio, la ventilazione, la produzione dell'acqua calda sanitaria, la cottura dei cibi, l'illuminazione e gli altri usi elettrici.
- La massimizzazione della produzione energetica in sito da fonti rinnovabili.

La progettazione di ZEB deve dunque garantire l'ottenimento e il mantenimento nel tempo dei succitati obiettivi energetici, ma pure la fattibilità economica del manufatto e del progetto stesso. Si tratta quindi di un obiettivo ambizioso e per il quale sono necessari strumenti molto avanzati d'ausilio alla progettazione.

## **2.5 Gli ZEB e il contesto legislativo energetico: gli nZEB.**

Una diretta derivazione del concetto di ZEB, denominata nZEB (nearly Zero Energy Building), è stata definita quale standard costruttivo per tutti gli edifici nuovi o soggetti a una ristrutturazione importante, sul territorio europeo. In particolare, l'art. 9 dell'Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2010/31/UE [2] stabilisce che, a partire dal 2019 per gli edifici pubblici e dal 2021 per tutti gli edifici, le nuove costruzioni o le ristrutturazioni importanti siano nZEB. L'art.2 della medesima EPBD 2010/31/UE [2] definisce l'nZEB come segue: "un edificio ad altissima prestazione energetica. Il 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".

È evidente come tale definizione appaia piuttosto vaga e atta più a fissare una visione di performance che a descrivere compiutamente uno standard edilizio.

Passando al recepimento dell'EPBD sul territorio italiano e agli strumenti necessari per la sua attuazione, si fa riferimento al "Decreto dei requisiti minimi" (Gazzetta Ufficiale n. 162 del 15 luglio 2015) [3], che definisce lo ZEB come un edificio che rispetta tutti i requisiti minimi vigenti, cioè i nuovi limiti previsti dal decreto stesso, nonché l'obbligo d'integrazione delle fonti rinnovabili previsto dal D.L. 28 del 3 marzo 2011 [4].

## 2.6 Esempi di applicazioni d'uso

Per comprendere le potenzialità (e la complessità) di un approccio integrato e completo al progetto, si consideri che le prospettive future per l'uso dei BIM, nell'ambito energetico, potrebbero comprendere/consentire le/gli attività/usi sotto descritte/i:

- A. Progettazione energetica dell'edificio. La stretta interoperabilità tra modelli BIM e modelli BEM (Building Energy Modeling, così è chiamata la disciplina cui afferiscono i software più avanzati di calcolo energetico) consentirebbe d'integrare un'accurata progettazione energetica sin dalle primissime fasi di progettazione. Inoltre, l'immediata integrazione con modelli BEM consentirebbe di produrre, sin dall'inizio, predimensionamenti affidabili dei generatori termici, degli impianti di distribuzione e dei terminali d'impianto, accompagnando da vicino la progettazione architettonica e consentendo così la piena concordanza tra progettazione architettonica e progettazione energetica. I modelli BEM sono infatti assai più accurati rispetto ai metodi di stima energetici utilizzati nelle fasi preliminari della progettazione, ma, considerata la maggiore cura necessaria nella loro preparazione, ora sono eventualmente usati solo nella fase di verifica del progetto giunto nelle ultime fasi di sviluppo. La piena interoperabilità tra modelli BIM e BEM consentirebbe di ricorrere alle simulazioni termo-energetiche dinamiche con la stessa facilità con cui attualmente si ricorre a strumenti semplificati di valutazione energetica preliminare.
- B. Valutazione dell'impatto ambientale del ciclo di vita. La piena integrazione tra modelli BIM e BEM e le accurate progettazione e valutazione energetiche che ne deriverebbero potrebbero consentire una migliore valutazione dell'energia grigia correlata agli elementi d'involucro e impiantistici dimensionati, oltre che dell'energia operativa correlata all'uso degli stessi. Di conseguenza, verrebbe facilitato anche lo svolgimento di analisi del ciclo di vita e delle correlate scelte in termini di materiali e componenti impiantistici, sin dall'inizio del progetto.
- C. Valutazione economica del progetto. Similmente a quanto esposto sopra, anche la valutazione economica del progetto, come per esempio il computo metrico estimativo, trarrebbe maggiore affidabilità dalla maggiore accuratezza di calcolo consentita sin dalle prime fasi del progetto, limitando soluzioni costose talvolta necessarie per risolvere carenze progettuali ereditate dalle fasi preliminari del progetto.
- D. Costruzione. I modelli BIM possono inoltre consentire un innalzamento della qualità costruttiva, per esempio costituendo da riferimento visivamente più chiaro ed esplicito per l'aspetto finale dell'edificio, ma pure consentendo d'integrare la gestione del magazzino, dei processi di costruzione e delle relative tempistiche. Per esempio, un modello BIM può fungere anche da hub informativo per la localizzazione della posizione d'installazione dei componenti d'involucro e impianto, eventualmente anche supportato da piattaforme di RFID (Radio Frequency Identification) tagging. Inoltre, un modello BIM si offre anche quale ideale trait-d'union tra i progettisti energetici e le aziende costruttrici, attraverso la possibilità di esporre raccomandazioni da seguire all'atto della costruzione/installazione dei componenti d'involucro/impianto. Tutto ciò può garantire quindi una maggiore qualità costruttiva e di conseguenza una maggiore conformità dell'edificio alle specifiche progettuali. Ciò risulta particolarmente importante in edifici ZEB, dato che pur piccole non-conformità (per esempio, ponti termici mal risolti o componenti erroneamente installati) possono alterare significativamente il consumo totale, tanto da allontanarlo in modo evidente dal target originario.

- E. Certificazione energetica dell'edificio o delle singole unità immobiliari. L'interoperabilità tra modelli BIM e BEM consentirebbe anche l'automatizzazione dello svolgimento di certificazioni energetiche per gli ambienti in corso di progettazione/rilievo.
- F. Gestione predittiva del sistema involucro-impianto. A tal fine è necessaria la presenza di un dettagliato BMS (Building Management System) o un sistema IoT (Internet of Things) atti a fornire i parametri operativi del sistema involucro-impianti-utenti in modo tale da consentire lo svolgimento di simulazioni termo-energetiche involucro-impianto in grado di prevedere il comportamento del sistema nelle ore a seguire. A tal fine, deve essere disponibile anche un sistema di acquisizione dei principali parametri meteorologici per i passati giorni e le successive ore, per esempio attraverso API web. Le simulazioni termo-energetiche involucro-impianto possono essere svolte alternativamente attraverso due strumenti principali:
  - a. Modelli fisici quali EnergyPlus [5] o TRNSYS [6]. In tal caso, è richiesto un livello di dettaglio nella conoscenza dell'edificio o delle unità immobiliari molto elevato.
  - b. Modelli basati su algoritmi black-box o grey-box, per i quali è richiesto un monitoraggio dettagliato dell'edificio anche per un periodo precedente l'avvio del sistema di regolazione.
- G. Applicazioni di fault detection. La fault detection consiste nell'identificazione preventiva di condizioni di funzionamento anomale di sistemi o componenti dell'insieme involucro-impianti, attraverso algoritmi d'intelligenza artificiale. Tali applicazioni risulteranno vieppiù importanti in edifici ZEB, dato che piccole deviazioni prestazionali possono alterare significativamente il consumo totale, tanto da allontanarlo in modo evidente dal target originario.
- H. Gestione della manutenzione. Anche la gestione della manutenzione può essere automatizzata, attraverso il BIM, consentendo la calendarizzazione, il preavviso e la preorganizzazione di interventi di manutenzione futuri, l'inferenza di statistiche inerenti agli eventi di manutenzione ordinaria/straordinaria pregressi, nonché la possibile interazione con survey compilati dagli utenti/gestori/conduttori/proprietari, finalizzati per esempio alla segnalazione di anomalie.
- I. Monitoraggio ambientale e impiantistico finalizzato al continuous commissioning, prevalentemente inerente alle seguenti performance:
  - a. Efficienza energetica;
  - b. Livello di benessere ottenuto all'interno degli ambienti, con riferimento tanto al comfort quanto all'IAQ (Indoor Air Quality) e all'illuminazione.

Il dettagliato monitoraggio dei parametri ambientali e impiantistici, mediante BMS o sistema IoT, mediato da software BIM quali hub informativi, consentirebbe il corretto e puntuale svolgimento dell'attività di continuous commissioning, spesso richiesta tra i vincoli contrattuali di convenzioni di gestione energetica.

- J. Esposizione dei dati all'esterno, finalizzata a varie finalità, quali:
  - a. La gestione da remoto delle facilities;
  - b. La raccolta di dati inerenti ai consumi energetici, alle modalità d'uso e alle condizioni meteorologiche rilevate, indirizzata alla costruzione di statistiche territoriali e database per il settore energetico;
  - c. La gestione di smart grids, attraverso l'esposizione ai provider energetici (generalmente con riferimento al solo provider dell'energia elettrica) della serie temporale dei valori di consumo energetico (elettrico) su scala oraria o inferiore, nonché i principali parametri ambientali e meteorologici, in modo tale che il provider possa acquisire dati per l'elaborazione del profilo di consumo energetico dell'edificio al variare delle condizioni al contorno, eventualmente comandando da remoto l'accensione o lo spegnimento di dispositivi il cui funzionamento sia differibile.

## *2.7 Perché progettazione e analisi energetica vengono riportate alla simulazione energetica?*

Non sarà passata inosservata la consuetudine con cui, nel presente volume, si accostano progettazione e analisi energetica. Solitamente, queste due fasi sono tenute separate. Esse richiedono infatti competenze e strumenti che, per quanto strettamente connessi tra loro, sono generalmente in capo a professionisti di diverso tipo. Tuttavia, la focalizzazione verso target energetici molto avanzati indurrà ad anticipare l'analisi energetica e a renderla uno strumento funzionale alla progettazione. D'altra parte, l'analisi energetica consente non solo il dimensionamento dei principali componenti dell'impianto ma pure la verifica di layout e strategie impiantistici previsti nel corso del progetto, ponendosi anche quale contemporaneo strumento di verifica. L'obiettivo dei BIM, in tale prospettiva, dovrebbe consistere nel consentire il massimo livello d'automatizzazione nell'esportazione diretta verso motori di simulazione energetica, sì da facilitarne l'integrazione già in fase di primo dimensionamento e progettazione preliminare.

## *2.8 I fabbisogni dei progettisti nella progettazione integrata di ZEB*

Gli ZEB costituiscono quindi una sfida per il futuro della progettazione architettonica. In essi, la prestazione energetica non è un requisito, ma un obiettivo. Per di più, un obiettivo da raggiungere e mantenere nel tempo. Si fa infatti strada il concetto di monitoraggio della prestazione, ora già previsto all'interno di protocolli di certificazione di sostenibilità ambientale volontari. La conseguente complessità progettuale, con evidenti implicazioni in termini di sovraccosti di costruzione, implica la necessità di ricorrere a strumenti avanzati di progettazione/analisi energetica, con cui interoperare a partire da piattaforme BIM. Nel seguito, quindi, si considererà il ricorso a strumenti di simulazione termo-energetica dettagliata, come EnergyPlus [7], e a strumenti di ottimizzazione, utili per lo svolgimento di analisi ergo-economiche dettagliate, finalizzate all'identificazione di soluzioni progettuali ottime.

Nel seguito del presente volume si verificherà lo stato dell'arte nell'accesso a questi strumenti attraverso supporti open BIM e si proporranno integrazioni migliorative, considerando non solo la fase progettuale ma anche le fasi di gestione e manutenzione dell'edificio.



## 3 Gli standard Open BIM nella progettazione energetica

### 3.1 Premessa

Il presente capitolo descrive dettagliatamente gli standard edilizi informativi BIM cui si può far ricorso nell'ambito energetico. Tale disamina si rende necessaria al fine d'individuare lo standard da utilizzare quale supporto nel seguito della ricerca, per la successiva integrazione con le informazioni ritenute più congrue per il raggiungimento di un'effettiva interoperabilità, necessaria all'ottenimento di una vera fattibilità tecnica nella progettazione energetica di ZEB attraverso BIM.

Esistono principalmente due standard edilizi informativi BIM utilizzabili nell'ambito della progettazione/analisi energetica:

- Lo standard IFC;
- Lo standard gbXML.

Essi vengono singolarmente descritti in 3.2 e 3.3. In seguito (3.4), si motiverà la scelta di procedere con lo standard IFC quale base nel corso del presente studio. Infine (3.5), si procede a un approfondimento normativo inerente allo standard IFC.

### 3.2 Il formato IFC (Industry Foundation Classes)

#### 3.2.1 Descrizione generale

Il formato informativo Industry Foundation Classes (IFC) nasce con l'esigenza di scambiare dati e informazioni in formato open, cioè attraverso file "neutrali", ovvero che non siano creati e riconoscibili solo tramite strumenti software proprietari (Figura 2). Un'ulteriore necessità sta alla base della nascita di questo formato: la standardizzazione dei processi e degli elementi che fanno parte dell'industria delle costruzioni.

Con questi principi si concretizza nel 1995 la prima scrittura di un modello informativo di riferimento nel settore dei software AEC (Architecture Engineering and Construction). Il consorzio di professionisti e società americane (the Industry Alliance for Interoperability) che svilupparono questo formato si trasforma, nel 2005, in un ente no-profit denominato BuildingSMART International, che sostiene e sviluppa IFC e tutte le estensioni collegate al formato [8].

L'ente si propone anche come casa dell'Open BIM, ovvero garante della diffusione dei metodi di interoperabilità e dei vari formati da utilizzare nei processi di progettazione.

L'IFC si basa dunque sui seguenti principi:

- L'interoperabilità è la chiave per la trasformazione digitale nel settore delle costruzioni, in particolare per il settore delle costruzioni in cui gli attori sono molti e le informazioni sono condivise tra essi, ovvero non esclusive di un certo attore;
- Gli standard aperti e neutrali devono essere sviluppati e diffusi per facilitare l'interoperabilità;
- Lo scambio di dati affidabili dipende da standard di riferimento indipendenti e di qualità;
- I flussi di lavoro collaborativi non dovrebbero essere limitati da processi e/o formati di dati di società proprietarie, in quanto ridurrebbe la libera concorrenza e quindi il libero sviluppo di soluzioni software più efficienti;
- La flessibilità nella scelta di tecnologie crea valore a tutti gli stakeholders;
- La sostenibilità dell'informazioni, in riferimento alla vita utile di un edificio, è tutelata da criteri a lungo termine di dati interoperabili.

Per questo motivo buildingSMART International articola il proprio standard informativo in cinque elementi costitutivi (Figura 3):

- Un modello di dati (Industry Foundation Classes, IFC), atto a raccogliere tutte le informazioni riguardanti un cespite immobile, con riferimento a tutte le discipline interessate;
- Un metodo per determinare porzioni del modello di dati atte a soddisfare specifici utilizzi (Model View Definition, MVD), in funzione di disciplina e scopo;
- Un dizionario comune per la definizione delle proprietà (buildingSMART Data Dictionary, bSDD), utile per creare corrispondenze tra parametri denominati in modo diverso da parte di stakeholders o all'interno di processi operativi diversi;

- Un processo standard per definire in modo univoco gli scambi informativi, per ogni scopo e disciplina, identificando stakeholders, provenienza e destinazione delle informazioni (Information Delivery Manual, IDM);
- Un formato standard per la comunicazione delle problematiche di prodotto o di processo (BIM Collaboration Format, BCF).

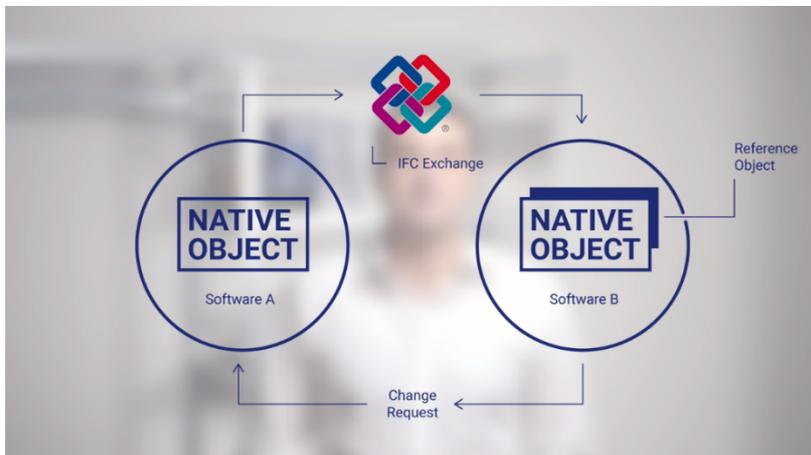


Figura 2. Schema di funzionamento di un formato di dati standard rispetto all’uso di ambienti di modellazione proprietari [9].

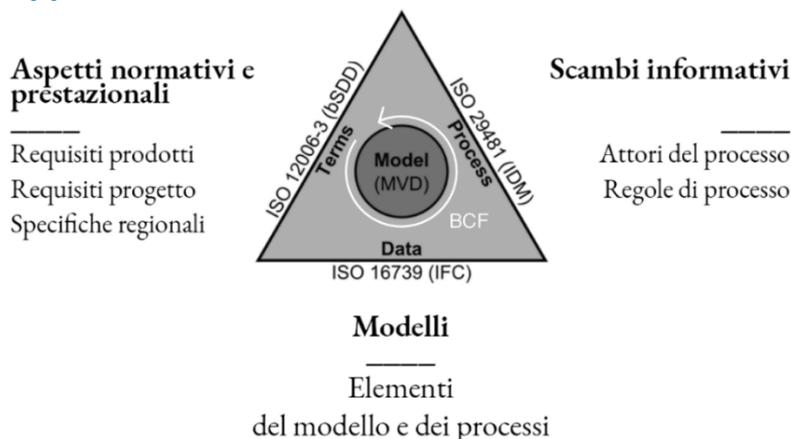


Figura 3. Standard offerti da buildingSmart International [10].

In generale, il processo metodologico si articola in cinque fasi principali:

1. Definizione del processo in tutte le sue parti, con individuazione dei ruoli di tutti i soggetti coinvolti;
2. Redazione del diagramma di flusso del processo in notazione Business Process Model and Notation (BPMN);
3. Identificazione dei requisiti di scambio (Exchange Information Requirements, EIR), che costituiscono la parte informativa e più caratterizzante dell’Information Delivery Manual (IDM);
4. Implementazione della MVD attraverso la mappatura degli ER nel modello dati IFC;
5. Compilazione della documentazione di supporto.

È importante notare che le fasi 1 e 2 sono indipendenti da IFC, in quanto si occupano di analizzare e schematizzare il processo secondo una forma standard, conducendo alla definizione di un diagramma di flusso. Al contrario, la fase 4 si occupa di tradurre i concetti elaborati precedentemente all’interno del modello dati IFC, modellando le informazioni secondo le regole che lo definiscono. Quest’ultima operazione è quella che rende il processo operabile nell’ambito dei processi computer-based, traducendo in uno schema comprensibile alle macchine i requisiti per il flusso informativo definito in linguaggio umano. Dal punto di vista operativo, questo step risulta il più complesso, poiché richiede la messa a sistema di competenze sulla modellazione informativa di processi edilizi insieme ad altre proprie delle scienze informatiche.

Intorno a buildingSMART si è formata una comunità in cui i professionisti si confrontano sulle soluzioni possibili o le variazioni che potrebbero essere introdotte al formato e ogni anno vengono organizzati convegni e summit sulle esperienze dei progettisti, le problematiche emerse nel corso dei progetti e sulle relative soluzioni.

Nelle varie versioni del formato, la 2.3.0.1 (ISO/PAS 16739:2005) è quella che ha avuto più riscontri e utilizzi nell'industria delle costruzioni e, dopo dieci anni di riscontri e rivisitazioni, è stata pubblicata e normata la versione 4.0.2.1 (ISO 16739-1:2018, passando per la 4.0.0.0 ISO 16739:2013).

Attualmente, il formato è arrivato alla versione 4.3, in cui risultano molti elementi dedicati alle infrastrutture e alla loro ingegnerizzazione; tuttavia, questa versione non è stata normata ed ancora in attesa di approvazione.

Secondo la definizione offerta da buildingSMART International, IFC è uno "standardized data model". Un data model consiste nell'organizzazione di classi, alle quali appartengono oggetti del mondo reale, con corrispondenti relazioni e attributi: *<<A schema is a collection of entities (or classes), attributes, and relationships between entities. It defines the patterns or templates by which populations of these entities and relationship shall be represented. Such a schema is often called a Product (Data) Model (as opposed to a populated data model). The IFC specification is a schema>>* [11].

Il formato è basato sui linguaggi EXPRESS [12] e XML (Extensible Markup Language) [13], ma non è escluso che nella prossima versione (la quinta generazione di IFC) possa avvenire un cambiamento di struttura in JSON (JavaScript Object Notation) [14], HDF (Hierarchical Data Format) [15] o SQLite (Structured Query Language Lite) [16], cambiando il formato di lettura/scrittura da parte dei software.

Un file IFC è un contenitore di svariate tipologie di informazioni, tra le quali:

- Informazioni geometriche, con la descrizione volumetrica e/o bidimensionale dei componenti del manufatto edilizio;
- Informazioni procedurali, quali descrizioni di autori o figure coinvolte nel processo edilizio;
- Informazioni prestazionali, in riferimento ai materiali, ai componenti e alle proprietà degli elementi dell'insieme edificio-impianto;
- Riferimenti ad altre fonti esterne al file stesso.

Tutti questi dati vengono trascritti e raggruppati secondo lo schema preciso che è stato creato da BuildingSmart.

Considerato che molti elementi possono essere coinvolti in diverse attività e discipline, eventualmente con riferimento a proprietà e relazioni diverse, le piattaforme BIM includono strumenti atti a rilevare le interferenze e le incoerenze tra i progetti della stessa disciplina (code checking) e di diverse discipline (model checking), proprio perché lo schema è strutturato per raggruppare le geometrie e le proprietà degli elementi, categorizzandoli esattamente come si presentano nel mondo reale (per esempio, si hanno elementi muro, trave, tubatura, etc.).

In un tale contesto di molteplicità di scopi e discipline, che possono rispettivamente spaziare dallo studio di fattibilità alle operazioni di dismissione e dagli aspetti architettonici a quelli strutturali ed energetici, s'utilizzano, come sopra accennato, l'Information Delivery Manual per programmare e gestire il flusso informativo nel corso del progetto e la Model View Definition per convalidare/verificare il set d'informazioni per i singoli scopo e disciplina. Una tale attività è detta "convalida del modello IFC" e consente di evitare ripetizioni e incoerenze tra le informazioni inserite/modificate da diversi stakeholders, causate anche dalla ridondanza esistente tra alcune voci IFC.

Nelle successive pagine vengono elencate, a scopo esemplificativo, le voci dello standard IFC che possono essere coinvolte nell'ambito della progettazione/costruzione/conduzione energetica di edifici; in particolare, Tabella 2, Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 raccolgono, rispettivamente, le attinenti principali voci Types, Classes, Property Sets e Quantity Sets di IFC. Gli autori ritengono sia utile presentare queste tabelle al fine di far intuire al lettore gli elementi e i relativi livelli d'approfondimento già disponibili all'interno dello standard IFC.

**Tabella 2. Elenco delle voci Types di IFC (TypeEnum, Select), Versione 4.0, per quanto d’attinenza all’ambito energetico.**

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce	
IfcControlExtension	IfcPerformanceHistoryTypeEnum	IfcSharedMgmtElements	IfcPermitTypeEnum	IfcMaterialResource	IfcLayerSetDirectionEnum	
IfcProcessExtension	IfcEventTriggerTypeEnum	IfcBuildingControlsDomain	IfcProjectOrderTypeEnum	IfcPresentationOrganizationResource	IfcMaterialSelect	
	IfcEventTypeEnum		IfcActuatorTypeEnum		IfcLightDistributionCurveEnum	
	IfcProcedureTypeEnum		IfcAlarmTypeEnum		IfcLightEmissionSourceEnum	
	IfcSequenceEnum		IfcControllerTypeEnum		IfcLayeredItem	
	IfcTaskTypeEnum		IfcFlowInstrumentTypeEnum		IfcLightDistributionDataSourceSelect	
	IfcWorkCalendarTypeEnum		IfcSensorTypeEnum		IfcAirTerminalBoxTypeEnum	
	IfcWorkPlanTypeEnum		IfcUnitaryControlElementTypeEnum		IfcAirTerminalTypeEnum	
IfcProductExtension	IfcWorkScheduleTypeEnum	IfcPlumbingFireProtectionDomain	IfcFireSuppressionTerminalTypeEnum	IfcHvacDomain	IfcAirToAirHeatRecoveryTypeEnum	
	IfcAssemblyPlaceEnum		IfcInterceptorTypeEnum		IfcBoilerTypeEnum	
			IfcExternalSpatialElementTypeEnum		IfcSanitaryTerminalTypeEnum	IfcBurnerTypeEnum
			IfcGeographicElementTypeEnum		IfcStackTerminalTypeEnum	IfcChillerTypeEnum
	IfcGridTypeEnum	IfcWasteTerminalTypeEnum	IfcCoilTypeEnum			
	IfcInternalOrExternalEnum	IfcActorResource	IfcAddressTypeEnum		IfcCompressorTypeEnum	
	IfcOpeningElementTypeEnum		IfcRoleEnum		IfcCondenserTypeEnum	
	IfcPhysicalOrVirtualEnum		IfcActorSelect		IfcCooledBeamTypeEnum	
	IfcSpaceTypeEnum		IfcDate		IfcCoolingTowerTypeEnum	
	IfcSpatialZoneTypeEnum	IfcDateTimeResource	IfcDateTime		IfcDamperTypeEnum	
IfcTransportElementTypeEnum	IfcDayInMonthNumber		IfcDuctFittingTypeEnum			
IfcSpaceBoundarySelect	IfcDayInWeekNumber		IfcDuctSegmentTypeEnum			
IfcSharedBldgElements	IfcBuildingElementProxyTypeEnum		IfcDuration	IfcDuctSilencerTypeEnum		
			IfcMonthInYearNumber	IfcEngineTypeEnum		
	IfcBuildingSystemTypeEnum		IfcTime	IfcEvaporativeCoolerTypeEnum		
	IfcCurtainWallTypeEnum		IfcTimeStamp	IfcEvaporatorTypeEnum		
	IfcDoorTypeEnum		IfcDataOriginEnum	IfcFanTypeEnum		
	IfcDoorTypeOperationEnum		IfcRecurrenceTypeEnum	IfcFilterTypeEnum		
	IfcRoofTypeEnum		IfcTaskDurationEnum	IfcFlowMeterTypeEnum		
	IfcShadingDeviceTypeEnum	IfcTimeSeriesDataTypeEnum	IfcHeatExchangerTypeEnum			
	IfcSlabTypeEnum	IfcTimeOrRatioSelect	IfcHumidifierTypeEnum			
	IfcWallTypeEnum	IfcExternalReferenceResource	IfcLanguageId	IfcMedicalDeviceTypeEnum		
IfcWindowTypeEnum	IfcURIReference		IfcPipeFittingTypeEnum			
IfcSharedBldgServiceElements	IfcWindowTypePartitioningEnum	IfcExternalReferenceResource	IfcDocumentConfidentialityEnum	IfcPipeSegmentTypeEnum		
			IfcDocumentStatusEnum	IfcPumpTypeEnum		
			IfcClassificationReferenceSelect	IfcSpaceHeaterTypeEnum		
			IfcClassificationSelect	IfcTankTypeEnum		
IfcSharedFacilitiesElements	IfcLibrarySelect		IfcDocumentSelect	IfcTubeBundleTypeEnum		
	IfcResourceObjectSelect		IfcLibrarySelect	IfcUnitaryEquipmentTypeEnum		
	IfcCardinalPointReference		IfcResourceObjectSelect	IfcValveTypeEnum		
	IfcDirectionSenseEnum		IfcCardinalPointReference	IfcVibrationIsolatorTypeEnum		
IfcCostItemTypeEnum	IfcCostScheduleTypeEnum					
IfcCostScheduleTypeEnum						

**Tabella 3. Elenco delle voci Classes di IFC, Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico.**

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
IfcProcessExtension	IfcEvent	IfcSharedBldgServiceElements	IfcFlowController	IfcMaterialResource	IfcMaterialLayerWithOffsets
	IfcEventType		IfcFlowControllerType		IfcMaterialList
	IfcProcedure		IfcFlowFitting		IfcMaterialProfile
	IfcProcedureType		IfcFlowFittingType		IfcMaterialProfileSet
	IfcRelSequence		IfcFlowMovingDevice		IfcMaterialProfileSetUsage
	IfcTask		IfcFlowMovingDeviceType		IfcMaterialProfileSetUsageTapering
	IfcTaskType		IfcFlowSegment		IfcMaterialProfileWithOffsets
	IfcWorkCalendar		IfcFlowSegmentType		IfcMaterialProperties
	IfcWorkControl		IfcFlowStorageDevice		IfcMaterialRelationship
	IfcWorkPlan		IfcFlowStorageDeviceType		IfcMaterialUsageDefinition
IfcProductExtension	IfcWorkSchedule	IfcSharedMgmtElements	IfcFlowTerminal	IfcPresentationOrganizationResource	IfcLightDistributionData
	IfcAnnotation		IfcFlowTerminalType		IfcLightIntensityDistribution
	IfcBuilding		IfcFlowTreatmentDevice		IfcLightSource
	IfcBuildingElement		IfcFlowTreatmentDeviceType		IfcLightSourceAmbient
	IfcBuildingElementType		IfcRelFlowControlElements		IfcLightSourceDirectional
	IfcBuildingStorey		IfcOccupant		IfcLightSourceGoniometric
	IfcGeographicElement		IfcActionRequest		IfcLightSourcePositional
	IfcGeographicElementType		IfcCostItem		IfcLightSourceSpot
	IfcGrid		IfcCostSchedule		IfcPresentationLayerAssignment
	IfcOpeningElement		IfcPermit		IfcPresentationLayerWithStyle
	IfcOpeningStandardCase		IfcProjectOrder	IfcAirTerminal	
	IfcPort		Property	IfcAirTerminalBox	
	IfcRelAssociatesMaterial		IfcActuator	IfcAirTerminalBoxType	
	IfcRelConnectsElements		IfcActuatorType	IfcAirTerminalType	
	IfcRelConnectsPorts		IfcAlarm	IfcAirToAirHeatRecovery	
	IfcRelConnectsPortToElement		IfcAlarmType	IfcAirToAirHeatRecoveryType	
	IfcRelConnectsWithRealizingElements		IfcController	IfcBoiler	
	IfcRelContainedInSpatialStructure		IfcControllerType	IfcBoilerType	
	IfcRelFillsElement		IfcFlowInstrument	IfcBurner	
	IfcRelInterferesElements		IfcFlowInstrumentType	IfcBurnerType	
	IfcRelProjectsElement		IfcSensor	IfcChiller	
	IfcRelReferencedInSpatialStructure		IfcSensorType	IfcChillerType	
	IfcRelServicesBuildings		IfcUnitaryControlElement	IfcCoil	
	IfcRelSpaceBoundary		IfcUnitaryControlElementType	IfcCoilType	
	IfcRelSpaceBoundary1stLevel		IfcFireSuppressionTerminal	IfcCompressor	
	IfcRelSpaceBoundary2ndLevel		IfcFireSuppressionTerminalType	IfcCompressorType	
	IfcRelVoidsElement		IfcInterceptor	IfcCondenser	
	IfcSite		IfcInterceptorType	IfcCondenserType	
	IfcSpace		IfcSanitaryTerminal	IfcCooledBeam	
	IfcSpaceType		IfcSanitaryTerminalType	IfcCooledBeamType	
IfcSpatialElement	IfcStackTerminal	IfcCoolingTower			
IfcSpatialElementType	IfcStackTerminalType	IfcCoolingTowerType			
IfcSpatialStructureElement	IfcWasteTerminal	IfcDamper			
IfcSpatialStructureElementType	IfcWasteTerminalType	IfcDamperType			
IfcSpatialZone	IfcActorRole	IfcDuctFitting			
IfcSpatialZoneType	IfcAddress	IfcDuctFittingType			
IfcSystem	IfcOrganization	IfcDuctSegment			

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
	IfcTransportElement		IfcOrganizationRelationship		IfcDuctSegmentType
	IfcTransportElementType		IfcPerson		IfcDuctSilencer
	IfcVirtualElement		IfcPersonAndOrganization		IfcDuctSilencerType
	IfcZone		IfcPostalAddress		IfcEngine
IfcSharedBldgElements	IfcBuildingElementProxy	IfcDateTimeResource	IfcTelecomAddress		IfcEngineType
	IfcBuildingElementProxyType		IfcEventTime		IfcEvaporativeCooler
	IfcBuildingSystem		IfcIrregularTimeSeries		IfcEvaporativeCoolerType
	IfcCurtainWall		IfcIrregularTimeSeriesValue		IfcEvaporator
	IfcCurtainWallType		IfcLagTime		IfcEvaporatorType
	IfcDoor		IfcRecurrencePattern		IfcFan
	IfcDoorStandardCase		IfcRegularTimeSeries		IfcFanType
	IfcDoorType		IfcResourceTime		IfcFilter
	IfcRoof		IfcSchedulingTime		IfcFilterType
	IfcRoofType		IfcTaskTime		IfcFlowMeter
	IfcShadingDevice		IfcTaskTimeRecurring		IfcFlowMeterType
	IfcShadingDeviceType		IfcTimePeriod		IfcHeatExchanger
	IfcSlab		IfcTimeSeries		IfcHeatExchangerType
	IfcSlabElementedCase		IfcTimeSeriesValue		IfcHumidifier
	IfcSlabStandardCase		IfcWorkTime		IfcHumidifierType
	IfcSlabType		IfcClassification		IfcMedicalDevice
	IfcWall		IfcClassificationReference		IfcMedicalDeviceType
	IfcWallElementedCase		IfcDocumentInformation		IfcPipeFitting
	IfcWallStandardCase		IfcDocumentInformationRelationship		IfcPipeFittingType
	IfcWallType		IfcDocumentReference		IfcPipeSegment
IfcWindow	IfcExternalInformation	IfcPipeSegmentType			
IfcWindowStandardCase	IfcExternalReference	IfcPump			
IfcWindowType	IfcExternalReferenceRelationship	IfcPumpType			
IfcSharedBldgServiceElements	IfcDistributionChamberElement	IfcExternalReferenceResource	IfcLibraryInformation		IfcSpaceHeater
	IfcDistributionChamberElementType		IfcLibraryReference		IfcSpaceHeaterType
	IfcDistributionCircuit		IfcResourceLevelRelationship		IfcTank
	IfcDistributionControlElement		IfcMaterial		IfcTankType
	IfcDistributionControlElementType		IfcMaterialClassificationRelationship		IfcTubeBundle
	IfcDistributionFlowElement		IfcMaterialConstituent		IfcTubeBundleType
	IfcDistributionFlowElementType		IfcMaterialConstituentSet		IfcUnitaryEquipment
	IfcDistributionPort		IfcMaterialDefinition		IfcUnitaryEquipmentType
	IfcDistributionSystem		IfcMaterialLayer		IfcValve
	IfcEnergyConversionDevice		IfcMaterialLayerSet		IfcValveType
IfcEnergyConversionDeviceType	IfcMaterialLayerSetUsage	IfcVibrationIsolator			
					IfcVibrationIsolatorType

**Tabella 4. Elenco delle voci Property Sets di IFC, Versione 4.0, per quanto d'attinenza all'ambito energetico.**

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce	
IfcProductExtension	Pset_AnnotationContourLine	IfcBuildingControlsDomain	PEnum_FailPosition	IfcHvacDomain	Pset_HumidifierTypeCommon	
	Pset_AnnotationLineOfSight		PEnum_MovementSensingType		Pset_MedicalDeviceTypeCommon	
	Pset_AnnotationSurveyArea		PEnum_PressureGaugeType		Pset_PipeConnectionFlanged	
	Pset_BuildingCommon		PEnum_TemperatureSensorType		Pset_PipeFittingOccurrence	
	Pset_BuildingStoreyCommon		PEnum_ThermometerType		Pset_PipeFittingPHistory	
	Pset_BuildingUse		PEnum_UnitaryControlElementApplication		Pset_PipeFittingTypeBend	
	Pset_BuildingUseAdjacent		PEnum_WindSensorType		Pset_PipeFittingTypeCommon	
	Pset_EnvironmentalImpactIndicators	Pset_FireSuppressionTerminalTypeBreechingInlet	Pset_PipeFittingTypeJunction			
	Pset_EnvironmentalImpactValues	Pset_FireSuppressionTerminalTypeCommon	Pset_PipeSegmentOccurrence			
	Pset_LandRegistration	Pset_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant	Pset_PipeSegmentPHistory			
	Pset_OpeningElementCommon	Pset_FireSuppressionTerminalTypeHoseReel	Pset_PipeSegmentTypeCommon			
	Pset_SiteCommon	Pset_FireSuppressionTerminalTypeSprinkler	Pset_PipeSegmentTypeCulvert			
	Pset_SpaceCommon	Pset_InterceptorTypeCommon	Pset_PipeSegmentTypeGutter			
	Pset_SpaceCoveringRequirements	Pset_SanitaryTerminalTypeBath	Pset_PumpOccurrence			
	Pset_SpaceFireSafetyRequirements	Pset_SanitaryTerminalTypeBidet	Pset_PumpPHistory			
	Pset_SpaceLightingRequirements	Pset_SanitaryTerminalTypeCistern	Pset_PumpTypeCommon			
	Pset_SpaceOccupancyRequirements	Pset_SanitaryTerminalTypeCommon	Pset_ShadingDevicePHistory			
	Pset_SpaceParking	Pset_SanitaryTerminalTypeSanitaryFountain	Pset_SpaceHeaterPHistory			
	Pset_SpaceThermalRequirements	Pset_SanitaryTerminalTypeShower	Pset_SpaceHeaterTypeCommon			
	Pset_TransportElementCommon	Pset_SanitaryTerminalTypeSink	Pset_SpaceHeaterTypeConvect			
	Pset_TransportElementElevator	Pset_SanitaryTerminalTypeToiletPan	Pset_SpaceHeaterTypeRadiator			
	Pset_ZoneCommon	Pset_SanitaryTerminalTypeUrinal	Pset_SpaceThermalPHistory			
	IfcSharedBuildingElements	PEnum_AcquisitionMethod	IfcPlumbingFireProtectionDomain		Pset_SanitaryTerminalTypeWashHandBasin	Pset_TankOccurrence
		PEnum_ElementShading			Pset_StackTerminalTypeCommon	Pset_TankTypeCommon
		PEnum_ElementStatus			Pset_WasteTerminalTypeCommon	Pset_TankTypeExpansion
		PEnum_LifeCyclePhase			Pset_WasteTerminalTypeFloorTrap	Pset_TankTypePreformed
		Pset_BeamCommon			Pset_WasteTerminalTypeFloorWaste	Pset_TankTypePressureVessel
		Pset_BuildingElementProxyCommon			Pset_WasteTerminalTypeGullySump	Pset_TankTypeSectional
Pset_BuildingElementProxyProvisionForVoid		Pset_WasteTerminalTypeGullyTrap		Pset_TubeBundleTypeCommon		
Pset_BuildingSystemCommon		Pset_WasteTerminalTypeRoofDrain		Pset_TubeBundleTypeFinned		
Pset_CurtainWallCommon		Pset_WasteTerminalTypeWasteDisposalUnit		Pset_UnitaryEquipmentTypeAirConditioningUnit		
Pset_DoorCommon		Pset_WasteTerminalTypeW		Pset_UnitaryEquipmentTypeAir		

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
			asteTrap		rHandler
	Pset_DoorWindowGlazingType		PEnum_BackInletPatternType		Pset_UnitaryEquipmentTypeCommon
	Pset_RoofCommon		PEnum_BathType		Pset_ValvePHistory
	Pset_ShadingDeviceCommon		PEnum_BreachingInletCouplingType		Pset_ValveTypeAirRelease
	Pset_SlabCommon		PEnum_BreachingInletType		Pset_ValveTypeCommon
	Pset_WallCommon		PEnum_CisternHeight		Pset_ValveTypeDrawOffCock
	Pset_WindowCommon		PEnum_FireHydrantType		Pset_ValveTypeFaucet
			PEnum_FlushType		Pset_ValveTypeFlushing
	Pset_AirSideSystemInformation		PEnum_FountainType		Pset_ValveTypeGasTap
	Pset_DistributionChamberElementCommon		PEnum_GullyType		Pset_ValveTypeIsolating
	Pset_DistributionChamberElementTypeFormedDuct		PEnum_HoseNozzleType		Pset_ValveTypeMixing
	Pset_DistributionChamberElementTypeInspectionChamber		PEnum_HoseReelMountingType		Pset_ValveTypePressureReducing
	Pset_DistributionChamberElementTypeInspectionPit		PEnum_HoseReelType		Pset_ValveTypePressureRelief
	Pset_DistributionChamberElementTypeManhole		PEnum_InletPatternType		Pset_VibrationIsolatorTypeCommon
	Pset_DistributionChamberElementTypeMeterChamber		PEnum_SanitaryMounting		PEnum_AirHandlerConstruction
	Pset_DistributionChamberElementTypeSump		PEnum_ShowerType		PEnum_AirHandlerFanCoilArrangement
	Pset_DistributionChamberElementTypeTrench		PEnum_SinkType		PEnum_AirTerminalAirflowType
	Pset_DistributionChamberElementTypeValveChamber		PEnum_SprinklerActivation		PEnum_AirTerminalBoxArrangementType
	Pset_DistributionPortCommon		PEnum_SprinklerBulbLiquidColor		PEnum_AirTerminalBoxReheatType
	Pset_DistributionPortPHistoryCable		PEnum_SprinklerResponse		PEnum_AirTerminalCoreType
	Pset_DistributionPortPHistoryDuct		PEnum_SprinklerType		PEnum_AirTerminalDischargeDirection
	Pset_DistributionPortPHistoryPipe		PEnum_ToiletPanType		PEnum_AirTerminalFaceType
	Pset_DistributionPortTypeCable		PEnum_ToiletType		PEnum_AirTerminalFinishType
	Pset_DistributionPortTypeDuct		PEnum_TrapType		PEnum_AirTerminalFlowControlType
	Pset_DistributionPortTypePipe		PEnum_UrinalType		PEnum_AirTerminalFlowPattern
	Pset_DistributionSystemCommon		PEnum_WashHandBasinType		PEnum_AirTerminalLocation
	Pset_DistributionSystemTypeElectrical		Pset_MaterialCombustion		PEnum_AirTerminalMountingType
	Pset_DistributionSystemTypeVentilation		Pset_MaterialCommon		PEnum_AirTerminalShape
	Pset_OutsideDesignCriteria		Pset_MaterialConcrete		PEnum_AirToAirHeatTransferHeatTransferType
	Pset_SoundAttenuation		Pset_MaterialEnergy		PEnum_BackflowPreventerType
	Pset_SoundGeneration		Pset_MaterialFuel		PEnum_BoilerOperatingMode
	Pset_SpaceThermalDesign		Pset_MaterialHygroscopic		PEnum_CentrifugalFanArrangement
	Pset_SpaceThermalLoad		Pset_MaterialMechanical		PEnum_CentrifugalFanDischargePosition
	Pset_SpaceThermalLoadPHistory		Pset_MaterialOptical		PEnum_CentrifugalFanRotation
	Pset_ThermalLoadAggregate		Pset_MaterialSteel		PEnum_CoilConnectionDirection
	Pset_ThermalLoadDesignCriteria		Pset_MaterialThermal		PEnum_CoilCoolant
	Pset_UtilityConsumptionPHistory				
IfcSharedBldgServiceElements		IfcMaterialResource			

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
	PEnum_AirSideSystemDistributionType		Pset_MaterialWater		PEnum_CoilFluidArrangement
	PEnum_AirSideSystemType		Pset_MaterialWood		PEnum_CoilPlacementType
	PEnum_BuildingThermalExposure		Pset_MaterialWoodBasedBeam		PEnum_CompressedAirFilterType
	PEnum_ConductorFunctionEnum		Pset_MaterialWoodBasedPanel		PEnum_CompressorTypePowerSource
	PEnum_DistributionPortElectricalType		Pset_AirTerminalBoxPHistory		PEnum_ControlDamperOperation
	PEnum_DistributionPortGender		Pset_AirTerminalBoxTypeCommon		PEnum_CooledBeamActiveAirFlowConfigurationType
	PEnum_DistributionSystemElectricalCategory		Pset_AirTerminalOccurrence		PEnum_CooledBeamIntegratedLightingType
	PEnum_DistributionSystemElectricalType		Pset_AirTerminalPHistory		PEnum_CooledBeamPipeConnection
	PEnum_DuctConnectionType		Pset_AirTerminalTypeCommon		PEnum_CooledBeamSupplyAirConnectionType
	PEnum_DuctSizingMethod		Pset_AirToAirHeatRecoveryPHistory		PEnum_CooledBeamWaterFlowControlSystemType
	PEnum_PipeEndStyleTreatment		Pset_AirToAirHeatRecoveryTypeCommon		PEnum_CoolingTowerCapacityControl
	PEnum_SoundScale		Pset_BoilerPHistory		PEnum_CoolingTowerCircuitType
			Pset_BoilerTypeCommon		PEnum_CoolingTowerControlStrategy
	Pset_ActuatorPHistory		Pset_BoilerTypeSteam		PEnum_CoolingTowerFlowArrangement
	Pset_ActuatorTypeCommon		Pset_BoilerTypeWater		PEnum_CoolingTowerSprayType
	Pset_ActuatorTypeElectricActuator		Pset_BurnerTypeCommon		PEnum_DamperBladeAction
	Pset_ActuatorTypeHydraulicActuator		Pset_ChillerPHistory		PEnum_DamperBladeEdge
	Pset_ActuatorTypeLinearActuation		Pset_ChillerTypeCommon		PEnum_DamperBladeShape
	Pset_ActuatorTypePneumaticActuator	IfcHvacDomain	Pset_CoilOccurrence		PEnum_DamperOperation
	Pset_ActuatorTypeRotationalActuation		Pset_CoilPHistory		PEnum_DamperOrientation
	Pset_AlarmPHistory		Pset_CoilTypeCommon		PEnum_DamperSizingMethod
	Pset_AlarmTypeCommon		Pset_CoilTypeHydronic		PEnum_DuctSegmentShape
	Pset_ControllerPHistory		Pset_CompressorPHistory		PEnum_EndShapeType
	Pset_ControllerTypeCommon		Pset_CompressorTypeCommon		PEnum_EnergySource
IfcBuildingControlsDomain	Pset_ControllerTypeFloating		Pset_CondenserPHistory		PEnum_EngineEnergySource
	Pset_ControllerTypeMultiPosition		Pset_CondenserTypeCommon		PEnum_EvaporativeCoolerFlowArrangement
	Pset_ControllerTypeProgrammable		Pset_CooledBeamPHistory		PEnum_EvaporatorCoolant
	Pset_ControllerTypeProportional		Pset_CooledBeamPHistoryActive		PEnum_EvaporatorMediumType
	Pset_ControllerTypeTwoPosition		Pset_CooledBeamTypeActive		PEnum_FanApplicationType
	Pset_FlowInstrumentPHistory		Pset_CooledBeamTypeCommon		PEnum_FanCapacityControlType
	Pset_FlowInstrumentTypeCommon		Pset_CoolingTowerPHistory		PEnum_FanCoilPosition
	Pset_FlowInstrumentTypePressureGauge		Pset_CoolingTowerTypeCommon		PEnum_FanDischargeType
	Pset_FlowInstrumentTypeThermometer		Pset_DamperOccurrence		PEnum_FanMotorConnectionType
	Pset_SensorPHistory		Pset_DamperPHistory		PEnum_FanMotorPosition
	Pset_SensorTypeCommon				

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
	Pset_SensorTypeConductanceSensor		Pset_DamperTypeCommon		PEnum_FanMountingType
	Pset_SensorTypeContactSensor		Pset_DamperTypeControlDamper		PEnum_FaucetFunction
	Pset_SensorTypeFireSensor		Pset_DamperTypeFireDamper		PEnum_FaucetOperation
	Pset_SensorTypeFlowSensor		Pset_DamperTypeFireSmokeDamper		PEnum_FaucetType
	Pset_SensorTypeGasSensor		Pset_DamperTypeSmokeDamper		PEnum_FilterAirParticleFilterSeparationType
	Pset_SensorTypeHeatSensor		Pset_DuctFittingOccurrence		PEnum_FilterAirParticleFilterType
	Pset_SensorTypeHumiditySensor		Pset_DuctFittingPHistory		PEnum_FilterWaterFilterType
	Pset_SensorTypeIonConcentrationSensor		Pset_DuctFittingTypeCommon		PEnum_FireDamperActuationType
	Pset_SensorTypeLevelSensor		Pset_DuctSegmentOccurrence		PEnum_FireDamperClosureRating
	Pset_SensorTypeLightSensor		Pset_DuctSegmentPHistory		PEnum_FlowMeterPurpose
	Pset_SensorTypeMoistureSensor		Pset_DuctSegmentTypeCommon		PEnum_GasType
	Pset_SensorTypeMovementSensor		Pset_DuctSilencerPHistory		PEnum_HeatExchangerArrangement
	Pset_SensorTypePHSensor		Pset_DuctSilencerTypeCommon		PEnum_HeatTransferMedium
	Pset_SensorTypePressureSensor		Pset_EngineTypeCommon		PEnum_HumidifierApplication
	Pset_SensorTypeRadiationSensor		Pset_EvaporativeCoolerPHistory		PEnum_HumidifierInternalControl
	Pset_SensorTypeRadioactivitySensor		Pset_EvaporativeCoolerTypeCommon		PEnum_IsolatingPurpose
	Pset_SensorTypeSmokeSensor		Pset_EvaporatorPHistory		PEnum_MeterReadOutType
	Pset_SensorTypeSoundSensor		Pset_EvaporatorTypeCommon		PEnum_MixingValveControl
	Pset_SensorTypeTemperatureSensor		Pset_FanCentrifugal		PEnum_PipeFittingJunctionType
	Pset_SensorTypeWindSensor		Pset_FanOccurrence		PEnum_PumpBaseType
	Pset_UnitaryControlElementPHistory		Pset_FanPHistory		PEnum_PumpDriveConnectionType
	Pset_UnitaryControlElementTypeCommon		Pset_FanTypeCommon		PEnum_RefrigerantClass
	Pset_UnitaryControlElementTypeIndicatorPanel		Pset_FilterPHistory		PEnum_SpaceHeaterConvectortype
	Pset_UnitaryControlElementTypeThermostat		Pset_FilterTypeAirParticleFilter		PEnum_SpaceHeaterHeatTransferDimension
	Pset_SensorTypeCO2Sensor		Pset_FilterTypeCommon		PEnum_SpaceHeaterPlacementType
	Pset_SensorTypeFrostSensor		Pset_FilterTypeCompressedAirFilter		PEnum_SpaceHeaterRadiatorType
	Pset_SensorTypeIdentifierSensor		Pset_FilterTypeWaterFilter		PEnum_SpaceHeaterTemperatureClassification
	PEnum_ActuatorApplication		Pset_FilterTypeWaterFilter		PEnum_TankAccessType
	PEnum_ControllerApplication		Pset_FlowMeterOccurrence		PEnum_TankComposition
	PEnum_ControllerMultiPositionType		Pset_FlowMeterTypeCommon		PEnum_TankPatternType
	PEnum_ControllerProportionalType		Pset_FlowMeterTypeEnergyMeter		PEnum_TankStorageType
	PEnum_ControllerTwoPositionType		Pset_FlowMeterTypeGasMeter		PEnum_ValveMechanism
	PEnum_ControllerTypeFloating		Pset_FlowMeterTypeOilMeter		PEnum_ValveOperation
	PEnum_ControllerTypeProgram		Pset_FlowMeterTypeWaterMeter		PEnum_ValvePattern
			Pset_HeatExchangerTypeCo		

Dominio	Voce	Dominio	Voce	Dominio	Voce
	mable		mmon		
	PEnum_ElectricActuatorType		Pset_HeatExchangerTypePlate		PEnum_WaterMeterType
			Pset_HumidifierPHistory		

**Tabella 5. Elenco delle voci Quantity Sets di IFC, Versione 4.0, per quanto d’attinenza all’ambito energetico.**

Dominio	Voce	Dominio	Voce
IfcProductExtension	Qto_BuildingBaseQuantities	IfcHvacDomain	Qto_CooledBeamBaseQuantities
	Qto_BuildingStoreyBaseQuantities		Qto_CoolingTowerBaseQuantities
	Qto_OpeningElementBaseQuantities		Qto_DamperBaseQuantities
	Qto_ProjectionElementBaseQuantities		Qto_DuctFittingBaseQuantities
	Qto_SiteBaseQuantities		Qto_DuctSegmentBaseQuantities
	Qto_SpaceBaseQuantities		Qto_DuctSilencerBaseQuantities
IfcSharedBldgElements	Qto_CurtainWallQuantities		Qto_EvaporativeCoolerBaseQuantities
	Qto_DoorBaseQuantities		Qto_EvaporatorBaseQuantities
	Qto_RoofBaseQuantities		Qto_FanBaseQuantities
	Qto_SlabBaseQuantities		Qto_FilterBaseQuantities
	Qto_WallBaseQuantities		Qto_FlowMeterBaseQuantities
	Qto_WindowBaseQuantities		Qto_HeatExchangerBaseQuantities
IfcSharedBldgServiceElements	Qto_DistributionChamberElementBaseQuantities		Qto_HumidifierBaseQuantities
IfcBuildingControlsDomain	Qto_ActuatorBaseQuantities		Qto_PipeFittingBaseQuantities
	Qto_AlarmBaseQuantities		Qto_PipeSegmentBaseQuantities
	Qto_ControllerBaseQuantities		Qto_PumpBaseQuantities
	Qto_FlowInstrumentBaseQuantities		Qto_SpaceHeaterBaseQuantities
	Qto_SensorBaseQuantities		Qto_TankBaseQuantities
	Qto_UnitaryControlElementBaseQuantities		Qto_TubeBundleBaseQuantities
IfcHvacDomain	Qto_AirTerminalBaseQuantities		Qto_UnitaryEquipmentBaseQuantities
	Qto_AirTerminalBoxTypeBaseQuantities		Qto_ValveBaseQuantities
	Qto_AirToAirHeatRecoveryBaseQuantities	Qto_VibrationIsolatorBaseQuantities	
	Qto_BoilerBaseQuantities	Qto_FireSuppressionTerminalBaseQuantities	
	Qto_BurnerBaseQuantities	Qto_InterceptorBaseQuantities	
	Qto_ChillerBaseQuantities	Qto_SanitaryTerminalBaseQuantities	
	Qto_CoilBaseQuantities	Qto_StackTerminalBaseQuantities	
	Qto_CompressorBaseQuantities	Qto_WasteTerminalBaseQuantities	
	Qto_CondenserBaseQuantities		
	IfcPlumbingFireProtectionDomain		

### 3.2.2 L’IDM (Information Delivery Manual)

L’IDM (letteralmente, “manuale per la consegna delle informazioni”) indica come documentare, in modo univoco, lo scambio informativo necessario a un determinato scopo e che coinvolga almeno due software [17].

L’IDM si può identificare come una mappa dei processi, in cui si identificano i vari attori coinvolti nell’iter produttivo e vengono coordinati nelle fasi e modalità di consegna. È una pratica ben conosciuta e utilizzata dai project manager, ma che aggiunge, alle classiche mappe gestionali di un progetto, il flusso di dati e la convalida dei modelli. In sintesi l’IDM definisce:

- Le fasi progettuali
- La modalità e la disposizione delle figure professionali coinvolte
- Le informazioni che devono essere scambiate ed implementate (Exchange Requirements, ER)
- I modelli e gli elementi che devono essere inseriti e sviluppati
- Controlli e soluzioni ai problemi
- Convalida dei modelli

All’interno dell’IDM assumono pertanto un ruolo fondamentale gli esperti dei sub-processi edilizi coinvolti nello scambio. Ne sono un esempio un ingegnere energetico che, per sviluppare una simulazione dei consumi per la redazione di un progetto definitivo, richieda la trasmittanza termica degli elementi d’involucro, oppure un’azienda di fornitura di calcestruzzo armato che necessiti delle caratteristiche dei materiali per raggiungere proporzioni di miscelazione prima dell’esecuzione delle opere. BuildingSMART specifica come ogni IDM sia formato da componenti standard [18], [19]. Da un lato, la rappresentazione dei

flussi informativi è redatta attraverso una Process Map (PM), per descrivere la relazione tra attori e prodotti dello scambio informativo, oppure una Interaction/Transaction Map, che pone l'attenzione sulla sequenza degli scambi. Dall'altro, la descrizione delle entità e delle proprietà dello scambio informativo è strutturata attraverso i cosiddetti requisiti informativi di scambio (Exchange Information Requirements). Essi esprimono in forma tabellare le informazioni esplicitate dalla descrizione grafica e sintetica precedentemente illustrata. Le richieste sono organizzate attraverso unità d'informazione (Functional Part) ed eventualmente vincoli (ad esempio tipi di dato associati a una caratteristica o limiti di valore di una proprietà). Ogni IDM si conclude con l'implementazione di una rappresentazione diagrammatica, chiamata Exchange Requirements Model (ERM), per agevolare la successiva implementazione di una MVD.

### 3.2.3 La MVD (Model View Definition)

La MVD (letteralmente "specifica di una vista di modello") ha una duplice definizione:

- È innanzitutto un sotto-insieme dello schema IFC, tale da delimitare estensione e utilizzo dei modelli, restringendo l'ambito di utilizzo a flussi specifici in relazione ai software utilizzati.
- Ogni MVD è inoltre la traduzione computazionale dei requisiti informativi definiti dallo sviluppo di uno o più IDM e per questo deve avere una propria implementazione all'interno di software BIM [20].

All'interno del processo di definizione degli scambi informativi open BIM, una MVD è la traduzione in formato elettronico, all'interno dello schema IFC, delle informazioni contenute in un IDM, specificate attraverso le functional parts. L'attività di traduzione è però complessa, richiedendo una conoscenza approfondita della struttura di IFC e necessitando di programmazione.

Ciascuna MVD assolve alle seguenti funzioni:

- Serve da schema compositivo degli elementi e delle informazioni del modello;
- Serve a controllare che i dati presenti nel modello siano quelli definiti nel progetto (e nell'IDM);
- Controlla che gli elementi inseriti nel modello e le relazioni di coordinamento (parametri, attributi, quantità, etc.) siano compatibili con lo schema.

In breve, le MVD sono utilizzate per la convalida dei modelli IFC, ovvero per la verifica che configurazione e disposizione dei dati in uscita dal software utilizzato per la progettazione, definendo quali siano le informazioni che devono essere compilate nel modello e che rispettino la struttura della versione utilizzata. Le MVD vengono utilizzate dai software per produrre il file IFC a partire dal set informativo proprietario della piattaforma BIM. Le MVD ufficiali vengono quindi implementate dai principali software in fase d'importazione ed esportazione.

BuldingSmart ha pubblicato alcuni MVD, ma attualmente non è presente un MVD consolidato di riferimento per i modelli dedicati al calcolo energetico. A scopo illustrativo, si fa riferimento alle principali MVD pubblicate:

- La Coordination View Versione 2.0 è una MVD di IFC 2x3 (CV 2.0 MVD), ed è finalizzata a garantire il coordinamento dei modelli disciplinari, in termini di visualizzazione e analisi di interferenze. Di conseguenza nei file .ifc gestiti, esportati o importati attraverso CV 2.0 non sono gestite le classi afferenti a tutti i domini specialistici (quali construction management, carichi strutturali, gestione dei costi, etc.), alcune classi geometriche (ad esempio, la IfcCsgSolid è esclusa) e i *quantity sets*.
- La Reference View (RV 1.2) è una MVD di IFC4 [21] eredita dalla precedente alcuni utilizzi. Oltre a supportare il coordinamento dei modelli, visuale e computazionale, per il controllo delle interferenze, essa rende possibile la costruzione di computi metrici e programmi operativi per la costruzione. Pertanto, tutti gli elementi sono rappresentati attraverso l'uso di superfici mesh (BodyTessellationGeometry) e solidi di traslazione (Body SweptSolid Geometry e Body AdvancedSweptSolid Geometry), tali da garantire un'accurata rappresentazione dei volumi.
- La Design Transfer View (DTV) è una MVD di IFC4 che si pone l'obiettivo di garantire, a differenza delle precedenti, il trasferimento delle informazioni di progetto da un software all'altro, rendendo possibili successive integrazioni ed estensioni. Importante aggiunta rispetto alle precedenti è costituita dall'abilitazione di alcuni metodi geometrici (IfcCsgSolid, IfcAdvancedBrep, IfcFacetedBrep). Viene inoltre supportata la descrizione parametrica dei profili per la definizione degli elementi in ambito strutturale.

### 3.3 Lo standard gbXML (green building eXtensible Markup Language)

#### 3.3.1 Cenni storici

Lo standard gbXML è oggi, de facto, lo standard più supportato per lo scambio di dati inerenti all'energetica nell'edilizia. Esso ha una storia ventennale, sinteticamente definita nelle righe sottostanti:

- 1999: Inizia lo sviluppo dello standard Green Building XML, ad opera dell'azienda "Green Building Studio, Inc.", finanziato dal PIER Program della "California Energy Commission", dalla "Pacific Gas and Electric" e da "Green Building Studio, Inc." stessa, per la sua inclusione all'interno di aecXML™, iniziativa lanciata da Bentley Systems;
- 2000 (Giugno): Viene pubblicata la prima versione dello standard gbXML;
- 2002: Viene pubblicato il sito gbXML.org per promuovere lo sviluppo e la diffusione dello standard;
- 2008: Autodesk acquisisce l'azienda "Green Building Studio, Inc.";
- 2009: Lo standard gbXML viene affidato a un consorzio no-profit di software-house denominato "Open Green Building XML Schema, Inc.". Da questo momento inizia la vera diffusione di gbXML.
- 2018: Viene pubblicato sul sito un visualizzatore gbXML online e gratuito [22].

#### 3.3.2 Aspetti tecnici

Lo standard gbXML adotta il formato aperto di scambio XML (eXtensible Markup Language), specializzandolo per lo scambio d'informazioni inerenti all'energetica. Il formato XML nasce per lo scambio d'informazioni tra siti/programmi senza intervento umano. È un linguaggio marcatore che associa a ciascuna informazione un tag personalizzato, consentendo anche di gerarchizzare le informazioni attraverso relazioni di appartenenza (annidamento) e collaborazione (successione). I tag sono prestabiliti dal consorzio gbXML, costituendo il (ricco) dizionario di elementi/informazioni disponibili all'utente. Lo standard gbXML annovera circa 500 voci, ivi inclusi tipi d'elementi e d'attributi utili all'analisi energetica.

Dunque, nel corso dell'esportazione in gbXML, i software di BIM authoring redigono un file XML inserendo le informazioni da trasferire entro tag marcatori predefiniti, riconosciuti dai software di analisi energetica che supportano l'importazione da gbXML.

La versione attuale è la 6.01, pubblicata nel gennaio 2017. Le voci che la compongono sono elencate in Tabella 6 (voci elemento) e Tabella 7 (voci tipo), sì da render intuibili al lettore gli elementi e i relativi livelli d'approfondimento presenti all'interno dello standard gbXML.

Infine, la Tabella 8 raccoglie i principali software compatibili per l'esportazione/importazione in/da gbXML.

Nella rappresentazione di un modello creato in gbXML, tutte le entità sono semplificate in superfici, differenziate per tipologia di elemento (in Figura 4, rappresentate con diversi colori), ognuna contenente le relative informazioni, attributi e collegamenti ad altre entità, elementi e proprietà quali le caratteristiche dei materiali e dei componenti impiantistici, la posizione geografica, i proprietari del file, i progettisti, etc.

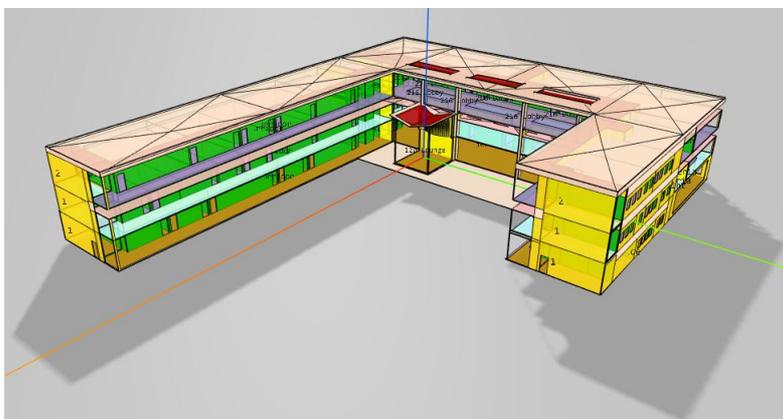


Figura 4. Esempio di visualizzazione di un modello gbXML all'interno del tool Ladybug [23].

**Tabella 6. Elenco alfabetico delle voci elemento di gbXML, Versione 6.01 [24].**

Absorptance	DDWindDirCool	InputWatts	ProductName
Address1	DDWindDirHeat	InsideAirFilmResistance	ProgramInfo
Address2	DDWindSpeedCool	IntEquip	ProjectEntity
AdjacentSpaceId	DDWindSpeedHeat	IntEquipId	R-value
aecXML	DeltaP	Lamp	RatedFlow
Age	DeltaT	LastName	RecircFlow
AirChangesPerHour	Density	LatentHeatRecoveryEffectiveness	RectangularGeometry
AirLoop	DensityFofT	LatentLoad	RecycledContent
AirLoopEquipment	DependentValue	Latitude	Reference
AirLoopEquipmentId	DependentVariable	Layer	Reflectance
AirLoopId	Description	LayerId	RefrigerantType
AirStreamFraction	DesignCoolT	Length	ResetTemperature
AirTemperature	DesignFlow	Level	Results
Albedo	DesignHeatT	Life	Roughness
AltEnergySource	DesignPressure	LightControllId	RTSPParameters
Area	DesignTemp	LightId	Schedule
AverageNumberOfFloors	Dimensions	Lighting	ScheduleTypeLimits
Azimuth	DocumentHistory	LightingControl	ScheduleValue
Ballast	EconomizerLockout	LightingSystem	SecondaryFlow
BaseboardHeatingCapacity	Efficiency	LightPowerPerArea	SensibleHeatRecoveryEffectiveness
BaseboardHeatingType	ElecLoad	LoadCalcInputParameters	Setback
BeginDate	Elevation	Location	ShadeControl
BiomassDensity	Email1Address	Longitude	ShadeSchedule
Blind	EmissionRate	LowerLimitValue	ShadingCoeff
BlowerDoorValue	Emittance	LowValue	ShellGeometry
Building	EndDate	LumensPerLamp	SimulationParameters
BuildingStorey	Energy	Luminaire	SinkRate
CADMaterialId	Enthalpy	ManualJ8Parameters	SolarHeatGainCoeff
CADModelAzimuth	Equation	Manufacturer	SolarOnOpening
CADModelId	EquipPowerPerArea	Material	Space
CADObjectId	Expression	MaterialId	SpaceBoundary
Campus	ExtEquip	MaximumFlow	SpecificHeat
Capacity	ExtEquipId	MaximumFlowFractionDuringReheat	State
CartesianPoint	FamilyName	MaxOAFlowPerZone	StateOrProvince
CDD	FileName	MaxPressure	StationId
CDDValue	Fire	MaxRelativeHumidity	StreetAddress
City	FireFace	MaxTemp	SupplementalGasHeatingCoilEfficiency
ClosedShell	FirstName	Meter	SupplementalGasHeatingCoilParasiticElectricLoad
CLTDParameters	FloorSlabHeatLossCoefficient	MeterId	SupplementalHeatingCoilCapacity
CoefficientOfUtilization	Flow	MiddleName	SupplementalHeatingCoilType
CompanyName	FlowControl	MinFlow	Surface
Conductivity	FlowPerArea	MinimumFlow	Temp
ConductivityFofT	FlowPerPerson	MinimumOutdoorAirControlType	Temperature
Construction	FlowType	MinLightFrac	TemperatureControl
Control	FractionOnCyclePowerUse	MinOAFlowPerZone	Thickness
ConvergenceLimits	Frame	MinPowerFrac	Tilt
CoolingCoilSetpointResetType	FuelLoad	MinPressure	TimeIncrement
CoolingCoilType	Gap	MinRelativeHumidity	Transmittance
CoolingSizingFactor	GapId	MinTemp	Transportation
Coordinate	GasPreheatCoilEfficiency	Model	TypeCode
Cost	GasPreheatCoilParasiticElectricLoad	ModifiedBy	U-value
CostValue	gbXML	MotorInAirstream	UpperLimitValue
Country	GeneralGeometry	Name	URI
CreatedBy	Glare	NaturalVentHiTemp	UtilityRate

CyclesPerWeek	Glaze	NaturalVentLoTemp	Value
CyclingRateMax	GlazeConductivity	NaturalVentOccDep	Vegetation
DamperHeatingAction	Glazeld	NightCycleControl	Version
Data	GroundTemp	NumberOfLamps	Viscosity
Day	GroundTempValue	OAFlowPerArea	ViscosityFofT
DaylightSavings	GUID	OAFlowPerPerson	Volume
DaySchedule	HDD	OAFlowPerZone	WasteWaterHREff
DDDayCool	HDDValue	ObjectId	WaterLoss
DDDayHeat	HeatingCoilSetpointResetType	Opening	WaterRate
DDDaylightCool	HeatingSizingFactor	OperationRange	WaterUsePerCycle
DDDaylightHeat	HeatPumpDefrostControl	OperationSchedule	Weather
DDDBCool	HeatPumpDefrostStrategy	ParallelFanOnFlowFraction	WebPage
DDDBHeat	HeatPumpFanDelayTime	PeakDomesticHotWaterFlow	WeekSchedule
DDDBRangeCool	HeatPumpTimeConstant	PeopleHeatGain	WeekScheduleId
DDDBRangeHeat	HeatRecoveryType	PeopleNumber	Weight
DDGroundTCool	HeatRejectedtoSpace	PercentAreaDaylitControlled	WFTDPPressure
DDGroundTHeat	Height	PercentExisting	WFTDRelHumidity
DDHiHrCool	HighLimit	Performance	WFTDTemp
DDHiHrHeat	HighValue	Permeance	WFTDWindDir
DDLoHrCool	HolidayDate	PersonInfo	WFTDWindSpeed
DDLoHrHeat	HolidaysModeled	PhoneNumber	Width
DDMonthCool	HorizontalSolar	Photometry	WindowType
DDMonthHeat	HOutside	PhotometryOrientation	WindSpeed
DDPressureCool	HydronicLoop	PlanarGeometry	XAxis
DDPressureHeat	HydronicLoopEquipment	Platform	YAxis
DDRainCool	HydronicLoopEquipmentId	PointData	YearModeled
DDRainHeat	HydronicLoopId	PolyLoop	YearSchedule
DDSkyClearnessCool	Illuminance	Porosity	ZipCode
DDSkyClearnessHeat	ImageTexture	Power	ZipcodeOrPostalCode
DDSnowCool	IndependentValue	PrandtlNumber	Zone
DDSnowHeat	IndependentVariable	PrandtlNumberFofT	ZoneCoolingLoad
DDWBCool	IndoorAirQuality	PreheatCoilType	
DDWBHeat	InfiltrationFlow	PressureControl	

**Tabella 7. Elenco alfabetico delle voci tipo di gbXML, Versione 6.01 [25].**

absorptanceUnitEnum	fluidTypeEnum	roofCTSTypeEnum
airTemperatureTypeEnum	frameTypeEnum	roughnessValueEnum
areaUnitEnum	fuelLoadUnitEnum	scheduleTypeEnum
baseboardHeatingTypeEnum	gasTypeEnum	scheduleTypeLimitsEnum
blowerDoorUnitEnum	heatingCoilSetpointResetTypeEnum	shadeOperationEnum
buildingTypeEnum	heatRecoveryTypeEnum	shadeScheduleTypeEnum
capacityTypeEnum	hOutsideUnitTypeEnum	shadeTypeEnum
capacityUnitEnum	hydronicEquipTypeEnum	sinkRateUnitEnum
conditioningTypeEnum	illuminanceUnitEnum	spaceTypeEnum
conditioningUnitEnum	infiltrationTypeEnum	specificHeatUnitEnum
conditionTypeEnum	intEquipTypeEnum	stageTypeEnum
conductivityFofTUnitEnum	inverseTempUnitEnum	standardsTypeEnum
conductivityUnitEnum	lengthUnitEnum	stationIdTypeEnum
controlTypeEnum	lifeUnitEnum	supplementalHeatingCoilTypeEnum
coolingCoilSetpointResetTypeEnum	lightControlTypeEnum	surfaceDescriptionEnum
coolingCoilTypeEnum	loadUnitEnum	surfaceReferenceLocationEnum
costTypeEnum	loopTypeEnum	surfaceTypeEnum
currencyTypeEnum	minimumOutdoorAirControlTypeEnum	systemTypeEnum
damperHeatingActionEnum	nightCycleControlEnum	temperatureUnitEnum
dayTypeEnum	openingTypeEnum	tempTypeEnum
defrostControlEnum	operationTypeEnum	timePeriodEnum
defrostStrategyEnum	peopleHeatGainTypeEnum	timeUnitEnum
deltaPUnitEnum	peopleHeatGainUnitEnum	transportationTypeEnum
densityFofTUnitEnum	peopleNumberUnitEnum	unitlessSmallUnitEnum
densityUnitEnum	permUnitEnum	unitlessUnitEnum
directionUnitEnum	powerPerAreaUnitEnum	uValueUnitEnum
economizerLockoutEnum	powerTypeEnum	valueTypeEnum
efficiencyTypeEnum	powerUnitEnum	vegetationTypeEnum
emissionUnitEnum	powerUseTypeEnum	velocityUnitEnum
emittanceTypeEnum	preheatCoilTypeEnum	versionEnum
energyUnitEnum	pressureUnitEnum	viscosityFofTUnitEnum
enthalpyTypeEnum	radiationWavelengthTypeEnum	viscosityUnitEnum
enthalpyUnitEnum	reflectanceTypeEnum	volumeUnitEnum
entityTypeEnum	resetTemperatureTypeEnum	wallASHRAEGroupEnum
equipmentTypeEnum	resistanceUnitEnum	wallColorEnum
extEquipTypeEnum	resourceTypeEnum	wallCTSTypeEnum
floorCategoryEnum	resultsExtraResourceTypeEnum	wallGroupManualJEnum
floorSlabPerimeterHeatLossCoefficientUnitTypeEnum	resultsTypeEnum	waterUseUnitEnum
flowPerAreaUnitEnum	roofASHRAENumberEnum	weightUnitEnum
flowTypeEnum	roofCLTDIndexEnum	windSpeedEnum
flowUnitEnum	roofColorEnum	

**Tabella 8. Elenco dei principali software che utilizzano gbXML in esportazione e/o importazione [26].**

Sviluppatore	Software	Scopo	Certificazione gbXML
Artifice	Design Workshop	Modellazione BIM	
Autodesk	AutoCAD Architecture	Modellazione BIM	
Autodesk	AutoCAD MEP	Modellazione BIM	
Autodesk	Autodesk Revit	Modellazione BIM	
Bentley	Bentley OpenBuildings Designer	Modellazione BIM	
Bentley	Bentley Architecture	Modellazione BIM	
Bentley	Bentley Building Mechanical Systems	Modellazione BIM	
Bentley	Bentley OpenBuildings Speedikon	Modellazione BIM	
Cadsoft	Envisioneer	Modellazione BIM	
Data Design System	DDS-CAD	Modellazione BIM	
Digital Alchemy	Simergy / Building Model Creator™	Modellazione BIM	
Graphisoft	ArchiCAD	Modellazione BIM	
Nemetschek Vectorworks	Vectorworks Architect 2013	Modellazione BIM	
Onuma	Onuma BIMStorm	Modellazione BIM	
Rhinoceros 3D	Rhino 3D and Grasshopper	Modellazione BIM	
Trimble	SketchUp	Modellazione BIM	
Arup	EnergySave	Analisi energetica	
ASHRAE	Building EQ	Certif. energetica	
Autodesk	Autodesk Viewer	Analisi energetica	
Autodesk	Green Building Studio (Legacy)	Analisi energetica	
Autodesk	Insight	Analisi energetica	
Autodesk	Revit Systems Analysis	Analisi energetica	
Bentley	Bentley OpenBuildings Designer	Analisi energetica	
Bentley	Bentley-Hevacomp	Analisi energetica	
Bionova Ltd.	One Click LCA	Analisi energetica	
blueCape	BlueCFD-AIR	Analisi energetica	
BuildSimHub	BuildSim Cloud	Analisi energetica	
BuroHappold	BHoM - Buildings and Habitats object Model	Analisi energetica	
CADLine	Cymap	Analisi energetica	
Carrier	HAP (Hourly Analysis Program)	Analisi energetica	
CYPE	CYPETHERM Loads, HVAC, EPlus, and CYPELUX	Analisi energetica	
DesignBuilder	DesignBuilder	Analisi energetica	
DIALux	DIALux 8.2	Analisi energetica	
Digital Alchemy	Simergy	Analisi energetica	
E4 Tech	Lesosai	Analisi energetica	
Elite Software	Chvac - Commercial HVAC Load Calculations	Analisi energetica	
EnergySoft, LLC	EnergyPro	Analisi energetica	
Environmental Design Solutions Ltd	Tas	Analisi energetica	
ENVISYS	EVEBI	Analisi energetica	
eTool	eToolLCD	Analisi energetica	
greenspace Live	greenspace Live Energy Design and Analysis Tools	Analisi energetica	
HVAC Solution	HVAC Solution	Analisi energetica	
IES Limited	Virtual Environment (VE)	Analisi energetica	
IZUBA énergies	Pleiades	Analisi energetica	
Ladybug Tools	Ladybug Tools gbXML Viewer	Visualizzazione	
mh-software GmbH	RaumGEO	Analisi energetica	
National Renewable Energy Lab.	BuildingSync®	Diagrammazione	
National Renewable Energy Lab.	Open Studio	Analisi energetica	Livello 2
National University of Ireland, Cork	Cylon Controls Ltd. & Ace Controls Ltd.	Analisi energetica	
Openergy	Oplus	Analisi energetica	
Relux Informatik AG	ReluxSuite	Analisi energetica	
Sankom Sp. z o.o.	Auditor OZC 6.9 Pro	Analisi energetica	
Software fur Haustechniker	Win_Ht	Analisi energetica	
Solar-Computer	Green-Building-Information-System (GBIS)	Analisi energetica	
SPEED from Perkins and Will	SPEED	Analisi energetica	
Talece	BIMPort	Visualizzazione	
Trane	TRACE® 3D Plus	Analisi energetica	
Trane	TRACE™ 700	Analisi energetica	

### 3.4 Assunzione dello standard IFC quale base per l'integrazione degli aspetti energetici

Nonostante lo standard gbXML appaia più estesamente supportato dello standard IFC, nell'esportazione e importazione di progetti BIM finalizzate alla progettazione/analisi energetica, per le fasi successive di questo studio si sceglie di utilizzare lo standard IFC quale base per l'integrazione degli aspetti energetici, in quanto:

- Il BIM è finalizzato alla totalità delle fasi di vita dell'edificio. Stakeholders coinvolti in fasi diverse del ciclo di vita dell'edificio possono quindi lavorare sul medesimo elemento/sistema e dividerne parte delle informazioni. È dunque necessario che le informazioni assunte/inserite dal progettista/analista energetico siano condivisibili con gli altri stakeholders, implicando quindi una bidirezionalità del flusso informativo. Questo è un principio fondante per lo standard IFC, mentre lo standard gbXML nasce come uno strumento di scambio unidirezionale dal BIM verso gli strumenti di progettazione/analisi energetica.
- Il BIM usa un approccio totale, volto a coprire tutte le discipline attinenti. In tale ambito, lo standard IFC si rivela molto più maturo rispetto allo standard gbXML, indirizzato al solo campo energetico. Si potrebbe pensare di utilizzare convertitori IFC↔gbXML, come già avvenuto nel progetto ifcXML [27], tuttavia la complessità nel mantenere coerenti e aggiornati due standard paralleli (e i tool di conversione) risulterebbe gravosa e poco favorevole verso una fluida gestione del modello BIM.
- Lo standard gbXML non comprende comunque tutti i parametri necessari a coprire l'intero ciclo di vita dell'edificio, pur se nel solo ambito energetico, quindi richiederebbe integrazioni per consentire una compiuta rappresentazione del sistema edificio-impianto.

Si sceglie dunque d'utilizzare quale base per il presente studio lo standard IFC e specificamente la versione 4.0.2.1, per la quale si proporranno integrazioni atte a renderla fruibile in tutte le applicazioni attinenti all'energetica, in tutte le principali fasi di vita dell'edificio, anche utilizzando l'esperienza maturata dallo standard gbXML. Ciò avverrà in perfetta coerenza con la norma UNI EN ISO 16739:2020 [28], senza creare o modificare elementi e relazioni già stabiliti da BuildingSmart e utili allo scopo.

Quale riferimento nella definizione dei parametri d'input/output si utilizzerà EnergyPlus [7], software consolidato nel settore dell'analisi energetica.

### 3.5 Normativa di riferimento in ambito BIM

Attualmente, le norme pubblicate a livello Nazionale ed Europeo sono tutt'ora in fase di sviluppo e non coprono il potenziale spettro d'uso dei BIM nell'intero ciclo di vita dell'edificio.

Dal punto di vista legislativo, in Italia, il decreto che introduce la tematica del BIM in modo obbligatorio per le amministrazioni e le stazioni appaltanti è il D.M. n.560 del 01 Dicembre 2017 [29], che dispone l'utilizzo dei metodi e dei processi informatici ed elettronici negli appalti pubblici, con una progressiva adozione annuale in base all'importo totale dei lavori, per divenire nel 2025 obbligatorio per tutti i contratti d'appalto inferiori al valore di un milione di euro. Questo decreto è applicato al settore dell'industria edilizia in tutte le sue fasi: progettazione, costruzione e gestione.

Le principali norme che invece fanno da riferimento alle figure coinvolte e che delineano come utilizzare i dispositivi elettronici nelle varie fasi, sono le ISO e le UNI. La normazione internazionale ha varie norme al riguardo, talune recepite a livello europeo e nazionale, quali le seguenti:

- EN ISO 19650 "Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling -- Information management using building information modelling";
- EN ISO 16739 "Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries";
- EN ISO 23387 "Building Information Modelling (BIM) — Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset — Concepts and principles";
- EN 17412 "Building Information Modelling - Level of Information Need".

Tra i Paesi che sono stati pionieri in questo campo citiamo la Gran Bretagna, che, tramite le British Standard, e in particolare la BS PAS 1192, ha sicuramente contribuito per prima a tracciare il cammino. Nel frattempo, l'ente italiano di normazione (UNI) ha pubblicato, o sta sviluppando, le seguenti norme:

- UNI/PdR 74 “Sistema di gestione BIM – Requisiti”;
- UNI/PdR 78 “Requisiti per la valutazione di conformità alla UNI 11337-7:2018”;
- UNI 11337 “Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni”;
- UNI EN ISO 19650 “Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modeling”.

Le principali norme attinenti al campo BIM sono sintetizzate in Tabella 9 e successivamente illustrate con maggior dettaglio.

**Tabella 9. Principali norme coinvolte nell'ambito della progettazione BIM.**

Codice	Titolo	Sommario/Sintesi	Note
UNI 11337-1:2017	Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Modelli, elaborati e oggetti informativi per prodotti e processi	<p>Questa norma interessa gli aspetti generali della gestione digitale del processo informativo nel settore delle costruzioni, quali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la struttura dei veicoli informativi;</li> <li>- la struttura informativa del processo;</li> <li>- la struttura informativa del prodotto.</li> </ul> <p>Questa norma è applicabile a qualsiasi tipologia di prodotto (risultante) di settore, sia esso un edificio o un'infrastruttura, e a qualsiasi tipologia di processo: di ideazione, produzione o esercizio. Siano essi rivolti alla nuova costruzione come alla conservazione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.</p>	<p>Pubblicata. In vigore dal 2017-01-26.</p>
UNI 11337-2	Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Criteri di denominazione e classificazione di modelli, prodotti e processi	<p>La metodologia di Gestione dei Progetti e dei Programmi digitalmente attuata attraverso il BIM innesca un processo per il controllo di tutte le fasi di vita dell'opera: progettazione, costruzione, gestione ed eventuale dismissione. I principali attori coinvolti sono ad esempio:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Committente;</li> <li>- Società di progettazione e di servizi;</li> <li>- Imprese;</li> <li>- Produttori di materiali e componenti;</li> <li>- Gestore dell'opera;</li> <li>- Organismi di valutazione della conformità.</li> </ul> <p>La presente prassi di riferimento definisce i requisiti di un Sistema di Gestione BIM (SGBIM, inteso come sistema di gestione digitalizzato di un'organizzazione supportato dall'information management) che un'organizzazione deve attuare per migliorare l'efficienza del processo di programmazione, progettazione, produzione, esercizio e manutenzione ed eventuale dismissione dell'opera. Lo scopo è fornire elementi funzionali alla certificazione del sistema di gestione BIM dell'organizzazione, sia esso un soggetto proponente o un soggetto incaricato.</p>	<p>In corso di sviluppo.</p>
UNI 11337-4:2017	Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Evoluzione e sviluppo informativo di modelli, elaborati e oggetti	<p>Questa norma interessa gli aspetti qualitativi e quantitativi della gestione digitalizzata del processo informativo nel settore delle costruzioni, a supporto del processo decisionale, con lo scopo di:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Specificare gli obiettivi di ciascuna delle fasi di un processo (numerate da 0 a 7) introdotte nella UNI 11337-1. Il modello, gli oggetti e gli elaborati informativi hanno carattere strumentale al raggiungimento di tali obiettivi;</li> <li>- Definire una scala comune di livello di sviluppo informativo degli oggetti relativi ai modelli;</li> <li>- Definire una scala comune di stati di lavorazione e di approvazione del contenuto informativo.</li> </ul> <p>Questa norma è applicabile a qualsiasi tipologia di prodotto (risultante) di settore (sia esso un edificio, un'infrastruttura, un intervento territoriale - ad esempio un bacino, una scogliera, etc.) e a qualsiasi tipologia di processo (d'ideazione, di produzione o d'esercizio), per interventi di nuova costruzione e di conservazione, demolizione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.</p>	<p>Pubblicata. In vigore dal 2017-01-26.</p>
UNI	Gestione digitale dei	La norma definisce i ruoli, le regole e i flussi necessari alla	Pubblicata.

11337-5:2017	processi informativi delle costruzioni – Flussi informativi nei processi digitalizzati	produzione, gestione e trasmissione delle informazioni e la loro connessione e interazione nei processi di costruzione digitalizzati.	In vigore dal 2017-01-26.
UNI/TR 11337-6:2017	Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Linea guida per la redazione del capitolato informativo	Questo rapporto tecnico fornisce una linea guida per la stesura del capitolato informativo come presentato nella UNI 11337-5. Esso fornisce indicazioni procedurali e uno schema generale dei contenuti del capitolato informativo. Il documento può essere applicato a capitolati informativi destinati a qualsiasi tipologia di prodotto risultante di settore, sia esso un edificio o un'infrastruttura, di nuova costruzione o conservazione e/o riqualificazione dell'ambiente o del patrimonio costruito.	In corso di sviluppo.
UNI 11337-7:2018	Gestione digitale dei processi informativi delle costruzioni – Requisiti di conoscenza, abilità e competenza delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa	La norma stabilisce i requisiti relativi all'attività professionale delle figure coinvolte nella gestione e nella modellazione informativa. Tali requisiti sono identificati con la suddivisione tra compiti e attività specifiche svolte dalla figura professionale in termini di conoscenza, abilità e competenza secondo il quadro europeo delle qualifiche (EQF). I requisiti sono indicati sia per consentire la valutazione dei risultati dell'apprendimento informale e non formale e sia ai fini di valutazione di conformità delle competenze.	Publicata. In vigore dal 2018-12-13.
UNI 11337-8	-	La norma tratta i processi d'integrazione tra attività e figure informative e attività e figure tradizionali del settore delle costruzioni.	In corso di sviluppo.
UNI 11337-9	-	La norma tratta la gestione informativa in fase di esercizio: la "Due Diligence", il rilievo digitale (nuvole di punti, termografie, tomografie, etc.), le regole di costruzione delle "Piattaforme di Collaborazione" aziendali (al di sopra delle librerie di oggetti e degli ambienti di condivisione di commessa ACDat/CDE) e, soprattutto, il "Fascicolo del Costruito" digitale (oltre il fascicolo del fabbricato, per comprendere non solo l'edilizia ma anche le infrastrutture e l'ambiente antropomorfo), oltre lo stadio di sviluppo per comprendere la gestione informativa in esercizio, nel ciclo di vita.	In corso di sviluppo.
UNI 11337-10	-	La norma sviluppa le linee guida per la gestione informativa digitale degli aspetti amministrativi.	In corso di sviluppo.
UNI EN ISO 19650-1:2019	Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione informativa mediante il Building Information Modeling - Parte 1: Concetti e principi	La norma descrive i concetti e i principi per la gestione delle informazioni in uno stadio di maturità denominato "Building Information Modeling (BIM) secondo la serie ISO 19650". La norma mette a disposizione raccomandazioni inerenti a un quadro concettuale per la gestione delle informazioni che include lo scambio, la registrazione, l'aggiornamento e l'organizzazione per tutti gli attori. La norma è applicabile all'intero ciclo di vita di un cespite immobile, compresa la pianificazione strategica, la progettazione iniziale, l'ingegnerizzazione, lo sviluppo, la predisposizione della documentazione per gli affidamenti e la costruzione, il funzionamento operativo quotidiano, la manutenzione, la ristrutturazione, la riparazione e la fine del ciclo di vita. La norma può essere adattata a cespiti immobili o a commesse di qualsiasi dimensione e complessità, al fine di non ostacolare la flessibilità e la versatilità che connota l'ampio spettro di potenziali strategie di aggiudicazione e di affidamento degli incarichi senza pregiudicarne il costo di implementazione della norma. La presente norma si applica congiuntamente alla serie UNI 11337, che si pone come norma complementare.	Publicata. In vigore dal 2019-03-14.
UNI EN ISO 19650-2:2019	Organizzazione e digitalizzazione delle informazioni relative all'edilizia e alle opere di ingegneria civile, incluso il Building Information Modeling (BIM) - Gestione	La norma specifica i requisiti per la gestione delle informazioni, sotto forma di un processo gestionale, nel contesto della fase di consegna dei cespiti immobili e dello scambio di informazioni, quando si utilizza il Building Information Modeling (BIM). La norma può essere applicata a tutti i tipi di cespiti immobile e a tutti i tipi e dimensioni di organizzazione, indipendentemente dalla strategia di appalto scelta.	Publicata. In vigore dal 2019-03-14.

	informativa mediante il Building Information Modeling - Parte 2: Fase di consegna dei cespiti immobili	La presente norma si applica congiuntamente alla serie UNI 11337, che si pone come norma complementare.	
EN ISO 19650-3:2020	Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 3: Operational phase of the assets	Questo documento indica i requisiti per l'information management, sotto la forma di un processo di management, nel contesto della fase operativa dei beni e degli scambi di informazioni al suo interno utilizzando il 'Building Information Modeling'. Questo documento può essere applicato a varie tipologie di beni e può essere utilizzato da organizzazioni di ogni tipo che siano coinvolte nella fase operativa dei beni. I requisiti in questo documento possono essere raggiunti/ottenuti attraverso azioni dirette eseguite dall'organizzazione in questione o possono essere delegate a un terzo.	Publicata. In vigore dal 2020-08-19. Non ancora recepita nella normativa italiana.
ISO 19650-4	Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling — Part 4: Information exchange	La norma fornisce processi e criteri dettagliati per le decisioni nel processo di scambio di informazioni all'interno dell'information management. Essa promuove un approccio sostenibile allo scambio delle informazioni nel quale la consegna immediata delle informazioni non preclude il suo utilizzo nel futuro. È applicabile a qualsiasi scambio d'informazione nelle fasi di progetto (ISO 19650 - Parte 2) e negli eventi in-use (ISO 19650 - Parte 3). Tutti gli sviluppi e gli scambi d'informazione dovrebbero essere eseguiti sotto gli adeguati controlli di sicurezza (ISO 19650 - Parte 5). La norma supporta la soddisfazione di uno specifico EIR/AIR associato ad un determinato scambio di informazioni di qualsiasi tipo, elencando i criteri che riguardano la completezza, la conformità/l'ottemperanza agli schemi formali di scambio, la continuità dei concetti tra gli scambi e l'eliminazione dei conflitti dello spazio e delle specificazioni.	In fase di stesura. Non ancora recepita nella normativa italiana.
UNI EN ISO 19650-5:2020	Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including Building Information Modeling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 5: Security-minded approach to information management	Questo documento indica i principi e i requisiti per una sicura gestione dell'informazione in una fase di maturità/sviluppo descritto come "Building Information Modeling (BIM) according to the ISO 19650 series", e in quanto definito nel ISO 19650-1, oltre alla gestione sicura di informazioni sensibili che sono ottenute, create, processate e archiviate in quanto appartengono, o sono associate, ad altre iniziative, progetti, beni, prodotti o servizi. Esso affronta i passi necessari per creare e coltivare una mentalità e una cultura adeguate attraverso organizzazioni che abbiano accesso alle informazioni sensibili, compresa la necessità di monitorare e verificare la conformità. L'approccio delineato è applicabile durante l'intero ciclo di vita di iniziative, progetti, beni, prodotti o servizi, sia pianificati che esistenti, nei quali siano ottenute/create/processate/archivate informazioni sensibili. L'utilizzo di questo documento è destinato a qualsiasi organizzazione coinvolta nell'utilizzo dell'information management e di tecnologie in creazione/progettazione/costruzione/fabbricazione/gestione/funzionamento/modificazione/miglioramento/demolizione/riciclaggio di beni o prodotti, oltre alla fornitura di servizi, all'interno dell'ambiente costruito (built environment). Inoltre, questo approccio sarà di interesse e di pertinenza a quelle organizzazioni che desiderano proteggere le proprie informazioni commerciali, e personali, e la propria proprietà intellettuale.	Publicata. In vigore dal 2020-10-01. Disponibile in lingua inglese.
UNI EN 17412-1:2021	Building Information Modeling - Livello di fabbisogno informativo - Parte 1: Concetti e principi	La norma specifica i concetti e i principi per stabilire una metodologia per specificare il livello di fabbisogno informativo e la consegna di informazioni in modo coerente quando si utilizza il Building Information Modeling (BIM). La norma specifica le caratteristiche dei diversi livelli utilizzati per definire il dettaglio e la portata delle informazioni che devono essere scambiate e fornite durante il ciclo di vita dei beni edilizi.	Publicata. In vigore dal 2021-01-14. Disponibile in lingua inglese.

		<p>Essa fornisce le linee guida per i principi necessari per specificare i fabbisogni informativi.</p> <p>I concetti e i principi di questa norma possono essere applicati per uno scambio di informazioni generali e, mentre è in corso, per un modo generalmente concordato di scambio di informazioni tra le parti in un processo di lavoro collaborativo, nonché per un appuntamento con la consegna di informazioni specifiche.</p> <p>Il livello di fabbisogno informativo fornisce metodi per descrivere le informazioni da scambiare secondo il capitolato informativo. Il capitolato informativo specifica lo scambio di informazioni desiderato. Il risultato di questo processo è una consegna di informazioni.</p> <p>La norma è applicabile all'intero ciclo di vita di qualsiasi bene costruito, inclusi pianificazione strategica, progettazione iniziale, ingegneria, sviluppo, documentazione e costruzione, funzionamento quotidiano, manutenzione, ristrutturazione, restauro e fine vita.</p>	
--	--	---	--

La serie UNI 11337 determina i principali flussi di lavoro da seguire durante un processo produttivo, a ogni scala e tipologia di lavorativa. In questo processo vengono definite quali sono le modalità per scambiare i dati di progetto, quali le procedure di convalida, nonché le modalità di archiviazione della documentazione e dei modelli informatici in tutti i gradi e fasi di lavoro. Vengono definite le figure principali coinvolte in un processo, delineando i ruoli che hanno al loro interno e le mansioni che dovrebbero ricoprire.

Vi è anche la parte che definisce i principali elementi che vengono trattati nell'industria dell'edilizia, con una classificazione che determina quali informazioni dovrebbero avere gli elementi stessi (Level Of Information) e una loro qualità geometrica bidimensionale o tridimensionale (Level Of Geometry), che si dovrebbe ritrovare all'interno del modello informatico, facendo riferimento alle pubblicazioni annuali di "Level Of Development specification" di BIMForum.

Attualmente, la UNI EN ISO 19650 ha ristabilito quali sono le priorità per i modelli informatici, introducendo il concetto di Level of Information Need, definito come "struttura che definisce la portata e la granularità delle informazioni". In tal modo, contrariamente a quanto accadeva precedentemente con il LOD (Level of Definition o Level of Development), l'attenzione allo sviluppo degli elementi e delle varie informazioni da inserire viene indirizzata verso lo scopo del modello in corso di sviluppo (Model Purpose), indicando un livello di dettaglio necessario scelto appositamente per il progetto e limitando l'eccesso di dati o di caratteri superflui alle geometrie dei vari modelli.

Si può riassumere il "Livello di fabbisogno informativo" (traduzione italiana della ISO) come la definizione combinata di tre livelli informativi, quali:

- Informazioni geometriche, che definisce il livello qualitativo necessario dal punto di vista geometrico;
- Informazioni alfanumeriche, che definisce il livello qualitativo/quantitativo necessario dal punto di vista delle informazioni degli elementi presenti nel modello;
- Documentazione, che definisce il livello qualitativo/quantitativo necessario dal punto di vista della documentazione, ivi inclusa la documentazione che normalmente, nella pratica edilizia, è presente nelle fasi di progettazione-costruzione-gestione, catalogata secondo le disposizioni del gestore e possibilmente collegata ai modelli consegnati.

Queste informazioni e disposizioni vengono scelte in base a prerequisiti dati dalla finalità stessa del progetto e/o dei modelli, in modo da avere una chiara definizione di cosa deve essere prodotto e consegnato.

## 4 Strumenti per la progettazione energetica di ZEB

### 4.1 Premessa

In questa sezione saranno presentati i principali strumenti di possibile utilizzo all'interno della progettazione energetica di edifici ZEB. La progettazione di edifici ZEB richiede infatti l'uso di strumenti di calcolo atti a definire in modo accurato non solo la performance energetica ma pure il sovraccosto di costruzione. In tal modo si rende davvero attuabile l'obiettivo ZEB. In particolare, si descriveranno:

- Strumenti di calcolo:
  - o Strumenti di valutazione energetica del sistema edificio-impianto (4.2);
  - o Strumenti di ottimizzazione (4.3);
- Database (4.4):
  - o Database di componenti d'involucro;
  - o Database di componenti impiantistici;
  - o Database di modalità d'uso degli edifici;
  - o Database di costi di costruzione.

In tal modo s'intende fornire al lettore un'esauriente visione degli strumenti disponibili e del relativo grado di dettaglio, sì da creare le basi per la definizione degli Exchange Information Requirements, dettagliati all'interno del Capitolo 6.

### 4.2 Strumenti di valutazione energetica del sistema edificio-impianto

Gli strumenti di valutazione energetica del sistema edificio-impianto coprono un'ampissima gamma di opzioni e applicazioni. Possiamo distinguere:

- Strumenti di certificazione energetica, dedicati all'uso da parte di tutti i progettisti, per edifici ZEB e non, poco flessibili e discretamente accurati;
- Motori di simulazione termo-energetica dinamica, flessibili e accurati ma complessi nell'uso, quindi utilizzati solo nel caso in cui la prestazione energetica dell'edificio sia un obiettivo fondamentale del progetto;
- Altri strumenti di valutazione energetica, generalmente di flessibilità e accuratezza di calcolo inferiori rispetto agli strumenti di certificazione energetica.

È giusto premettere che, qualsiasi sia il tipo di strumento utilizzato, i software di valutazione energetica forniscono risultati "relativi". Con ciò s'intende dire che permettono il confronto tra configurazioni del sistema edificio/impianto e non l'esatto calcolo ex ante dei consumi energetici, in quanto:

- Includono molteplici assunzioni in fase di sviluppo/input:
  - o Gli algoritmi di calcolo, generalmente, considerano un flusso di calore monodimensionale entro ampie superfici di confine, calcolano i fattori di vista per lo scambio termico radiante in modo semplificato, descrivono i flussi d'aria in modo non dettagliato, etc.
  - o Le costruzioni inserite sono una forma di idealizzazione e le caratteristiche termofisiche finali possono differire in modo anche significativo dalla costruzione in opera. Ciò è ancora più vero nel caso di edifici esistenti, in particolare se le costruzioni inserite sono frutto d'ipotesi.
  - o La geometria simulata è spesso semplificata dall'utente stesso, che svolge la cosiddetta zonizzazione, cioè il raggruppamento di vani omogenei, al fine di diminuire i tempi di inserimento dei dati, calcolo e verifica dei risultati.
  - o I profili d'uso dei dispositivi elettrici, d'illuminazione, dell'acqua calda sanitaria, dei sistemi di riscaldamento/raffrescamento, etc., nonché i periodi e le intensità d'occupazione, le modalità di ventilazione degli ambienti, la definizione delle temperature di set-point, etc. possono essere stimati nel modo più coerente possibile, ma non certo con le medesime granularità ed entità con cui questi fenomeni avvengono nella realtà d'uso. L'errore che ne

può derivare, nel caso di ZEB, può essere molto rilevante, in quanto i fattori qui descritti influenzano in modo determinante il bilancio energetico del sistema edificio-impianto, specialmente nel caso di edifici dall'involucro assai efficiente.

- I dati meteorologici utilizzati per le simulazioni sono il frutto di un'elaborazione statistica di rilevazioni svolte nei precedenti 20...30 anni, quindi costituiscono un'ottima rappresentazione del cosiddetto anno medio, ma non sono certo rappresentazione di uno specifico anno.

Come detto, la "relatività" dei risultati cresce all'aumentare dell'efficienza dell'edificio. Sono tuttavia possibili strategie di attenuazione, quali, per le costruzioni esistenti, il confronto iterativo con bollette e dati da monitoraggio e, per i nuovi edifici, il riferimento a eventuali database inerenti alle modalità d'occupazione o l'analisi delle modalità d'uso da parte degli occupanti, se già note.

#### 4.2.1 Strumenti di certificazione energetica

La certificazione energetica degli edifici è una procedura di valutazione energetica dedicata al miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici. In breve, attraverso essa s'intendono informare i futuri proprietari/utilizzatori di un immobile in merito ai consumi energetici richiesti per mantenere l'unità immobiliare stessa entro adeguate condizioni termo-igrometriche e guidarne le scelte, promuovendo la valorizzazione di edifici energeticamente efficienti.

Gli strumenti di certificazione energetica seguono procedure di calcolo raccomandate da organi nazionali o sovranazionali, attraverso l'emanazione di un corpus normativo ad hoc, e implementate da software house. Essi assumono generalmente la forma di software stand-alone.

Dal momento che la certificazione serve a confrontare il livello di efficienza energetica di unità immobiliari, gli strumenti di certificazione utilizzano profili d'uso dell'edificio fissati per convenzione attraverso normative. Inoltre, gli algoritmi di calcolo utilizzati hanno base fisica, ma contengono semplificazioni e assunzioni tali da limitarne la complessità. Ne derivano scarse flessibilità in input e accuratezza, in particolare se applicati alla progettazione di edifici ZEB, che presentano spiccati problemi di surriscaldamento, spesso individuabili e risolvibili solo con software di valutazione energetica più accurati. D'altra parte, sono di facile uso e consentono di assolvere obblighi burocratici, peraltro, spesso, in modo rapido.

Riassumendo, gli strumenti di certificazione energetica presentano quindi i seguenti vantaggi e svantaggi:

- Vantaggi:
  - Facili e rapidi nell'uso
  - Assolvono obblighi burocratici
- Svantaggi:
  - Profili d'uso fissati per convenzione
  - Scarsa flessibilità in fase di input
  - Metodi di calcolo poco accurati

#### 4.2.2 Motori di simulazione termo-energetica dinamica

I motori di simulazione termo-energetica dinamica sono programmi stand-alone o librerie software (tipicamente nella forma di dll, dynamic-link library, librerie a collegamento dinamico) in grado di simulare con elevato dettaglio sistemi edificio-impianto anche assai complessi. I principali software internazionali di questo tipo sono elencati in Tabella 10.

Questi software hanno simili caratteristiche e livello di dettaglio. Tra essi, comunque, uno in particolare appare attualmente affermarsi come un riferimento a livello mondiale, per vari motivi che saranno successivamente illustrati: EnergyPlus. Esso viene ora sinteticamente presentato, per rendere edotto il lettore delle opportunità e dei limiti che questi motori di simulazione offrono, nonché per fornire un inquadramento operativo utile per il seguito della trattazione.

Diamo dapprima brevi cenni storici in merito a EnergyPlus:

- 1996: Inizia lo sviluppo di EnergyPlus, ad opera del Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti (USDOE). Nel progetto confluiscono risorse e ricercatori che hanno precedentemente portato allo sviluppo di codici di simulazione edificio-impianto assai noti e risalenti agli anni '70: BLAST e DOE-2.
- Aprile 2001: Viene pubblicata la prima versione stabile di EnergyPlus.
- Settembre 2020: Risulta pubblicata la versione 9.4.0 di EnergyPlus.

**Tabella 10. Motori di simulazione energetica dinamica.**

Motore di simulazione	Sviluppatore	Prima versione	Tipo di licenza	Interfacce
ApacheSim	Integrated Environmental Solutions Ltd. (U.K.)		Commerciale	IES - Virtual Environment
DOE-2	James J. Hirsch & Associates (U.S.A.)	1978	Gratuita	eQuest, RIUSKA, EnergyPro, GBS
EnergyPlus	Lawrence Berkeley National Laboratory (U.S.A.)	2001	Gratuita	DesignBuilder, OpenStudio, Simergy, TerMus-Plus, etc.
ESP-r	University of Strathclyde (U.K.)	1974	Gratuita	ESP-r
IDA	EQUA Simulation AB (Sweden)	1998	Commerciale	ICE, ESBO
SPARK	Lawrence Berkeley National Laboratory (U.S.A.)	1986	Gratuita	VisualSPARK
TAS	Environmental Design Solutions Limited (U.K.)		Commerciale	TAS 3D Modeler
TRNSYS	University of Wisconsin-Madison (U.S.A.)	1975	Commerciale	Simulation Studio, TRNBuild

EnergyPlus sta assumendo sempre maggiore importanza e autorità, in quanto fortemente sostenuto da molte istituzioni statunitensi. Tale condizione ne promuove la continua evoluzione, il veloce aumento di programmi in grado d'interfacciarsi con esso, nonché il sempre più diffuso utilizzo di tale software da parte dei centri di ricerca e dei principali studi di consulenza ingegneristica mondiali.

EnergyPlus presenta le seguenti principali caratteristiche di simulazione:

- Effettua il calcolo dinamico dei flussi di calore nell'edificio, superficie per superficie;
- Consente la simulazione dettagliata dell'impianto per singolo componente (p.e. pompa di calore, ventilatore, scambiatore di calore, etc.);
- Integrare i calcoli termico, igrico e illuminotecnico, consentendo così di considerare simultaneamente gli aspetti energetici e funzionali (benessere termo-igrometrico, qualità dell'aria e illuminazione);
- La simulazione avviene discretizzando il periodo di simulazione (tipicamente, un anno) in intervalli di calcolo, spesso denominati timestep. In particolare, EnergyPlus utilizza due diversi timestep di calcolo:
  - o Un timestep di calcolo per la simulazione dell'involucro e per l'allineamento dei bilanci energetici di edificio (involucro e carichi interni) e impianto, tipicamente pari a 10 minuti;
  - o Un timestep di calcolo per la simulazione dell'impianto, tipicamente pari a 1 minuto;
- Consente di simulare algoritmi avanzati di controllo (modulo EMS, Energy Management System).

EnergyPlus è contraddistinto da molti vantaggi, che ne hanno decretata l'affermazione a livello internazionale, nonostante gli svantaggi che comunque presenta. Entrambi sono brevemente elencati di seguito:

- Vantaggi:
  - o EnergyPlus è gratuito, sia per la mera analisi energetica che per lo sviluppo di software che lo usino quale motore di calcolo. In tal caso, i software provvedono a fornire le interfacce di input, per quanto attiene a dati meteorologici, involucro, profili d'uso e impianto, e output, cioè per l'analisi dei risultati della simulazione. Questo è uno dei principali fattori che hanno contribuito a rendere EnergyPlus uno standard internazionale. Per rendersi conto dello sforzo economico richiesto dallo sviluppo di EnergyPlus, si rammenta che, limitandosi ai soli investimenti da parte delle principali istituzioni degli U.S.A., il progetto è finora costato più di 70 M\$, pari a circa 2.5 M\$/anno, per quanto attiene al solo motore di calcolo.

- EnergyPlus è un progetto open source, quindi chiunque può acquisirne i file sorgente e adattarli alle proprie esigenze. Ovviamente, non si tratta di un'attività banale, ma dimostra la volontà di mettere al servizio di altri sviluppatori il lavoro svolto per la stesura e la verifica dei modelli di simulazione e del codice sorgente. Inoltre, i file di input/output hanno formati codificati e facilmente consultabili con applicativi consolidati.
- EnergyPlus ha una documentazione molto ampia, talvolta supportata da entità terze che contribuiscono descrivendo le modalità d'applicazione di EnergyPlus nelle proprie attività di ricerca o professionali. Talvolta, la documentazione non risulta parimenti aggiornata, ma è completa di dettagli sui modelli di calcolo utilizzati.
- EnergyPlus è ampiamente validato e consolidato, in quanto utilizzato in moltissime attività di ricerca e di lavoro. Alcune attività professionali, quale per esempio la simulazione termo-energetica all'interno di certificazioni LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), utilizzano un dizionario di settore che trova assoluta corrispondenza all'interno di EnergyPlus, confermando un forte legame tra le iniziative.
- EnergyPlus è un software continuamente aggiornato, cosa che si traduce nella pubblicazione di una nuova versione ogni 6 mesi (generalmente attorno a marzo e ottobre di ciascun anno).
- EnergyPlus sta aumentando le potenzialità d'interfacciamento con software esterni, per esempio con la recente evidente apertura verso il linguaggio di programmazione Python nonché con il porting verso la piattaforma Modelica.
- Svantaggi:
  - EnergyPlus richiede notevoli quantità di dati, decisamente al di sopra di quanto generalmente richiesto da software di certificazione energetica e altri strumenti di valutazione energetica.
  - EnergyPlus risulta ostico nell'immissione dei dati, in particolare per quanto attiene alla definizione degli impianti, contraddistinta da una spiccata ridondanza.

L'input di EnergyPlus avviene principalmente attraverso due file:

- Un file \*.idf (Input Data File), che contiene i dati inerenti a geometria, costruzioni, profili d'uso, impianti, strategie di regolazione, opzioni di input/calcolo/output e dati meteorologici di giorni di progetto. Esso può essere composto attraverso un semplice WordPad di Windows. Tuttavia, EnergyPlus offre un'interfaccia tabellare, denominata IDFEditor, che costituisce appunto l'interfaccia ufficiale di EnergyPlus. Il file può ovviamente essere composto mediante altri software (DesignBuilder, OpenStudio, Simergy, TerMus-Plus, etc.), che assumono così il ruolo di interfacce terze. La stesura del file \*.idf richiede una conoscenza approfondita di EnergyPlus, dal momento che tutte le connessioni tra le entità che descrivono l'edificio devono essere esplicitamente dichiarate.
- Un file \*.epw (EnergyPlus Weather), utilizzato per la definizione delle condizioni meteorologiche nel corso di un intero anno, con granularità oraria, entro cui viene impostato il periodo di simulazione per l'analisi energetica, nel caso non si tratti della simulazione di un giorno di progetto. Il file meteo \*.epw si può ottenere dal database di EnergyPlus o attraverso software quali "AuxiliaryProgram Weather" (all'interno della suite EnergyPlus) o "Elements" o altri fornitori.

Come appena accennato, il progetto EnergyPlus include un database di dati meteorologici (<https://energyplus.net/weather>). Esso include i seguenti file, per più di 2100 località in tutto il mondo, pur con evidenti disomogeneità di copertura, e sviluppati a partire da dati monitorati per periodi di alcuni decenni:

- File \*.ddy (design day), per la definizione di giorni di progetto, i cui dati possono essere eventualmente inseriti all'interno del file \*.idf;
- File \*.epw, sopra descritto;

- File \*.stat, contenente i principali dati statistici riferiti al file \*.epw.

EnergyPlus offre opportunità di output dettagliati. Per intendersi, è possibile richiedere i valori risultanti dal calcolo per praticamente qualsiasi entità, grandezza, caratteristica e prestazione coinvolta nella simulazione svolta, per diverse cadenze (sub-oraria, oraria, giornaliera, mensile, annuale, etc.) e in diversi formati, quali:

- \*.csv (Comma Separated Values), che ha le seguenti principali caratteristiche:
  - o È un normale file di testo;
  - o Ogni riga copre uno step temporale di output, con valori dei diversi parametri separati da virgola;
  - o È di facile lettura attraverso fogli di calcolo (MSExcel, OpenOffice Calc, etc.);
- \*.sqlite (SQLite), che ha le seguenti principali caratteristiche:
  - o È un file strutturato come database;
  - o È un file di facile lettura con molti software di lettura di database, inclusa la possibilità di svolgere query;
- \*.eso (EnergyPlus Standard Output), che ha le seguenti principali caratteristiche:
  - o È un file strutturato per lettura con software xESOVView;
- \*.html, che raccolgono output di sintesi;
- \*.err, che raccoglie gli errori/imperfezioni incontrati nel corso della simulazione;
- \*.audit, che raccoglie ulteriori dettagli in merito all'acquisizione del file di input ed eventuali assunzioni conseguenti;
- \*.rdd (report data dictionary), che raccoglie tutti i parametri che potrebbero essere chiesti in output;
- \*.dxf (drawing exchange format, da aprire con un software CAD, Computer Aided Drafting), che contiene la geometria che è stata oggetto di simulazione;
- \*.eio (EnergyPlus invariant output), che descrive le superfici (area, azimuth, tilt, costruzione e tipo di superficie) e i pacchetti costruttivi opachi e trasparenti (strati costituenti e proprietà e caratteristiche che ne riassumono il comportamento termico).

Al termine della simulazione, EnergyPlus descrive l'esito della stessa attraverso 4 livelli di messaggi:

- "Message", che ha puro carattere informativo e non necessita azioni correttive;
- "Warning", cui appartengono errori che non compromettono lo svolgimento della simulazione ma cui è generalmente raccomandabile porre rimedio;
- "Severe", che contraddistingue gli errori gravi, che minano la coerenza dei risultati e cui si deve porre rimedio;
- "Fatal", cioè gli errori che provocano l'interruzione della simulazione.

#### 4.2.3 Strumenti di valutazione energetica

Esistono altri strumenti di valutazione energetica, di varia natura e destinati a coprire un'ampia gamma di applicazioni, quali principalmente:

- La valutazione energetica di fattibilità
- Il dimensionamento impiantistico
- La progettazione impiantistica

Tutti questi strumenti sono comunque meno flessibili e potenti rispetto agli strumenti di cui in 4.2.1 e, in particolare, 4.2.2. Inoltre, sono solitamente strumenti proprietari e con scarsa documentazione, in particolare per quanto attiene all'illustrazione delle basi modellistiche, sì da non consentire la piena comprensione degli algoritmi utilizzati.

### 4.3 Strumenti di ottimizzazione

La progettazione di ZEB ha quale obiettivo il raggiungimento di un elevato livello prestazionale, che tuttavia implica elevati sovraccosti di costruzione. D'altra parte, il medesimo obiettivo prestazionale può essere raggiunto agendo su diverse parti dell'edificio, per giungere al bilanciamento tra energia consumata ed

energia prodotta. Possiamo, per esempio, accettare maggiori consumi energetici, risparmiando sui sovraccosti di costruzione lato involucro e/o impianto, ma accettando maggiori sovraccosti per la produzione di energia da fonti rinnovabili. Inoltre, esistono molti vincoli di cui si deve tenere conto, quali, per esempio, l'estensione massima dell'area destinata a ospitare l'eventuale superficie di captazione fotovoltaica, il volume del vano tecnico destinato a ospitare l'eventuale gruppo di cogenerazione, il volume dell'eventuale serbatoio di biocombustibile, lo spessore massimo delle pareti, etc. I vincoli e la complessità progettuale divengono ancora più rilevanti nella progettazione di ZEB nel settore terziario, dal momento che gli elevati consumi elettrici tipici di tale destinazione d'uso impongono una più attenta progettazione, per ottenere l'obiettivo di un bilanciamento tra energia prodotta ed energia consumata.

La maggior parte delle volte, un bravo progettista può gestire questa complessità progettuale, ma la configurazione identificata non sarà la soluzione ottima, in quanto il raggiungimento della soluzione ottima richiede la valutazione di un numero tale di configurazioni da obbligare al ricorso a strumenti automatizzati di ottimizzazione multicriteriale. Di seguito si presentano le principali azioni necessarie per l'avvio di strumenti di ottimizzazione:

1. Inserimento della configurazione edificio-impianto di riferimento. All'inizio, si deve procedere con l'inserimento della configurazione edificio-impianto che verrà modificata in automatico dal software di ottimizzazione per definire le configurazioni da valutare per giungere all'identificazione della configurazione ottima.
2. Identificazione dei parametri d'ottimizzazione. In una fase di progetto preliminare (cosiddetto LOD basso), ciò può riguardare anche la forma e l'orientamento dell'edificio, nonché la distribuzione dell'area finestrata, l'estensione della superficie di captazione fotovoltaica, posizione, tipo, forma ed estensione delle schermature, etc.; in una fase di progettazione avanzata (cosiddetto LOD alto), ci si può tipicamente concentrare sulle costruzioni, la scelta dei materiali e dei componenti impiantistici, etc.
3. Definizione dei range di variazione dei parametri d'ottimizzazione. Con quest'azione il progettista istruisce il software in merito ai range entro cui possono essere variati i parametri identificati in 2, nella formazione delle configurazioni da sottoporre a valutazione.
4. Definizione di vincoli, regole o formule ulteriori, che possano essere utili, per esempio, per l'identificazione di componenti d'involucro e impianto e il computo dei sovraccosti di costruzione e gestione.

L'ottimizzatore, acquisiti i dati presentati ai punti sovrastanti, svolge le analisi/simulazioni richieste per un gran numero di configurazioni edificio-impianto, andando a trarne, per ciascuna, una serie di indici prestazionali che, composti con pesi scelti dal progettista stesso, conferiscono un punteggio globale alla singola configurazione, giungendo così a identificare la cosiddetta soluzione ottima.

Il processo di ottimizzazione porta spesso allo svolgimento di un grandissimo numero di configurazioni edificio-impianto, che possono richiedere molto tempo per essere svolte, nell'ordine delle ore o dei giorni di calcolo, in base al numero di parametri d'ottimizzazione scelti, ai range di variazione e ad ulteriori vincoli/regole definiti.

Gli strumenti a ciò dedicati si basano generalmente sui cosiddetti algoritmi genetici, che cioè identificano la soluzione ottima attraverso strategie di ibridazione/mutazione/selezione che caratterizzano i processi evolutivi naturali. Non esistono molti strumenti di questo tipo e attualmente sono utilizzati quasi esclusivamente in ambiti di ricerca, come accade nel caso di GenOpt [30] e JEPPlus+EA [31]. Essi presentano interfacce di input complesse, di difficile fruizione in ambito professionale. Per tale motivo è fondamentale la completa integrazione di questi strumenti all'interno delle suite BIM.

#### 4.4 Database

La grande quantità di dati necessaria alla compilazione dei file di input per la simulazione richiede la conoscenza di numerose informazioni, con la dovuta affidabilità. In verità, attualmente non esistono database consolidati per alcuno degli scopi sotto illustrati. Nei relativi paragrafi si offre dunque la visione

dei principali contenuti che si ritiene debbano essere inclusi all'interno dei detti database, al fine d'aumentare affidabilità e interoperabilità dell'attività di progettazione/analisi energetica.

#### 4.4.1 Database di componenti d'involucro

I componenti d'involucro costituiscono certamente il settore per il quale risultano maggiormente sviluppati i database informativi. Infatti, i numerosi software dedicati al calcolo della trasmittanza e all'analisi della condensa interstiziale, nonché i software di valutazione energetica e i motori di simulazione termo-energetica dinamica includono database di materiali e costruzioni, sia opachi che trasparenti. Tuttavia, molti di questi dati sono privi di riferimenti a produttori e linee di prodotto, quindi non consentono al progettista d'individuare in modo rapido e univoco i prodotti capaci di garantire la prestazione calcolata. Inoltre, le costruzioni hanno una natura spiccatamente localistica, che le rende poco fruibili in un contesto internazionale. Infine, sarebbe opportuno integrare i dati esistenti con altri, quali, per esempio, i dati d'impatto ambientale afferenti all'EPD (Environmental Product Declaration).

Sarebbe desiderabile dunque far confluire i dati disponibili entro un unico database online, facilmente ricercabile e filtrabile, includendovi anche il diretto riferimento a produttori e linee di prodotto, nonché ai corrispondenti dati EPD. In tal modo si potrebbe aumentare il livello d'interoperabilità tra i software BIM, potendo tutti accedere al medesimo database, che potrebbe acquisire importanza e diventare un hub informativo di riferimento utile anche per i produttori stessi.

#### 4.4.2 Database di componenti impiantistici

I database di componenti impiantistici sono in verità assai scarsi. Non ne esistono esempi di rilievo e sussistono le medesime necessità espresse in 4.4.1. Sarebbe quindi utile sviluppare un database in cui i produttori possano inserire i propri componenti d'impianto, sì da renderne disponibile l'inserimento diretto all'interno dei software di simulazione termo-energetica dinamica. Ciò sarebbe ancora più utile che nel caso dei dati d'involucro, in quanto risultano necessari molti più dati, più difficili da recuperare, anche all'interno della documentazione tecnica, e spesso necessitanti di rilevanti rielaborazioni (pensiamo, per esempio, alle superfici prestazionali di pompe di calore e refrigeratori, secondo le specifiche di EnergyPlus). Un'alternativa, che dovrebbe tuttavia essere supportata dai software di simulazione stessi, potrebbe risiedere nell'archiviazione di dati mediante algoritmi quali le reti neurali, ideali per l'approssimazione di superfici prestazionali multi-dimensionali.

#### 4.4.3 Database di modalità d'uso degli edifici

Sono state finora intraprese numerose iniziative, spesso di breve durata o localistiche, atte a definire profili e intensità d'uso degli edifici e dei dispositivi e sistemi in essi inclusi/asserviti. Tuttavia, non esiste alcun database atto a raccogliere, allineare e consolidare i profili definiti dalle diverse ricerche. Inoltre, tali informazioni risultano fortemente legate a condizioni locali o allo specifico utente. Sarebbe comunque utile lo sviluppo di un simile database, al fine di fornire ai progettisti profili d'uso realistici, mediante ricorso ad analisi statistiche su edifici reali, dal momento che i progettisti difettano di tali informazioni, per di più assai importanti nella definizione del bilancio energetico di ZEB.

#### 4.4.4 Database di costi di costruzione

Anche in questo caso, risultano numerosissimi esempi di prezzari e database di costi di costruzione. Manca semmai uno sforzo di omogeneizzazione, almeno a livello nazionale. Pensiamo per esempio al numero di prezzari disponibili da parte di istituzioni e associazioni d'impresa e alla varietà di definizioni in cui può essere declinato il singolo componente. Un database di costi di costruzione non potrebbe quindi prescindere da un'analisi tassonomica delle voci di costo per ciascun/a componente/sistema/attività.



## 5 Progetti internazionali e software sviluppati o in corso

### 5.1 Premessa

Il presente capitolo tratta lo stato dell'arte sviluppato ad oggi nell'ambito del BIM applicato all'energetica degli edifici, esaminando tutti i progetti/software finora sviluppati per consentire un'efficace interoperabilità tra BIM e strumenti di progettazione energetica (BEM, Building Energy Modeling). In tal modo s'è inteso valutare l'opportunità di partire eventualmente dai risultati di progetti pregressi.

Il tema dell'interoperabilità tra modelli BIM e BEM non è certo nuovo. Negli ultimi vent'anni, da parte sia della comunità scientifica che delle società informatiche, sono stati compiuti sforzi considerevoli finalizzati a una migliore gestione delle informazioni sul comportamento energetico degli organismi edilizi. Ciò è vero in particolare per quanto attiene alle caratteristiche dell'involucro, mentre una quantità più ridotta di studi ha affrontato il tema del trasferimento dei dati relativi ai sistemi HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning).

Nonostante la quantità delle ricerche condotte e dei soggetti coinvolti, è possibile affermare che gli strumenti attualmente disponibili non hanno raggiunto un livello di maturità tale da consentire un flusso di lavoro fluido dal BIM al BEM, consentendo di concretizzare le opportunità derivati da una progettazione integrata, e tanto meno nel senso opposto, cioè nel mantenere testimonianza, all'interno del modello architettonico, di ipotesi/decisioni/risultati provenienti dall'attività del progettista/analista energetico, anche nei software più diffusi sul mercato.

Concentrando l'attenzione sul passaggio di informazioni tra il modello dati IFC e il motore di calcolo EnergyPlus (Figura 5), che sono gli oggetti principali del presente studio, si può affermare che le sperimentazioni effettuate hanno seguito principalmente due filoni di attività:

- Sviluppo di convertitori BIM→IDF (EnergyPlus Input Data File), cioè lo sviluppo di applicativi esterni finalizzati alla conversione di documenti IFC verso il formato IDF;
- La definizione, secondo le best practice suggerite da BuildingSmart, di un processo IDM (già illustrato in 3.2.2) + MVD (già illustrato in 3.2.3), per la realizzazione di un sottoschema IFC dedicato allo scambio di informazioni in ambito energetico.

Di seguito, si analizzano le proposte più rilevanti nell'attuale stato dell'arte.

### 5.2 Sviluppo di convertitori BIM→IDF

A tale categoria si riportano:

- I puri convertitori BIM→IDF esterni a un'applicazione di modellizzazione BIM o energetica;
- I motori d'importazione integrati all'interno di applicazioni di modellizzazione energetica e finalizzati all'importazione di file BIM per la costruzione di una prima bozza di simulazione EnergyPlus, da integrare successivamente con ulteriori dettagli/elementi/sistemi/opzioni e infine salvare in formato IDF e avviare alla simulazione.

È interessante notare che i risultati più promettenti sono stati ottenuti nel passato, quando con diversi strumenti era possibile importare almeno la geometria dell'involucro edilizio, per una successiva elaborazione verso EnergyPlus. Tuttavia, questi applicativi, sviluppati in particolare negli anni compresi tra il 2010 e il 2015, non sono stati ulteriormente aggiornati e, per la maggior parte, non risultano più compatibili con le ultime versioni di IFC e/o EnergyPlus.

In generale, s'individuano le seguenti criticità nell'insieme dei progetti/tool di questo tipo:

- La grande frammentazione delle proposte. Ciascuno sviluppatore giunge a formulare una propria soluzione, senza continuità né riferimento a procedure standard. In questo modo, ogni applicazione presenta diversi punti di forza e debolezze, senza che si arrivi a una sintesi che sommi i punti di forza e risolva le debolezze rilevate nei progetti/strumenti precedenti;
- Il veloce invecchiamento delle applicazioni. La produzione di applicazioni da parte di gruppi di ricerca indipendenti e legati a piccoli gruppi di sviluppatori ne limita le opportunità d'aggiornamento rispetto ai software con cui sono chiamate a dialogare. Spesso, infatti, si rileva la

presenza di soluzioni interessanti, che però non risultano più operabili in relazione agli strumenti attualmente disponibili sul mercato.

In Tabella 11 viene offerta una comparazione sinottica dei principali progetti/tool di conversione IFC→IDF.

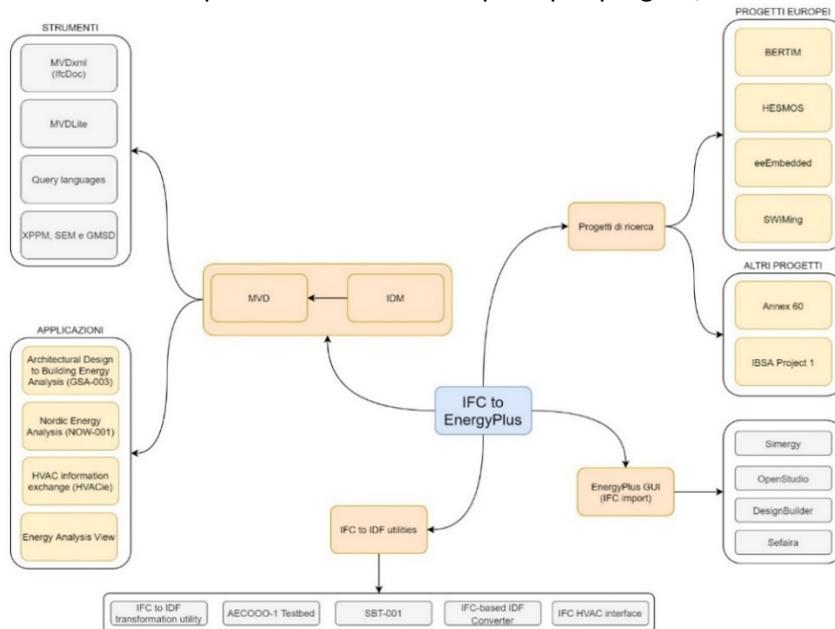


Figura 5. Schema sintetico degli approcci progressi per la trasmissione di modelli IFC al motore di calcolo EnergyPlus.

Tabella 11. Sintesi sinottica dei principali progetti/tool di conversione IFC→IDF.

Progetto/Tool	Team di sviluppo	Stato di sviluppo	Compatibilità con le piattaforme correnti	Tipo tool	Formati supportati		Direzione	Parametri convertiti				Note
					IFC	gbXML		Geometria e orientamento	Materiali	Spazi/zone	Impianto	
IFCtoIDF	LBNL	Inattivo	NO	Stand alone (convertitore)	2x2	-	IFC→IDF	X	-	-	-	Primo tentativo di collegamento tra IFC ed EnergyPlus.
IFC HVAC interface	LBNL	Inattivo	NO	Stand alone (convertitore)	2x2	-	IFC↔IDF	-	-	-	X	Complementare a IFCtoIDF.
SBT-1	LBNL	Inattivo	NO	Stand alone (convertitore)	2x3	-	IFC→IDF	X	-	-	-	Focus sulla definizione delle adiacenze.
IFC-based IDF Converter	Kyung Hee University	Inattivo	Non disponibile	Stand alone (convertitore)	X	-	IFC→IDF	X	-	-	-	Integrazione delle informazioni ulteriori rispetto alla geometria.
Simergy	Digital Alchemy	Attivo	NO	Stand alone (basato su EnergyPlus)	2x3	X	BIM→BEM	X	-	X	-	Per l'importazione, il file IFC deve essere processato con SBT-1.
OpenStudio	National Renewable Energy Laboratory	Attivo	SI	Stand alone (basato su EnergyPlus)	2x3	X	BIM→BEM	X	-	-	-	Importazione di file IFC attraverso BIMserver.
DesignBuilder	Design Builder Software	Attivo	SI	Stand alone (basato su EnergyPlus)	-	X	BIM→BEM	X	X	X	-	-
Sefaira	Trimble	Attivo	SI	Web-based plug-in (basato su EnergyPlus)	-	-	BIM→BEM	X	-	X	-	Funziona in connessione diretta con Autodesk Revit, senza passare per formati interoperabili.

### 5.2.1 IFCtoIDF

Sviluppato dal Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) a partire dal 1999, questo strumento rappresenta la prima risposta concreta alla necessità di trasferire le informazioni contenute in modelli BIM verso software per l'analisi energetica. L'applicazione importa file IFC, convertendone la sola geometria in formato IDF, inizializzando a valori di default le altre informazioni necessarie alla simulazione [32]. Il progetto è stato successivamente integrato con l'integrazione di BSPRO COM-Server [33], una soluzione "middleware" capace di mettere in collegamento strumenti software per lo scambio di informazioni compatibili con IFC. Viene in tal modo ridotto lo sforzo necessario per la mappatura delle geometrie, semplificando le forme delle superfici potenzialmente complesse contenute nel file IFC. Tuttavia, lo sviluppo dell'applicazione si è arrestato nel 2004 e lo strumento non risulta più compatibile con le piattaforme correntemente in uso.

Le sperimentazioni svolte nel corso del progetto sono state fondamentali per individuare i limiti relativi all'esportazione IFC, stimolando l'avvio di nuove ricerche, con particolare attenzione al tema delle superfici di confinamento degli spazi (Space Boundaries).

### 5.2.2 IFC HVAC interface

Questo strumento, sviluppato per IFC2x2 e non ulteriormente aggiornato, risulta importante da analizzare, in quanto si tratta dell'unico applicativo che affronta il tema della trasmissione delle informazioni inerenti al sistema HVAC. L'applicazione converte in formato IDF i dati impiantistici presenti nei modelli IFC [34]. L'interfaccia supporta la conversione in entrambi i versi (IFC $\leftrightarrow$ IDF), ma coinvolge solo le informazioni direttamente attinenti ai sistemi HVAC, funzionando in modo complementare a IFCtoIDF.

L'applicazione, inizialmente distribuita in formato aperto, non risulta oggi disponibile. L'interruzione del suo sviluppo fa supporre non sia operabile con i software correnti.

### 5.2.3 SBT-1

Space Boundary Tool (SBT) (Figura 6) è uno strumento software sviluppato dal LBNL per definire le delimitazioni degli spazi nella conversione IFC $\rightarrow$ IDF, come segue, grazie al collegamento con le librerie di materiali e pacchetti costruttivi di EnergyPlus:

- Calcola gli Space Boundary di primo e secondo livello (per maggiori dettagli in merito agli Space Boundary: 8.3.5);
- Associa agli elementi tecnici che costituiscono l'involucro dell'edificio le caratteristiche necessarie alla loro simulazione, grazie al collegamento con le librerie di materiali e pacchetti costruttivi di EnergyPlus.

L'applicazione, dotata di una propria interfaccia grafica, permette di importare file in formato IFC, calcolare gli Space Boundary di primo e secondo livello, associare agli elementi tecnici che costituiscono l'involucro dell'edificio le caratteristiche necessarie alla loro simulazione, grazie al collegamento con le librerie di materiali e pacchetti di EnergyPlus, nonché d'esportare il corrispondente file IDF [35]. Nonostante il flusso di lavoro così definito non consenta di sfruttare le opportunità di una completa interoperabilità poiché richiede un passaggio intermedio d'importazione ed esportazione del modello finalizzata alla sua correzione e integrazione, si ritiene questo approccio di grande valore perché, a differenza di altri, permette di mantenere un alto livello di controllo sul processo, pur non richiedendo competenze avanzate per il suo utilizzo.

Lo sviluppo dell'applicazione, che risultava una delle più promettenti nell'ambito delle utilities stand-alone per la manipolazione dei modelli, si è bloccato nel 2014 e allo stato attuale il software risulta ancora disponibile, ma non più funzionante se utilizzato con file IFC esportati da piattaforme di BIM authoring aggiornate.

### 5.2.4 IFC-based IDF Converter

Questa soluzione (Figura 7), formulata nel 2012, propone un applicativo software per l'importazione della geometria da modelli IFC, il popolamento delle informazioni per l'analisi energetica e l'esportazione di file IDF [36]. L'interfaccia grafica comprende sei schede:

- Design information, per la visualizzazione e la validazione della geometria importata;

- Middleware, per l'inserimento di impostazioni relative alla localizzazione e al metodo di calcolo;
- Schedule, per la definizione degli schemi di occupazione e dei carichi interni;
- Analysis function, per il settaggio delle caratteristiche dell'edificio in funzione delle analisi energetiche;
- System, per la descrizione delle componenti impiantistiche.

L'approccio ricorda quello già analizzato per SBT-1, che non consente la mappatura delle informazioni direttamente dal file IFC, ma permette il collegamento delle entità del modello con pacchetti di informazioni presenti nelle librerie di EnergyPlus. Il sistema appare interessante e i risultati mostrati dagli autori sono positivi, tuttavia non è possibile testare il software in quanto l'eseguibile dell'applicazione non è stato reso disponibile sul web.

#### 5.2.5 Simergy

Simergy (Figura 8) è un software per la simulazione e l'analisi energetica che implementa il motore EnergyPlus ed è sviluppato e distribuito da Digital Alchemy. Il programma permette la creazione e manipolazione dei modelli geometrici degli edifici (che possono essere realizzati per mezzo di un semplice modellatore 3D integrato o tramite importazione di file gbXML e IFC), la gestione delle zone e la definizione degli impianti HVAC.

Attualmente, il modulo d'importazione supporta solo file IFC2x3 che siano stati manipolati precedentemente per mezzo di Space Boundary Tool (SBT) per la definizione degli Space Boundaries. SBT, però, non risulta più operabile in quanto il suo sviluppo si è arrestato nel 2014, non consentendone più l'utilizzo con i software aggiornati. Per questo motivo il processo non è ritenuto percorribile.

#### 5.2.6 OpenStudio

OpenStudio [37] è un'interfaccia grafica (Figura 9) che integra una serie di strumenti atti a supportare analisi energetiche, svolte con EnergyPlus, e illuminotecniche, svolte con Radiance. OpenStudio segue un modello di sviluppo open source, con l'obiettivo d'incoraggiarne l'estensione e la personalizzazione. La modellizzazione geometrica avviene attraverso un plug-in che permette il collegamento con Trimble Sketchup; tuttavia, è supportata anche l'importazione di file in formato gbXML e IFC.

In particolare, a partire da OpenStudio 1.7.1, è stata implementata la possibilità d'importare modelli IFC, grazie a una funzionalità sviluppata all'interno del progetto BIMDataHub del Consortium for Building Energy Innovation (CBEI). Ciò avviene attraverso BIMServer, determinando un flusso di lavoro che non è alla portata di utenti non esperti. Inoltre, il plug-in non è più stato aggiornato dal 2016 e, oltre a non permettere l'importazione di file IFC in versione successiva alla 2x3, non risulta attualmente compatibile con gli strumenti correnti.

Le proprietà relative a carichi interni, profili di utilizzo e sistemi impiantistici vanno invece definite attraverso la sola interfaccia di OpenStudio.

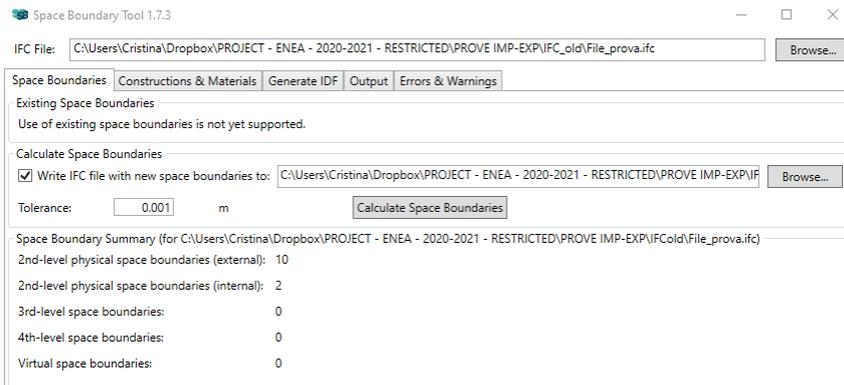


Figura 6. Interfaccia grafica di SBT-1. In alto il campo per l'importazione dei file IFC e in basso il risultato dell'analisi sulle delimitazioni degli spazi.

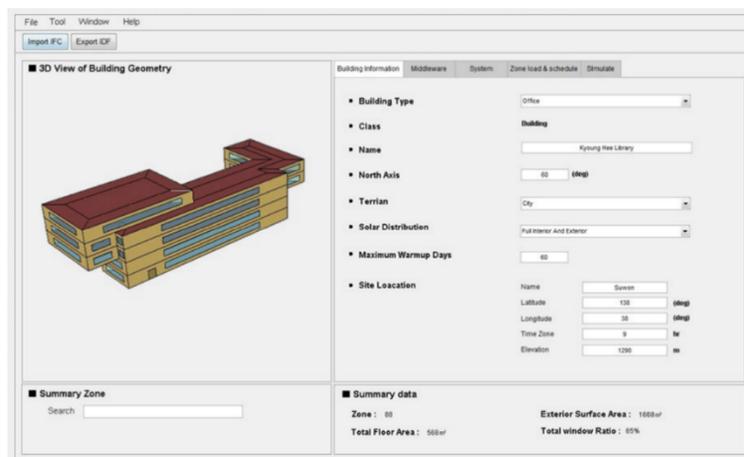


Figura 7. Interfaccia grafica dell'applicativo IDF Converter [38].

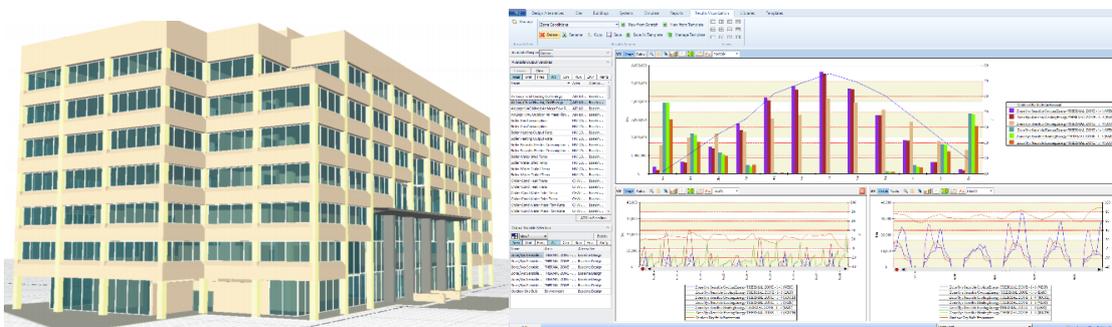


Figura 8. Schermate esplicative delle funzionalità di Simergy, dalla modellazione di organismi edilizi alla visualizzazione dei risultati dettagliati [39].

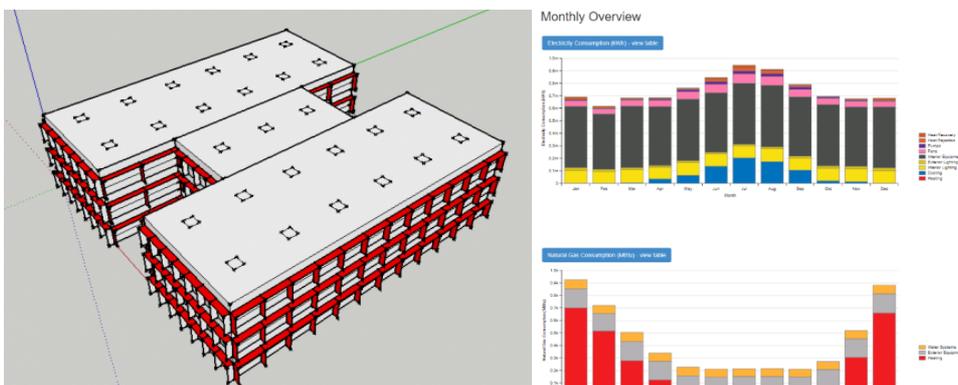


Figura 9. Schermate esplicative delle funzionalità di OpenStudio, dalla caratterizzazione del modello in SketchUp alla visualizzazione di schede sintetiche sui risultati [40].

### 5.2.7 DesignBuilder

Design Builder (Figura 10) è un software proprietario che si propone quale interfaccia grafica avanzata per il motore di calcolo EnergyPlus, permettendo di manipolare tutte le informazioni correlate ai sistemi edificio-impianto. Il programma dispone di un proprio modulo per il disegno tridimensionale per la definizione geometrica dei modelli, mediante rappresentazione semplificata a blocchi 3D. L'integrazione con software BIM è garantita tramite l'importazione di soli file in formato gbXML, mentre non sono previste procedure per l'acquisizione di informazioni a partire da modelli IFC. Per una migliore relazione con Autodesk Revit, invece, è stato sviluppato un apposito plug-in, che consente l'attivazione di analisi energetiche preliminari all'interno del software di BIM authoring.

### 5.2.8 Sefaira

Sefaira (Figura 11) è un software web-based per la simulazione energetica preliminare di edifici, finalizzato a fornire feedback immediati per la definizione di scelte progettuali strategiche orientate alla sostenibilità. L'applicazione implementa due motori di calcolo: ASHRAE's Radiant Time Series per la simulazione energetica ed EnergyPlus limitatamente ai calcoli legati al comfort interno. L'interfaccia può lavorare in diretta connessione con il software di BIM authoring Autodesk Revit, attraverso un plug-in che permette di veicolare i modelli verso la piattaforma web, con cui riesce ad acquisire orientamento e geometria, ma non materiali e costruzioni. Non esiste, invece, un flusso di lavoro che permetta l'importazione di modelli IFC.

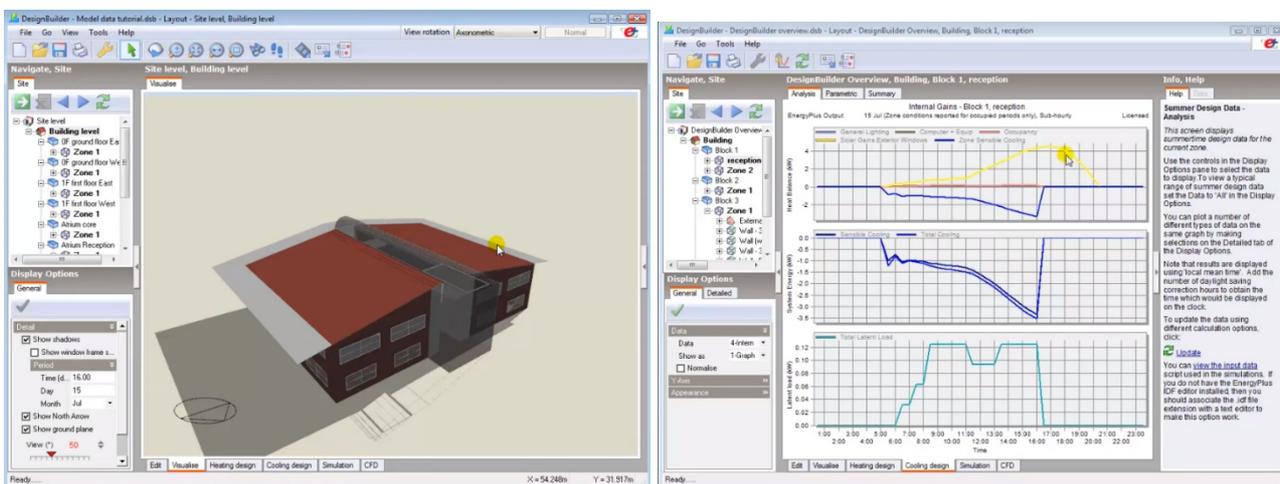


Figura 10. Schermate esplicative delle funzionalità di DesignBuilder, dalla modellazione tridimensionale alla consultazione dei risultati delle analisi [41]



Figura 11. Schermate esplicative delle funzionalità di Sefaira, dalla caratterizzazione dei modelli in Autodesk Revit alla consultazione dei risultati sintetici nel plug-in [42].

### 5.3 Metodologia IDM/MVD

La metodologia IDM/MVD è la procedura raccomandata da BuildingSMART per la realizzazione di sottoschemi tematici di IFC a supporto di processi informativi specifici. A partire dal 2006, infatti, con IFC2x3 sono stati introdotti i concetti di Information Delivery Manual (IDM) e Model View Definition (MVD) [18], come accennato in 3.2. Da allora, diversi studi hanno tentato di sfruttare i nuovi strumenti per supportare i propri processi informativi, dimostrando l'esistenza di interessanti opportunità, ma anche di grandi complessità in relazione alla loro attuazione.

In questo ambito, BuildingSMART stessa e alcuni gruppi di ricerca hanno cercato di proporre soluzioni e strumenti per un più agevole svolgimento delle operazioni. Grazie all'impiego degli approcci e strumenti proposti da alcune di queste ricerche, altri progetti di ricerca hanno formulato proposte in relazione a Exchange Requirements, IDM e MVD, al servizio dello scambio d'informazioni per l'analisi energetica degli edifici, portando ad alcuni esempi virtuosi di sperimentazioni i cui risultati sono stati inclusi nel MVD Database di BuildingSMART. Tutte queste iniziative, tanto di sviluppo di protocolli e procedure, quanto di applicazione sperimentale, vengono presentati nei successivi sottoparagrafi e sintetizzati in Tabella 12.

La maggior parte dei lavori indetificati si limita a studiare la rappresentazione dell'involucro termico e pure quelli che puntano a un'analisi complessiva del sistema edificio-impianto finiscono per concentrarsi sulle componenti edili, trattando solo in modo tangenziale i requisiti di scambio dei sistemi HVAC.

**Tabella 12. Sintesi sinottica dei principali progetti/tool per la creazione di MVD per l'analisi energetica.**

Denominazione	Tipologia	Periodo di sviluppo/rilascio	Risorse	Note
AECOO-1	Protocolli e procedure	2007-2008	<a href="https://www.ogc.org/projects/initiatives/aecoo-1">https://www.ogc.org/projects/initiatives/aecoo-1</a>	Sviluppo della documentazione a supporto della Architectural Design to Building Energy Analysis.
IfcDoc (mvdXML)	Strumenti	-	<a href="https://github.com/buildingSMART/ifcdoc">https://github.com/buildingSMART/ifcdoc</a>	Strumento operabile ma che richiede una grande confidenza con lo schema IFC.
IEA EBC Annex 60	Protocolli e procedure	2013-2017	<a href="http://www.iea-annex60.org/">http://www.iea-annex60.org/</a>	Sviluppo di una metodologia condivisa per l'interoperabilità in ambito energetico.
IBPSA Project 1	Protocolli e procedure	2018-2022	<a href="https://ibpsa.github.io/project1/">https://ibpsa.github.io/project1/</a>	Sviluppo di una metodologia condivisa per l'interoperabilità in ambito energetico.
xPPM, SEM e GMSD	Strumenti	-	Vedi riferimenti bibliografici [43] [44] [45] [46]	Strumenti sequenziali di supporto al processo IDM/MVD.
Applicazione di Query languages	Strumenti	-	Vedi riferimenti bibliografici [47] [48]	Insieme di proposte per la realizzazione di MVD attraverso il filtraggio dello schema IFC, tramite linguaggi query.
MVDLite	Strumenti	2019	Vedi riferimenti bibliografici [49]	Proposta alternativa a mvdXML per la compilazione semplificata delle MVD.
Nordic Energy Analysis (NOW-001)	MVD	2011	<a href="http://www.blis-project.org/IAI-MVD/">http://www.blis-project.org/IAI-MVD/</a>	Dedicata al Concept Design.
Architectural Design to Building Energy Analysis (GSA-003)	MVD	2011	<a href="http://www.blis-project.org/IAI-MVD/">http://www.blis-project.org/IAI-MVD/</a>	Documentazione allegata molto sviluppata (IDM ed ER).
HVAC information exchange (HVACie)	MVD	2011-2013	[50]	Focus sullo scambio di informazioni sui sistemi impiantistici.
Energy Analysis View	MVD	-	<a href="https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/">https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/</a>	Nessuna documentazione disponibile.

#### 5.3.1 (AECOO-1) Testbed

La sperimentazione denominata AECOO-1 (Architecture, Engineering, Construction, Owner Operator, Phase 1) è stata condotta congiuntamente da BuildingSMART e l'OGC (Open Geospatial Consortium), con la finalità di migliorare lo scambio di dati nella fase progettuale, al fine di supportare la computazione degli elementi, la stima dei costi e l'analisi delle prestazioni energetiche [32]. In particolare, la sezione dedicata al tema energetico ha contribuito allo sviluppo della Architectural Design to Energy Performance Analysis MVD.

Il progetto ha messo in relazione gli sviluppatori dei maggiori software BIM, ricercatori e progettisti per comprendere e tracciare i requisiti reciproci e migliorare le applicazioni già presenti sul mercato, attraverso

una serie di test su casi studio. Anche in quest'occasione, si è giunti a sottolineare che il problema del confinamento corretto degli spazi risulta un passaggio critico per la realizzazione di un'efficace interoperabilità fra gli strumenti. Ne sono conseguite linee guida che per la prima volta hanno introdotto il concetto di Space Boundary di primo e secondo livello (per maggiori dettagli in merito agli Space Boundary: 8.3.5).

### 5.3.2 IfcDoc (mvdXML)

Il formato mvdXML è la specifica standard raccomandata da buildingSMART per la definizione delle MVD [51]. Attraverso questo schema, una Model View Definition può essere composta per aggregazione di Exchange Requirements, che sono vincolati a un set di MVD Concepts. Ciascun MVD Concept rappresenta un modo di utilizzo di una specifica entità, con l'individuazione delle regole associate, e può essere usato in più di una MVD [52]. IfcDoc (Ifc Documentation Generator) è lo strumento sviluppato da BuildingSMART e dedicato alla generazione e alla gestione di file mvdXML, grazie alla presenza di un'interfaccia grafica che consente di gestire le proprietà di entità, attributi e relazioni, per realizzare nuovi sottoschemi di IFC. Nonostante il software sia pensato per rendere più semplice la manipolazione della struttura di IFC, l'interfaccia si limita a fornire l'accesso a una versione grafica dello schema logico, senza guidare l'utente in relazione alle regole di definizione dello standard. Per questo motivo, la procedura rimane riservata agli utenti che possiedono un elevato livello di confidenza con il modello IFC.

### 5.3.3 IEA EBC Annex 60

Il progetto Annex 60 [53] (Figura 12), promosso dalla sezione Energy in Buildings and Communities dell'International Energy Agency (IEA EBC), punta a fornire una metodologia innovativa per l'integrazione tra BIM e BEM. Nel dettaglio, l'attività del progetto identificata con il codice 1.3 (denominata "Building Information Models") si è focalizzata sul tema della trasformazione dei modelli digitali del sistema edificio-impianto in formati input per l'esecuzione di simulazioni energetiche. L'obiettivo principale consiste nello sviluppo di un metodo semi-automatico per la conversione dei dati, così da limitarne i correlati processi manuali, onerosi e soggetti a errori.

La MVD viene sviluppata attraverso un approccio di tipo bottom-up, basato su un set di casi di utilizzo predefiniti che permettono, per estensione, di coprire un'adeguata gamma di esempi d'esportazione IFC. In questo modo si procede alla definizione di un sottoschema di IFC che contiene tutte le entità, gli attributi, le relazioni e le proprietà che servono all'attivazione degli strumenti di calcolo. A tale fine, viene utilizzato IfcDoc, già descritto in 5.3.2.

Per quanto riguarda la descrizione del modello geometrico, nel flusso di lavoro proposto il file IFC esportato dal software di BIM authoring viene validato per mezzo di un programma di model checking, che si occupa anche della mappatura degli Space Boundary di secondo livello, passaggio che viene riconosciuto come uno dei momenti critici dell'intero processo. Si cita, inoltre, la necessità di utilizzare Space Boundary Tool (SBT) per l'integrazione delle delimitazioni che non sono presenti nel file IFC.

### 5.3.4 IBPSA PROJECT 1

Il progetto IBPSA Project 1 è la continuazione del progetto IEA EBC Annex 60 (Figura 13), pianificata per il periodo 2018-2022 e promossa dall'International Building Performance Simulation Association (IBPSA). Lo scopo principale consiste nel realizzare una serie di strumenti open-source per la progettazione e la simulazione energetica multiscalare. Nell'ambito d'interesse di questo volume, l'obiettivo è il raggiungimento di un flusso di lavoro operabile per il collegamento tra BIM e Modelica (un flessibile linguaggio di modellazione orientato agli oggetti nella modellazione di sistemi complessi, attraverso una libreria che traduce gli elementi di simulazione di EnergyPlus), che si compone di quattro principali elementi:

- Linee guida BIM;
- Una MVD per assicurare che il file IFC incorpori tutte le informazioni necessarie all'analisi energetica;
- Un applicativo sviluppato in Python per il passaggio di dati da IFC a Modelica;
- Requisiti per la redazione di una libreria in Modelica.

I risultati previsti si concretizzeranno in una libreria aperta di strumenti, standard e tutorial, resa disponibile attraverso uno spazio github. La MVD realizzata per lo scopo prende il nome di I2M (Ifc2Modelica) [54] e si riferisce principalmente alla Design Transfer View (DTV) di IFC4, che viene arricchita attraverso dei set di attributi e una serie di regole per assicurare la corretta definizione del modello, con l'obiettivo di svolgere analisi di tipo energetico.

### 5.3.5 XPPM, SEM e GMSD

XPPM, SEM e GMSD sono tre strumenti pensati per supportare altrettante operazioni nell'ambito della metodologia IDM/MVD:

- XPPM si occupa della mappatura dei processi;
- SEM è dedicato alla definizione dei concetti tematici;
- GMSD consente la modellazione di regole e vincoli.

In questo modo costituiscono una serie di servizi successivi, fornendo all'utente una guida attraverso alcuni passaggi del processo. Uno degli aspetti fondamentali di questi strumenti è che sono pensati per scomporre il flusso di lavoro con un approccio modulare, permettendo di costruire blocchi riutilizzabili nella definizione di più IDM o MVD.

Nel dettaglio:

- XPPM (eXtended Process to Product Modeling) è uno strumento di modellazione di prodotto incentrato sul processo, basato sul metodo Georgia Tech Process to Product Modeling (GTPPM), ma specificamente orientato alla redazione di IDM, grazie all'implementazione della notazione BPMN (Business Process Modeling Notation). Il suo utilizzo permette di svolgere tutte le operazioni necessarie alla redazione di un IDM, con il vantaggio di procedere attraverso uno sviluppo integrato di Process Maps, Exchange Requirements e Functional Parts. Inoltre, grazie al suo esplicito riferimento allo schema IFC, si prevede che possa essere impiegato per la generazione automatica di MVD a partire dall'IDM [43].
- SEM (Semantic Exchange Module) fornisce un metodo di sviluppo per le MVD attraverso la definizione di pacchetti informativi riutilizzabili il cui scopo principale è rivolto a mantenere la coerenza concettuale ed evitare le ridondanze, così da migliorare l'efficienza dei modelli. Un SEM è costituito da un sottoinsieme di oggetti e relazioni che vengono richieste nella definizione di un modello di scambio e formalizzate attraverso una parte di MVD [44]. L'idea che sta alla base dello sviluppo di questi elementi è che i software possano arrivare a codificare le funzioni di importazione ed esportazione attraverso un approccio modulare che permette d'includere/escludere facilmente sezioni indipendenti dello schema IFC.
- GMSD (Generalized Model Subset Definition) è uno schema per la manipolazione dei dati attraverso regole basato su EXPRESS e fortemente orientato a IFC. Si tratta di uno strumento estremamente generico e indipendente dalle strutture esistenti, pensato per garantire la massima libertà nella modellazione. Nella sua attuazione, si compone di due parti fondamentali finalizzate alla selezione/estrazione degli oggetti e alla definizione delle viste. L'utilizzo dei due moduli rappresenta un possibile processo per la realizzazione di MVD sullo schema IFC [45]. [45] Anche in questo caso, ritorna il tema del riutilizzo di moduli, declinato in un'accezione secondo cui una MVD possa essere utilizzata come sottoschema di altre MVD. Per dare esecuzione al concetto di GMSD, viene sviluppata un'applicazione Java denominata ViewEdit, che consente di estrarre sottoinsiemi di modelli filtrati al livello dello schema logico [46].

Sebbene interessanti e sviluppati in modo rigoroso sulla base delle specifiche IFC, le tre proposte appena analizzate arrivano con difficoltà a uno stadio di sviluppo che si può definire operabile, rimanendo per lo più a un livello sperimentale.

### 5.3.6 Applicazione di Query languages

Un'altra possibile soluzione per l'esecuzione della metodologia IDM/MVD consiste nell'applicazione di linguaggi d'interrogazione (query languages), secondo un approccio derivato dal dominio dei database.

La relazione fra linguaggi di interrogazione e MVD emerge spesso, nell'idea che le operazioni di filtraggio dei modelli IFC possano essere attuate per mezzo di query strutturate capaci di selezionare ed estrarre

porzioni dello schema sulla base delle regole contenute nelle MVD. Tuttavia, la trasformazione delle MVD in codici query non è un passaggio affatto banale, tanto che sul tema si stanno muovendo diverse linee di ricerca.

Su questo tema, un'interessante review confronta l'applicazione di 16 linguaggi d'interrogazione a modelli BIM per l'estrazione d'informazioni rilevanti ai fini delle analisi energetiche [47], prendendo in considerazione sia l'utilizzo di linguaggi già codificati (come SQL, Structured Query Language) che l'impiego di codici per l'interrogazione di modelli BIM, sviluppati ad hoc (come BIMQL, BIM Query Language). Lo studio conclude che, allo stato dell'arte, nessuno dei linguaggi può condurre alla definizione di un modello completamente operabile per lo svolgimento di simulazioni energetiche, in quanto si rilevano mancanze strutturali da parte dei linguaggi stessi, specialmente per quanto riguarda l'opportunità di utilizzare le MVD come dati di input per la definizione delle regole di filtraggio. Allo stato attuale, l'esempio più promettente appare l'applicativo QueryGenerator [48], che utilizza le MVD come dati di input per compilare in modo semi-automatico codici query in linguaggio Java da implementare nella piattaforma open source BIMServer.

### 5.3.7 MVDLite

MVDLite costituisce una proposta alternativa a mvdXML per la redazione delle MVD, con una procedura più leggera e flessibile [49]. A tal fine, MVDLite propone una nuova grammatica, caratterizzata da tre aspetti:

- Combinazione di tutti gli elementi in un unico linguaggio;
- Mappatura delle regole in linguaggio naturale;
- Mantenimento di una compatibilità bidirezionale con mvdXML.

Il sistema si basa sull'introduzione di "catene di regole" (rule chain), definite come sequenze di "segmenti di regole" (rule segment), che permettono d'identificare i vincoli in modo più sintetico, esplicitando una sola volta i percorsi completi delle relazioni, che possono essere poi richiamati facilmente nel file.

Il processo per la realizzazione e la manipolazione di una MVD attraverso MVDLite si fonda sull'idea di separare le regole legate alle discipline tecniche rispetto a quelle definite sulla base della struttura del modello dati, così da non richiedere l'azione congiunta di professionisti specializzati nella gestione del processo edilizio e di tecnici informatici. Con questo approccio, infatti, le figure professionali possono lavorare separatamente, definendo ciascuna i requisiti nel proprio ambito di competenza.

### 5.3.8 Nordic Energy Analysis (NOW-001)

La Model View "Nordic Energy Analysis (NOW-001)" è stata pubblicata nel 2011 con lo scopo di supportare il passaggio di informazioni fra il dominio della progettazione architettonica e quello dell'analisi energetica nella fase preliminare del processo edilizio (concept design). Lo schema è basato su IFC2x3 e, in particolare, la MVD è costituita da un sottoinsieme della specifica Concept Design BIM 2010 (CDB-2010). Il contenuto è suddiviso in sei categorie:

- Generale: Unità di misura e caratteristiche del contesto scandinavo;
- Localizzazione: Coordinate geografiche, altitudine e orientamento;
- Composizione: Localizzazione relativa e relazioni fra gli oggetti;
- Spazi e superfici di scambio termico: Pareti, finestre, porte e pavimenti;
- Mappatura: Spazi, pareti, finestre, porte, pavimenti e ombreggiamenti;
- Ostacoli esterni: Ombreggiamenti e altri elementi.

Al contrario, non considera le seguenti informazioni:

- Proprietà termiche degli elementi tecnici;
- Profili di utilizzo dei locali;
- Dati climatici.

### 5.3.9 Architectural Design to Building Energy Analysis (GSA-003)

Rilasciata nel 2011 dopo la fusione con altre linee di progetto, questa MVD per IFC 2x3 si focalizza sull'analisi energetica in fase di progetto. Essa tratta, in particolare, il tema dei dati in ingresso per l'avvio di strumenti di simulazione esterni. Lo scopo principale è lo scambio d'informazioni sugli spazi, con associate le relative informazioni energetiche, per il coordinamento dei requisiti dell'analisi energetica con quelli più generali che caratterizzano spazi e zone.

Nell'IDM viene presentata una coppia di Process Model (Concept Design Energy Analysis e Prepare/Adjust BIM for Energy Analysis) e tre classi di Exchange Requirements sono individuati a supporto di analisi energetiche a diversi livelli di approfondimento (dalle analisi preliminari a quelle di dettaglio) e per la trasmissione dei risultati delle analisi:

- Energy Analysis Input 1: Scambio d'informazioni parziali per analisi preliminari su fabbisogni annuali o predimensionamenti impiantistici, da eseguirsi ad opera dell'architetto;
- Energy Analysis Input 2: Scambio d'informazioni complete per analisi preliminari su fabbisogni annuali o predimensionamenti impiantistici, da eseguirsi ad opera dell'ingegnere meccanico o dell'esperto in tema energetico;
- Energy analysis results: Scambio d'informazioni relative agli output delle analisi energetiche.

### 5.3.10 HVAC information exchange (HVACie)

Sviluppata dal National Institute of Building Science americano come parte di un progetto svolto nel periodo 2011-2013, la HVACie MVD [50] si pone l'obiettivo di supportare lo scambio d'informazioni sui componenti impiantistici. Il lavoro svolto ha lo scopo di stabilire un quadro di riferimento condiviso, per descrivere i componenti e le tipologie dei sistemi HVAC da una prospettiva di progettazione ingegneristica, per stabilire le specifiche per la realizzazione di modelli HVAC in fase di progettazione, semplificando il flusso d'informazioni verso gli strumenti di modellazione energetica, che attualmente richiede il ricorso all'immissione manuale. Il processo di progettazione HVAC è stato inizialmente mappato al fine di identificare e documentare tutti i requisiti specifici per lo scambio di dati rilevanti; in seguito, sono stati formalizzati gli Exchange Information Requirements (EIR), l'IDM e la MVD.

Questo progetto risulta di grande interesse, in quanto è l'unico che fa riferimento esclusivo ai sistemi impiantistici, cercando di colmare le lacune che esistono nella gestione informativa dei relativi elementi costitutivi.

### 5.3.11 Energy Analysis View

Nell'archivio ufficiale di MVD di BuildingSmart, è presente, in bozza, una View indirizzata alla valutazione dei consumi energetici e dei costi associati, che fa riferimento allo schema IFC4. Tuttavia, non risulta possibile reperire documentazione al riguardo.

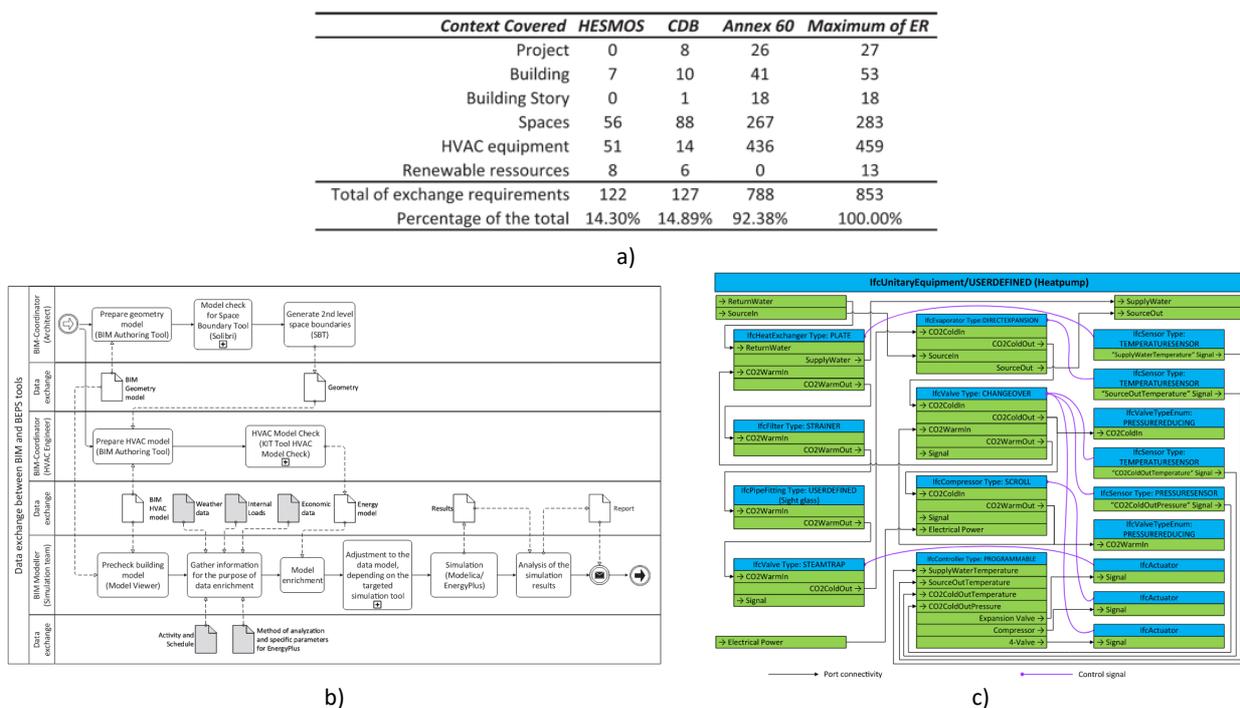


Figura 12. Illustrazioni tratte da [53]: a) Exchange Requirements definiti nei principali MVD legati alla modellazione energetica, confrontati con quelli considerati dal progetto IEA EBC Annex 60; b) Mappa di

processo per lo scambio d'informazioni tra BIM e BEM; c) Schema per la definizione di un'entità Heatpump, mediante IfcUnitaryEquipment.



Figura 13. Rappresentazione del coordinamento tra i progetti IEA EBC Annex60 e IBPSA Project 1 [55].

## 5.4 Progetti europei

Oltre agli approcci precedentemente analizzati, si ritiene importante citare una serie di progetti di ricerca europei che hanno affrontato, talvolta tangenzialmente, il tema del passaggio d'informazioni tra BIM e BEM, proponendo soluzioni e flussi di lavoro che spesso incorporano e combinano le due strategie sopra descritte.

### 5.4.1 HESMOS (ICT Platform for Holistic Energy Efficiency Simulation and Lifecycle Management of Public Use Facilities)

Il progetto HESMOS è stato finanziato dall'Unione Europea, all'interno del Seventh Framework Programme. In Tabella 13 sono raccolte le principali coordinate del progetto.

L'obiettivo del progetto consiste nel colmare le distanze esistenti tra diversi modelli dati per la gestione delle informazioni tecniche in ambito edilizio, così da facilitare l'utilizzo delle simulazioni energetiche in tutte le fasi del processo edilizio. Il lavoro origina dall'analisi del processo tradizionale, al fine d'identificarne le principali criticità, per poi formulare una proposta alternativa, che viene descritta in un'ottica orientata al BIM, per mezzo di un IDM.

Gli step di sviluppo comprendono:

- L'identificazione dei processi e dei soggetti;
- L'identificazione degli scambi;
- La definizione dei requisiti di scambio (Exchange Requirements);
- La modellazione dei requisiti di scambio;
- La redazione della MVD.

Nonostante il flusso di lavoro sia tracciato fino allo sviluppo di una MVD, in seguito alla definizione degli Exchange Requirements il progetto non giunge a concretizzare quest'ultimo strumento. L'applicazione della metodologia IDM/MVD, infatti, permette di evidenziare un'importante problematica, legata alla carenza di materiale descrittivo per l'utilizzo degli strumenti software dedicati alla compilazione della MVD, riferendosi nella fattispecie ad IfcDoc.

Il progetto risulta di grande interesse, perché tenta d'implementare integralmente la metodologia IDM/MVD al tema della simulazione energetica degli edifici. Tuttavia, anche in ragione della sua collocazione in un tempo già passato, non riesce a portare a compimento il processo a causa della mancanza di istruzioni per l'utilizzo degli strumenti per la compilazione della MVD, operazione che viene giudicata come riservata a tecnici informatici esperti.

Nel corso del progetto, viene consigliato d'usare lo standard IFC2x3CV2.0 (Coordination view) per l'esportazione da BIM verso strumenti di progettazione/analisi energetica e il BIM Collaboration Format (BCF) per restituire i report di output della progettazione/analisi energetica ai progettisti architettonici.

Nel corso del progetto è inoltre stato notato come tuttavia, pure nella Coordination View, il progettista energetico possa ricevere informazioni sovrabbondanti e per larga parte non utili al proprio intento. È stato inoltre notato come per l'analisi energetica sia stato adottato un approccio "one size fits all" nello sviluppo della MVD, concentrando in un'unica MVD tutte le informazioni che possano risultare utili nelle diverse fasi

di lavoro dei professionisti coinvolti nelle attività di progettazione/analisi energetica. Viene dunque suggerito di modificare almeno in parte tale approccio, in modo da fornire le informazioni più adeguate alla singola attività di progettazione/analisi energetica.

La Figura 14 raccoglie alcune immagini rappresentative del progetto.

#### 5.4.2 BERTIM (Building Energy Renovation through Timber prefabricated Modules)

Il progetto BERTIM è stato finanziato dall'Unione Europea, all'interno dell'Horizon 2020 Framework Programme. In Tabella 14 sono raccolte le principali coordinate del progetto.

Il progetto ha identificato e sviluppato tecnologie e buone pratiche per nuove costruzioni e riqualificazioni ad alte prestazioni energetiche basate sull'impiego di elementi prefabbricati in legno. In tale ambito e per quanto d'attinenza del presente volume, il progetto ha approfondito il tema dell'interoperabilità fra IFC ed EnergyPlus, come tassello fondamentale per realizzare un processo edilizio integrato. Il progetto si limita a studiare il flusso informativo che riguarda:

- La localizzazione del progetto;
- La geometria dell'involucro edilizio;
- Gli ombreggiamenti esterni.

A partire da un modello IFC esportato da Autodesk Revit, il flusso di lavoro proposto opera attraverso la manipolazione del file in formato testuale, per mezzo di script di programmazione. La parte più consistente del processo riguarda la mappatura delle adiacenze fra le zone termiche, con la finalità di raggiungere la corretta definizione degli Space Boundary di primo e secondo livello. Una volta identificate le geometrie che descrivono le zone, le informazioni relative alle proprietà degli elementi tecnici vengono trasferite alle superfici di delimitazione delle zone stesse, così da ottenere un modello compatibile con quello richiesto da EnergyPlus.

L'approccio utilizzato dal progetto BERTIM è sicuramente interessante, in quanto punta a dare risposta a una delle principali criticità rimaste ancora senza soluzione nell'ambito della conversione del modello geometrico. Tuttavia, la documentazione rilasciata non risulta sufficientemente esplicitativa da permettere di ripetere le sperimentazioni eseguite. Inoltre, si tratta di un approccio poco standardizzato, basato su codici sviluppati all'infuori dalle procedure raccomandate dagli enti normativi e dalle organizzazioni internazionali per l'interoperabilità.

#### 5.4.3 BIM4EEB (BIM based toolkit for Efficient rEnovation in Buildings)

Il progetto BIM4EEB è stato finanziato dalla Unione Europea, all'interno dell'Horizon 2020 Framework Programme. In Tabella 15 sono raccolte le principali coordinate del progetto.

Il progetto BIM4EEB, finanziato per il periodo 2019-2022, punta a sviluppare una serie di strumenti BIM-based per la promozione delle operazioni di riqualificazione energetica del costruito. Allo stato di attuale sviluppo, i risultati hanno tracciato i sistemi di requisiti che caratterizzano i diversi profili di utenza coinvolti nei processi di miglioramento energetico degli edifici residenziali (progettisti, imprese, fornitori di servizi, proprietari e abitanti).

#### 5.4.4 eeEmbedded (Collaborative Holistic Design Laboratory and Methodology for Energy-Efficient Embedded Buildings)

Il progetto eeEmbedded è uno studio finalizzato allo sviluppo di una piattaforma di progettazione e simulazione basata sul BIM che integra:

- Una metodologia progettuale olistica;
- Un modello dati per la definizione dei dati energetici;
- Un sistema di gestione delle informazioni.

In Tabella 16 sono raccolte le principali coordinate del progetto.

Il progetto si fonda sul concetto di Multi-model, ovvero contenitori in grado di gestire le informazioni provenienti da più modelli, anche se disponibili in forme eterogenee (modelli informativi, geometrici, analitici etc.), un contesto in cui è fondamentale disporre di alti livelli di interoperabilità per la buona riuscita dei processi. A questo scopo, il progetto sviluppa tre MVD, una per ciascuna fase del processo edilizio che viene analizzata:

- eeE Urban Design;

- eeE Early Design;
- eeE Detailed Design.

Il processo per la definizione delle MVD si riferisce a quello sviluppato nel corso del progetto HESMOS, di cui si riprende lo schema dell'IDM, che si articola in tre fasi:

- Identificazione dei requisiti di scambio (Exchange Requirements);
- Progettazione con IfcDoc;
- Esportazione del formato mvdXML e della documentazione di supporto.

In particolare, per quanto riguarda lo stadio centrale di sviluppo, si sottolinea l'importanza di riutilizzare MVD e Concept Template già realizzati, nell'ottica di capitalizzare il lavoro già eseguito in altre ricerche.

Nonostante l'interessante approccio, il progetto non arriva a rilasciare le MVD di cui tratta nel corso dei report, quindi risulta difficile validare i risultati raggiunti. Si fa, inoltre, cenno al fatto che la metodologia basata su IDM/MVD non risulta sufficiente a colmare le lacune di interoperabilità, in parte anche a causa della scarsa efficacia delle interfacce di esportazione fra BIM e IFC.

#### 5.4.5 SWIMing (Semantic Web for Information Management in Energy Efficient Buildings)

Il progetto punta a integrare i modelli BIM entro una piattaforma web-based per la descrizione integrata dell'edificio, con particolare riferimento al tema del comportamento energetico, allo scopo di facilitare la condivisione delle informazioni e di migliorare i possibili effetti di azioni progettuali.

In Tabella 17 sono raccolte le principali coordinate del progetto.

Per quanto d'interesse di questo volume, il progetto si occupa d'identificare, attraverso l'analisi di 33 progetti europei sul tema dell'efficienza energetica degli edifici, i casi di utilizzo (use case) più diffusi e i relativi requisiti informativi, individuandone 46. Successivamente, questi vengono confrontati attraverso l'inserimento in un template IDM appositamente creato.

La metodologia IDM/MVD è citata nel corso del progetto, ma il suo sfruttamento appare limitato alla funzione di riferimento teorico per l'individuazione dei criteri fondamentali con cui raggruppare e confrontare i casi di utilizzo. Nessuna applicazione viene, invece, tentata per quanto riguarda le opportunità di incrementare l'interoperabilità dei modelli informativi.

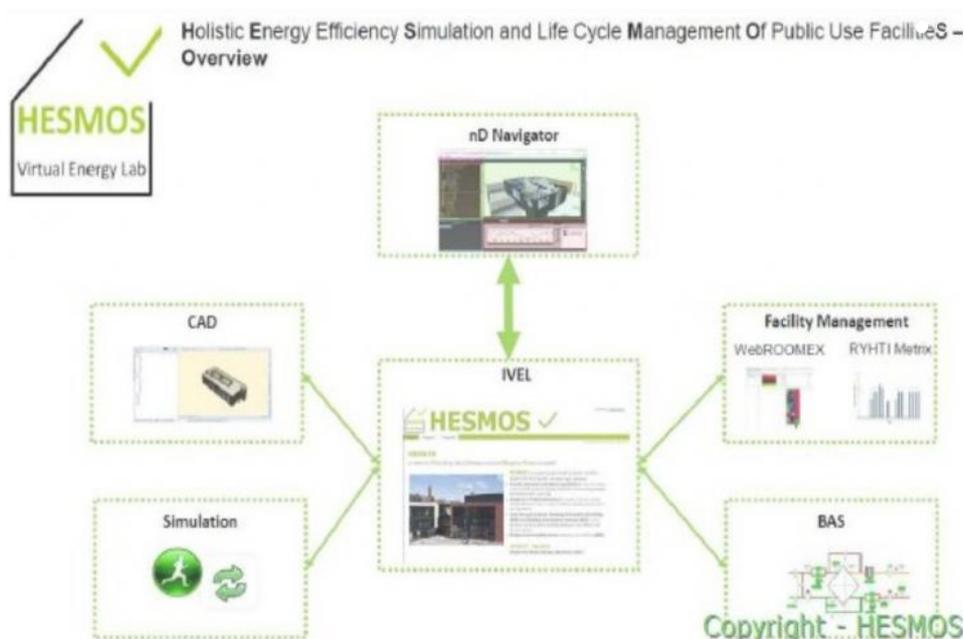


Figura 14. Immagine esemplificativa del progetto HESMOS [56].

**Tabella 13. Principali coordinate del Progetto HESMOS [57].**

ID del Grant Agreement	260088	Partecipanti	
Data inizio	2010-09-01	TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN	Germania
Data fine	2013-12-31	AEC3 LTD	Regno Unito
Programma	FP7-ICT - Specific Programme "Cooperation": Information and communication technologies	ALLPLAN SLOVENSKO SRO	Slovacchia
		BAM BOUW EN TECHNIEK BV	Olanda
Topic	EeB-ICT-2010.10.2 - ICT for energy-efficient buildings and spaces of public use	BAM DEUTSCHLAND AG	Germania
		GRANLUND OY	Finlandia
Call	FP7-2010-NMP-ENV-ENERGY-ICT-EeB	KONINKLIJKE BAM GROEP NV	Olanda
Finanziamento UE	€ 2699330	OBERMEYER PLANEN + BERATEN GMBH	Germania

**Tabella 14. Principali coordinate del Progetto BERTIM [58].**

ID del Grant Agreement	636984	Partecipanti	
Data inizio	2015-06-01	FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION	Spagna
Data fine	2019-05-31	EGOIN SA	Spagna
Programma	H2020-EU.3.3.1 - Reducing energy consumption and carbon footprint by smart and sustainable use	EMPRESA MUNICIPAL DE LA VIVIENDA Y SUELO DE MADRID SA	Spagna
		INSTITUT TECHNOLOGIQUE FCBA (FORETCELLULOSE BOIS-CONSTRUCTION AMEUBLEMENT)	Francia
Topic	EE-01-2014 - Manufacturing of prefabricated modules for renovation of building	POBI STRUCTURES	Francia
		COLLAGE ARKITEKTER AB	Svezia
Call	H2020-EE-2014-1-PPP	RISE RESEARCH INSTITUTES OF SWEDEN AB	Svezia
Finanziamento UE	€ 4148435	MARTINSONS BYGGSYSTEM KB	Svezia
		BRABRAND BOLIGFORENING	Danimarca
		DIETRICH'S FRANCE	Francia
		TECHNISCHE UNIVERSITAET MUENCHEN	Germania
		ASM - CENTRUM BADAN I ANALIZ RYNKUSPOLKA Z OGRANICZONA ODPOWIEDZIALNOSCIA	Polonia
		OSLO KOMMUNE	Norvegia
		LULEA TEKNISKA UNIVERSITET	Svezia
SETRA TRAVAROR AB	Svezia		

**Tabella 15. Principali coordinate del Progetto BIM4EEB [59]**

ID del Grant Agreement	820660	Partecipanti	
Data inizio	2019-01-01	POLITECNICO DI MILANO	Italia
Data fine	2022-06-30	TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY	Finlandia
Programma	H2020-EU.2.1.5.2. - Technologies enabling energy-efficient systems and energy-efficient buildings with a low environmental impact	SOLINTEL M&P SL	Spagna
		RISE RESEARCH INSTITUTES OF SWEDEN AB	Svezia
Topic	LC-EEB-02-2018 - Building information modelling adapted to efficient renovation (RIA)	UNIVERSITY COLLEGE CORK - NATIONAL UNIVERSITY OF IRELAND, CORK	Irlanda
		SUITES DATA INTELLIGENCE SOLUTIONS LIMITED	Cipro
Call	H2020-NMBP-EEB-2018	ONE TEAM SRL	Italia
Finanziamento UE	€ 6993942.63	TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN	Germania
		CAVERION SUOMI OY	Finlandia
		VISUALYNK OY	Finlandia
		CONSEIL DES ARCHITECTES D'EUROPE	Belgio
		CGI SVERIGE AB	Svezia
		REGIONE LOMBARDIA	Italia
		AZIENDA LOMBARDA PER L'EDILIZIA RESIDENZIALE DI VARESE - COMO - MONZABRIANZA - BUSTO ARSIZIO	Italia
PROCHEM SA	Polonia		

**Tabella 16. Principali coordinate del Progetto eeEmbedded [60].**

ID del Grant Agreement	609349	Partecipanti	
Data inizio	2013-10-01	TECHNISCHE UNIVERSITAET DRESDEN	Germania
Data fine	2017-09-30	FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FOERDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.	Germania
Programma	FP7-NMP - Specific Programme "Cooperation": Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and new Production Technologies	ALLPLAN SLOVENSKO SRO	Slovacchia
		DATA DESIGN SYSTEM ASA	Norvegia
Topic	EeB.NMP.2013-5 - Optimized design methodologies for energy-efficient buildings integrated in the neighborhood energy systems	RIB INFORMATION TECHNOLOGIES AG	Germania
		JOTNE EPM TECHNOLOGY AS	Norvegia
Call	FP7-2013-NMP-ENV-EeB	GRANLUND OY	Finlandia
Finanziamento UE	€ 7649997	SOFISTIK HELLAS AE	Grecia
		INSTITUT FUR ANGEWANDTE BAUIFORMATIK EV-INSTITUTE FOR APPLIED BUILDING INFORMATICS IABI	Germania
		FR. SAUTER AG	Svizzera
		OBERMEYER PLANEN + BERATEN GMBH	Germania
		CENTRO DE ESTUDIOS DE MATERIALES Y CONTROL DE OBRA SA	Spagna
		STRABAG AG	Austria
		KONINKLIJKE BAM GROEP NV	Paesi Bassi

**Tabella 17. Principali coordinate del Progetto SWIMing [61].**

ID del Grant Agreement	637162	Partecipanti	
Data inizio	2015-02-01	THE PROVOST, FELLOWS, FOUNDATION SCHOLARS & THE OTHER MEMBERS OF BOARD OF THE COLLEGE OF THE HOLY & UNDIVIDED TRINITY OF QUEEN ELIZABETH NEAR DUBLIN	Irlanda
Data fine	2017-01-31	KARLSRUHER INSTITUT FUER TECHNOLOGIE	Germania
Programma	H2020-EU.2.1.5.2. - Technologies enabling energy-efficient systems and energy-efficient buildings with a low environmental impact	AEC3 LTD	Regno Unito
		UNIVERSITY COLLEGE CORK - NATIONAL UNIVERSITY OF IRELAND, CORK	Irlanda
Topic	EeB-04-2014 - Support for the enhancement of the impact of EeB PPP projects	ETHNIKO KENTRO EREVNAS KAI TECHNOLOGIKIS ANAPTYXIS	Grecia
Call	H2020-EeB-2014		
Finanziamento UE	€ 499125		

### 5.5 Osservazioni conclusive

L'analisi delle esperienze svolte a livello internazionale e le indagini preliminari del presente studio hanno permesso di evidenziare le difficoltà incontrate nel processo di conversione di modelli BIM verso le piattaforme di simulazione energetica, con particolare riferimento a EnergyPlus. In generale, si rilevano la numerosità e la limitata strutturazione delle attività volte a tal fine, nonché la prevalenza di attività focalizzate sull'involucro piuttosto che sul sistema impiantistico.

Nessuno tra i progetti analizzati risulta un punto fondante per lo sviluppo della presente ricerca. I risultati della maggior parte dei progetti sono infatti datati, altri sono limitati a specifiche applicazioni, mentre per altri ancora risulta difficile recuperare informazioni sufficienti per fondarvi le basi per ulteriori sviluppi. Di conseguenza, nella presente ricerca, si è scelto di utilizzare le informazioni tratte da quest'analisi dello stato dell'arte per definire il percorso più conveniente per lo sviluppo delle attività mirate a fornire linee guida e informazioni utili al raggiungimento di un'efficace interoperabilità BIM nella progettazione di ZEB.

## 6 Conversione BIM↔BEM

### 6.1 Premessa

Al fine di rendere effettivamente efficace l'interoperabilità nello scambio dati tra BIM e BEM, verso un immediato e congruente processo di progettazione/analisi energetica, si sono raccolti i parametri principali necessari per procedere nella simulazione energetica, per ognuno dei quali si sono definite le modalità di reperimento dal file IFC e le eventuali criticità correlate. Tale attività corrisponde alla definizione dei cosiddetti Exchange Information Requirements, che costituiscono il contributo fondante e operativamente più importante all'interno di un processo IDM/MVD.

Tale attività è stata inoltre estesa alle fasi di gestione e manutenzione, con la definizione degli elementi necessari alla rendicontazione e alla gestione di anomalie e interventi di manutenzione.

Assieme ai parametri di input per la progettazione/analisi energetica, si ritiene opportuno rendere disponibile anche la possibilità di comunicare, attraverso IFC, i target prestazionali dell'edificio. Spesso, infatti, il target di prestazione (energetica) diviene un fondamento del progetto architettonico, atto a giustificarne la collocazione sul mercato. Diventando quindi la prestazione energetica un elemento imprescindibile per l'intero progetto, è giusto che sia comunicata al progettista energetico quale obiettivo della sua attività progettuale. A tal fine, si elencheranno anche parametri di output della progettazione/analisi energetica utili a esprimere tanto i valori obiettivo quanto i valori effettivamente calcolati al termine del processo di progettazione/analisi energetica.

Per realizzare appieno l'obiettivo di interoperabilità tra BIM e BEM, si ritiene necessaria la bi-direzionalità di scambio dei parametri di cui sopra. In tal modo, è più probabile siano garantiti:

- a) La limitazione delle comunicazioni tra progettista energetico e progettista architettonico. I dati eventualmente ipotizzati dal progettista dovrebbero infatti divenire immediatamente disponibili agli altri progettisti (architettonico, d'interni, etc.), in quanto sussistono molte possibili interazioni tra i diversi attori della progettazione.
- b) Le prestazioni progettuali obiettivo. I risultati ottenuti nel corso della progettazione energetica devono infatti essere riscontrati dal progettista architettonico per verificarne l'avvenuto raggiungimento.
- c) Le caratteristiche ipotizzate dal progettista energetico per gli elementi d'involucro/impianto. È giusto, infatti, che i dati tipologici, dimensionali e prestazionali siano noti al valutatore economico del progetto, per la definizione di documenti quali il computo metrico e il preventivo di costo.

La trattazione parte dalla definizione di entità di supporto (6.2) utili nel corso di più attività, progettuali e manutentive, per proseguire con una descrizione generale di fenomeni e parametri fisici coinvolti nell'ambito della progettazione energetica e della manutenzione (6.3), per concludersi con i principali EIR destinati alla progettazione energetica (6.4) e di qui alla MVD, considerando 7 fasi d'uso, definite in termini di fasi di progettazione preliminare/definitiva (tipicamente detta a LOD basso/alto) e manutenzione.

### 6.2 Entità di supporto

Le entità di supporto, meglio specificate nei seguenti sottoparagrafi, saranno poi richiamate nel seguito della trattazione. Esse sono ritenute utili per elevare la qualità della progettazione energetica e le opportunità d'implementazione delle attività inerenti ad altre fasi del ciclo di vita dell'edificio, prima fra tutte la fase di manutenzione. Esse s'intendono utilizzabili da tutti gli attori, a qualsiasi livello di sviluppo e in qualsiasi attività:

- Comunicazioni, utilizzabili per consentire la trasmissione di informazioni e raccomandazioni tra stakeholders, siano essi progettisti, manutentori o utenti dell'edificio, tanto nella progettazione quanto nella costruzione o nella conduzione/uso dell'edificio;
- Documenti, anch'essi inseribili o utilizzabili da diversi stakeholders e in qualsiasi fase di vita dell'edificio, per esempio per guidare nelle scelte progettuali o nelle attività d'uso e manutenzione;

- Serie temporali, utilizzabili tanto nella comunicazione di condizioni d'occupazione, al fine di migliorare l'accuratezza dell'attività progettuale, quanto per raccogliere output dalle simulazioni termo-energetiche o dati raccolti nel corso della gestione dell'edificio.

### 6.2.1 Comunicazioni

Un'interoperabilità spinta dovrebbe consentire anche la limitazione delle comunicazioni estemporanee tra attori della progettazione. Inoltre, la possibilità di dare indicazioni univoche consente di diminuire il gap prestazionale tra progettazione e realizzazione, consentendo al progettista d'indicare particolari attenzioni da adottare nelle fasi di costruzione e manutenzione, al fine di mantenere un'elevata qualità prestazionale e funzionale dell'edificio nel corso degli anni, tanto più importante per edifici ad elevate prestazioni quali gli ZEB. A tal fine si ritiene dunque utile puntare l'attenzione sulle IfcActionRequest, quale strumento generale di comunicazione, per la richiesta di revisioni degli oggetti, di parti di essi o di informazioni ad essi associati. Lo standard IFC già consente, infatti, la stesura di richieste di azione, ma esse non risultano ancora diffusamente utilizzate dagli attori del ciclo di vita, né convenientemente implementate da parte delle software house.

Secondo il modello di dati IFC, laddove la comunicazione assuma la forma d'una richiesta o d'una raccomandazione, si può fare riferimento all'entità IfcActionRequest, di cui s'individuano le principali caratteristiche in Tabella 18. Come sopra accennato, risulta fondamentale avere la possibilità di associarvi entità/gruppi, secondo una struttura standard all'interno del modello di dati. Come sottoclasse di IfcControl, IfcActionRequest permette ciò attraverso la classe di relazione IfcRelAssignsToControl, che ha come quarto attributo RelatedObjects (gli oggetti coinvolti nella richiesta) e come settimo RelatingControl (la richiesta stessa). È infine possibile la concatenazione di entità IfcActionRequest attraverso il concetto di Object Nesting, per fornire la successione degli scambi informativi tra stakeholder. Le IfcRequest possono essere utilizzate anche per costruire chiamate manutentive. Inoltre, l'entità IfcActionRequest può essere assegnata ad entità IfcActor attraverso la relazione IfcRelAssignsToActor, per eleggere la persona o l'organizzazione che emana la richiesta, e può segnalare la persona chiamata a rispondere alla richiesta, attraverso una relazione IfcRelAssignsToControl, in cui la proprietà RelatingControl si riferisce all'IfcActionRequest e la proprietà RelatedObjects contiene i destinatari della richiesta.

Nonostante lo schema di utilizzo di IfcActionRequest sia ben documentato in IFC, si segnala come esso possa essere sostituito dall'utilizzo di BIM Collaboration Format (BCF) [62], uno dei protocolli offerti da buildingSMART e comunemente utilizzato per lo scambio di richieste informative, raccomandazioni, richieste di modifica di entità/proprietà/attributi, verso gli attori che hanno la proprietà degli oggetti presenti nel modello.

Il formato BCF si basa sul linguaggio XML, ovvero un insieme di regole che consentono di definire e controllare il significato degli elementi contenuti nei file. Le informazioni veicolate vengono contestualizzate tramite un riferimento diretto ad una vista di modello (attraverso l'acquisizione di coordinate PNG) e ad elementi di un modello IFC (attraverso l'attributo GUID di IFC). Il file viene distribuito attraverso un formato \*.bcfzip che contiene riferimenti dello schema XML e una cartella per ogni richiesta  
Figura 15.

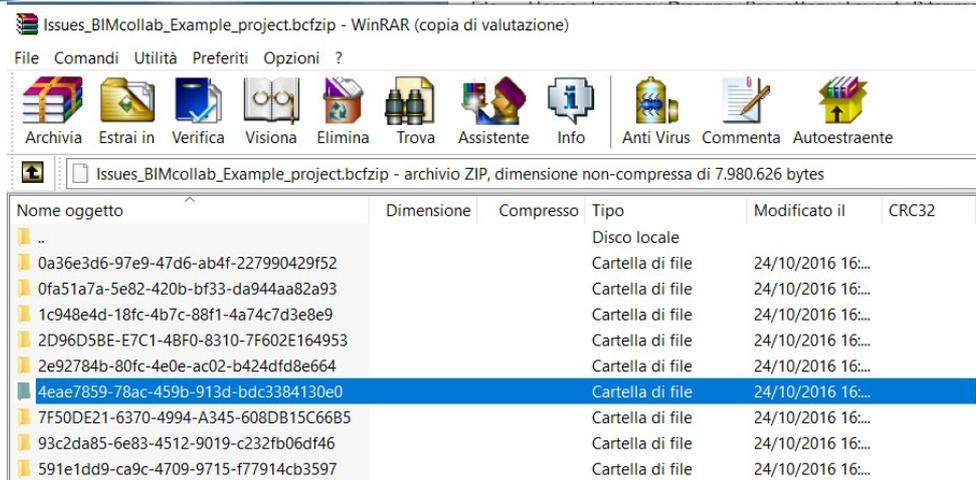


Figura 15. Esempio di archivio BCFzip contenente le rispettive cartelle, ognuna avente un GUID specifico [63].

### 6.2.2 Documenti

Ritenendo utile rendere il modello BIM un hub informativo ed essendo tale funzione utile tanto per il mantenimento delle ipotesi progettuali svolte dal progettista energetico (attraverso l’inclusione di documenti e specifiche tecniche di riferimento anche per altri progettisti) quanto per la conveniente gestione della fase manutentiva, si ritiene utile far risaltare le potenzialità dell’inclusione del riferimento a documenti. Ciò può avvenire mediante il ricorso alle entità della famiglia “Documents” di IFC. Tale famiglia consente infatti di:

- Gestire il riferimento a documenti
- Gestire le informazioni che riguardano un documento

In particolare, la principale entità d’interesse consiste nell’IfcDocumentReference, che consente di fare riferimento a un documento, definendone i parametri riassunti in Tabella 19. Infine, IFC consente di creare relazioni tra documenti, attraverso cosiddetti puntatori.

Si fa infine notare come anche i documenti possano essere applicati in qualsiasi fase di vita dell’edificio e come essi possano interessare diversi stakeholder.

### 6.2.3 Serie temporali di dati

Entro le serie temporali di dati si fanno ricadere due occasioni d’uso:

- Schedule di input. Le schedule servono a calendarizzare, nel corso dell’anno (tipicamente con cadenza oraria), il profilo di parametri di input quali il numero di occupanti, la disponibilità e il consumo di dispositivi d’illuminazione e d’altri dispositivi elettrici, il consumo d’acqua, la temperatura di setpoint per l’ambiente interno, i livelli di ventilazione, etc. Come evidente, le schedule sono quindi fondamentali per il passaggio dei dati necessari per ottenere risultati accurati e sfruttare appieno le opportunità dischiuse dal ricorso a motori di simulazione termo-energetica dinamica, come EnergyPlus. Essi, infatti, consentono di calcolare il comportamento dell’edificio per ogni ora dell’anno, conseguentemente ai profili d’uso dichiarati dall’utente attraverso le schedule, tipicamente con granularità oraria e in base a contingenti condizioni meteo variabili entro range tipici per la località, consentendo d’identificare fenomeni di surriscaldamento o condizioni d’inadeguatezza impiantistica non rilevabili con altri strumenti di calcolo. Le schedule possono essere basate sulle entità IfcTimeSeries, e in particolare sulla sottoclasse IfcRegularTimeSeries, a costituire schedule utilizzabili dai software di simulazione termo-energetica, a patto che coprano un’estensione temporale almeno pari ai giorni di simulazione previsti, quindi, tipicamente, un anno per le valutazioni energetiche e un giorno per il dimensionamento dell’impianto in condizioni di progetto invernale/estivo. Il riferimento a ciascuna di esse avverrà mediante il richiamo dell’attributo “Name”.

- Output di simulazione. Gli output di simulazione possono presentarsi nella forma di serie di dati orari, giornalieri, mensili o, quale massima sintesi, annuali. Essi sono generalmente prodotti nella forma di file in formato non-proprietario, quali SQLite e CSV (Comma Separated Values). Perché ne sia disponibile la trasmissione, è opportuno prevederne l'eventuale inserimento, laddove utili, all'interno del file IFC stesso. Anche in questo caso si può far uso delle entità `IfcTimeSeries`. Il riferimento a ciascuna di esse avverrà mediante il richiamo dell'attributo "Name".
- Letture/Comandi da/verso sensori/attuatori. Anche i dati rilevati da sensori o i comandi inviati ad attuatori sono in realtà serie informazioni referenziate temporalmente e possono quindi essere memorizzate o trasmesse attraverso IFC, ricorrendo appunto a serie temporali di dati richiamate attraverso property set `Pset_SensorPHistory` e `Pset_ActuatorPHistory`, a propria volta collegati alle corrispondenti `IfcTimeSeries`. Analogamente, ogni componente impiantistico già incluso nello standard IFC (quali, per esempio, `IfcAirTerminalBox`, `IfcDumper`, `IfcFan`, etc.) è associato a un'entità di tipo `Pset_...PHistory` che riveste lo stesso ruolo dei più generici `Pset_SensorPHistory` e `Pset_ActuatorPHistory`.

I principali dati utili nella definizione di serie temporali sono illustrati in Tabella 20.

Si fa infine notare come anche le serie temporali di dati possano essere applicate in qualsiasi fase di vita dell'edificio e come esse possano interessare diversi stakeholders.

### 6.3 *Il ciclo di vita dell'edificio: aspetti impiantistici, energetici e di qualità dell'ambiente interno*

#### 6.3.1 Premessa

L'impiantistica civile è volta a garantire la piena fruibilità degli spazi interni, con riferimento, in ordine di rilevanza, agli aspetti legati a:

- Benessere termoigrometrico, riferito al mantenimento di condizioni di temperatura e umidità di benessere, in funzione delle modalità di fruizione degli ambienti.
- Benessere illuminotecnico, riferito al mantenimento di condizioni di illuminazione in grado di assicurare la prestazione visiva richiesta per le attività svolte all'interno degli ambienti ed evitare condizioni di disagio visivo, per esempio ad opera di eventi d'abbagliamento o errata percezione cromatica.
- Qualità dell'aria interna, riferita al mantenimento di concentrazioni d'inquinanti entro limiti compatibili con una continuativa fruizione degli ambienti.
- Benessere acustico, riferito al mantenimento di condizioni acustiche compatibili con le modalità di fruizione degli ambienti e l'esigenza d'isolamento dai rumori provenienti dall'esterno o dalle altre unità immobiliari. Quest'aspetto non è in verità diretta competenza dell'impiantistica civile, ma quest'ultima può influenzare profondamente il benessere acustico all'interno degli ambienti. Di conseguenza, è opportuno che i professionisti impiantistici facciano scelte progettuali atte ad evitare la generazione di rumori ad opera degli impianti. Storicamente, inoltre, l'acustica e l'impiantistica civile vivono una contiguità didattica che porta gli impiantisti civili ad essere comunque edotti delle problematiche acustiche e delle principali soluzioni.

Nel tempo, agli aspetti illustrati sopra s'è aggiunta la questione energetica. L'impiantista civile deve infatti minimizzare l'impatto dell'edificio sull'ambiente, avendo quale obiettivo il minimo consumo energetico e il minimo livello di emissioni nocive in ambiente. Attualmente, quest'affermazione vale in particolare con riferimento alla fase operativa dell'edificio (pensiamo, per esempio alla certificazione energetica), ma già esistono molteplici esperienze atte a estendere il minimo impatto sull'ambiente considerando anche le fasi di costruzione, manutenzione e dismissione dell'edificio.

Ovviamente, tutti questi aspetti non possono prescindere da un ennesimo fattore, cioè l'aspetto economico: le prestazioni di fruizione dell'edificio e di minimizzazione dell'impatto dell'edificio sull'ambiente devono essere raggiunte in modo economicamente, oltre che tecnicamente, fattibile.

Emerge dunque come il bilanciamento di tutte queste esigenze, funzionali, ambientali ed economiche, richieda competenze assai ampie e procedure di progettazione avanzate. A tal fine, la tecnologia BIM si propone quale ideale piattaforma per la condivisione informativa e l'avvio di elaborazioni altamente automatizzabili.

Quanto detto appare immediatamente evidente nella consueta accezione progettuale, ma le potenzialità della tecnologia BIM possono andare molto oltre. Il modello BIM può infatti diventare un hub informativo capace di raccogliere le informazioni non solo nello spazio e tra le discipline, ma pure nel tempo. Un modello BIM, con i necessari sviluppi software ancora in fase di progresso, può diventare una piattaforma di scambio dati con i fornitori e la manodopera, in fase di costruzione, ma può pure raccogliere i dati di monitoraggio provenienti da BMS (Building Management System) o IoT (Internet of Things), per rielaborarli e renderli visibili da terzi e permettere eventualmente azioni di regolazione sugli impianti o i componenti d'involucro operabili, o pure consentire la gestione avanzata delle attività di manutenzione, ordinaria e straordinaria.

Quanto finora espresso viene amplificato nel caso di ZEB, in quanto edifici di massima qualità progettuale, costruttiva e operativa, che devono essere...:

- ... progettati in modo da garantire l'elevata prestazione energetica richiesta, ma mantenendo la fattibilità economica, in un delicato equilibrio in cui non risulta conveniente la ricerca della massima prestazione energetica;
- ... costruiti in modo che il sistema edificio-impianto garantisca prestazioni reali vicine alle prestazioni di progetto;
- ... eserciti mantenendo inalterata la prestazione reale, anche dopo anni dall'avvio dell'insieme edificio-impianto.

In breve, la tecnologia BIM, con le sue caratteristiche di rappresentazione grafica avanzata, piattaforma informativa transdisciplinare, completa digitalizzazione documentale e potenzialità di automatizzazione, può essere vantaggiosamente impiegata in qualsiasi fase di vita dell'edificio, portandola a progressi progettuali e gestionali ora solo immaginati e non ottenibili per altra via.

### 6.3.2 Progettazione/analisi energetica

Nel presente paragrafo si riassumono i principali concetti di modellizzazione energetica che si ritengono necessari per la migliore comprensione di quanto in seguito espresso in merito alla conversione BIM ↔ BEM nell'ambito della progettazione/analisi energetica.

Innanzitutto, premettiamo che l'involucro edilizio e l'impiantistica garantiscono il mantenimento di condizioni di comfort e di qualità dell'aria interna al variare delle condizioni meteorologiche e delle modalità d'occupazione (accensione di dispositivi d'illuminamento o altri dispositivi elettrici, presenza di persone, etc.).

Si passa quindi ora a descrivere brevemente:

- Le condizioni meteorologiche (6.3.2.1);
- Le modalità d'occupazione (6.3.2.2);
- L'involucro edilizio (6.3.2.3);
- I sistemi impiantistici (6.3.2.4).

#### 6.3.2.1 Le condizioni meteorologiche

Le condizioni meteorologiche vengono coinvolte nelle fasi e modalità sotto descritte:

- Progettazione, basata su calcoli di dimensionamento, svolti attraverso 2 simulazioni termoeconomiche di breve periodo (1 giorno ciascuna), nelle condizioni di progetto, le principali delle quali sono definite sotto:
  - o Giorno di progetto invernale:
    - Temperatura esterna. Essa assume profilo costante nel corso della giornata e pari alla cosiddetta temperatura di progetto invernale dell'aria esterna. Essa risulta pari a una temperatura, definita per convenzione o derivata statisticamente, al di sotto

della quale si suppone che la temperatura dell'aria esterna possa scendere solo per poche ore all'anno (per esempio, statisticamente, lo 0.4% o l'1% delle ore nell'anno). Per esempio, un valore tipico per i principali capoluoghi di provincia padani, è pari a -5°C. I valori possono essere tratti da norme [64] o database, georeferenziati e non.

- Radiazione solare su piano orizzontale. Essa risulta nulla, considerando quindi la totale assenza di radiazione solare. Essa, infatti, contribuirebbe al riscaldamento dell'edificio, quindi, in favore di sicurezza, è opportuno non considerarne la presenza.
- **Giorno di progetto estivo:**
  - **Temperatura esterna.** Essa assume profilo sinusoidale nel corso della giornata, con massimo fissato, tipicamente, per le ore 15:00. Il valore massimo e l'ampiezza totale della sinusoide sono fissati per convenzione. Il valore massimo corrisponde a una temperatura, definita per convenzione o derivata statisticamente, al di sopra della quale si suppone che la temperatura dell'aria esterna possa salire solo per poche ore all'anno (per esempio, statisticamente, lo 0.4% o l'1% delle ore nell'anno). Per esempio, per Roma, sono fissati i seguenti valori:
    - Valore massimo: 34°C;
    - Ampiezza totale: 11°C.Di conseguenza, il profilo della temperatura dell'aria esterna nel corso della giornata di simulazione utile al calcolo di dimensionamento estivo situato a Roma consisterà in una sinusoide che tocca il massimo (34°C) alle 15:00 e scende fino al minimo di 23°C, alle 03:00. I valori possono essere tratti da norme [64] o database, georeferenziati e non.
  - **Radiazione solare su piano orizzontale.** Essa ha profilo coerente con l'andamento della radiazione solare in una giornata di cielo terso, nel sito di progetto. Il profilo può essere tratto da apposite tabelle o direttamente calcolato dal software di simulazione termo-energetica. I valori possono essere tratti da norme [64] o database, georeferenziati e non.
- **Analisi energetica, sulla base di una simulazione termo-energetica annuale, attraverso la definizione dei parametri metereologici sottoindicati, a coprire l'intero anno e i cui valori sono declinati con cadenza oraria:**
  - Temperatura dell'aria esterna;
  - Umidità dell'aria esterna;
  - Temperatura del cielo;
  - Radiazione solare, alternativamente così declinata:
    - Radiazione solare diretta su piano normale ai raggi solari + Radiazione solare totale su piano orizzontale;
    - Radiazione solare diretta su piano orizzontale + Radiazione solare totale su piano orizzontale;
    - Radiazione solare diretta su piano orizzontale + Radiazione solare diffusa su piano orizzontale;
  - Altri parametri metereologici, con effetti di secondo ordine sui risultati, quali la velocità del vento, la direzione del vento e le precipitazioni (parametro opzionale).

### 6.3.2.2 Le modalità d'occupazione

Per modalità d'occupazione si considerano esemplificativamente le seguenti entità:

- La presenza di persone. Le persone influenzano il bilancio termo-energetico dell'edificio attraverso:

- I contributi termici sensibile e latente dovuti alle persone stesse presenti all'interno degli ambienti. Il contributo termico latente consiste nell'apporto di vapore all'ambiente, che diventa oneroso, tipicamente, solo in raffrescamento, cioè quando si deve procedere alla deumidificazione. Il contributo sensibile consiste invece nel resto degli scambi termici tra persona e ambiente interno, convettivi, radianti e, per minima parte, conduttivi. Essi sono detti sensibili, in quanto, contrariamente agli apporti latenti, corrispondono a un contributo nell'elevamento della temperatura all'interno degli ambienti, cioè a un effetto di riscaldamento percepibile in termini termici (effetto di tepore proveniente dall'aria espirata e dalla pelle). I principali parametri che determinano i contributi termici dovuti alle persone consistono nel loro numero, nella loro distribuzione nel corso della giornata e nel livello metabolico tipico per le attività tenute nel corso dell'occupazione degli ambienti.
- La ventilazione, naturale o meccanica, richiesta per il mantenimento della qualità dell'aria all'interno degli ambienti. La ventilazione può essere eseguita manualmente dagli occupanti, oppure, come sempre più spesso avviene, soprattutto in edifici ZEB, regolata sulla base dei livelli di umidità relativa o concentrazione d'anidride carbonica rilevati all'interno degli ambienti. In tal caso, si parla di ventilazione meccanica controllata igroregolabile o basata sui livelli di CO<sub>2</sub>, appartenenti alla categoria della cosiddetta "Demand Controlled Ventilation" (DCV).
- Il livello di comfort desiderato dagli occupanti all'interno degli ambienti, nei termini di temperatura e umidità (minime, in riscaldamento, e massime, in raffrescamento) impostate nel sistema di regolazione.
- L'uso di dispositivi d'illuminazione. L'illuminazione può influenzare in modo rilevante il bilancio termico dell'edificio, in particolare nel caso di edifici del terziario, ancor più se appartenenti alla categoria ZEB. L'illuminazione porta solo contributi termici sensibili, corrispondenti al calore prodotto e rilasciato all'ambiente interno da parte delle lampade e dei trasformatori nel corso del loro funzionamento, in modo convettivo e radiante. I principali parametri che determinano i contributi termici dovuti all'illuminazione consistono principalmente:
  - nel numero di lampade;
  - nella loro efficacia luminosa;
  - nella loro potenza illuminante nominale;
  - nella loro percentuale di regolazione, per esempio ad opera di dispositivi di regolazione intelligente dei sistemi illuminanti, basati generalmente su:
    - Dispositivi dimmer, cioè regolatori che variano la corrente elettrica inviata alle lampade in modo da regolarne la potenza illuminante in base alle reali esigenze dell'ambiente interno, rilevate attraverso sensori d'illuminamento, generalmente posti nei pressi delle postazioni di lavoro per verificare il soddisfacimento dei requisiti d'illuminamento raccomandati per lo specifico task visivo.
    - Sensori di movimento. A seguito della rilevata presenza/assenza di movimenti all'interno dell'ambiente, può essere disposto l'automatica/o accensione/spengimento delle lampade collegate ai sensori stessi.
  - nel periodo d'estensione dell'uso dei corpi illuminanti.

Infine, si fa notare che il funzionamento dei dispositivi d'illuminazione dipende anche dall'azione di altri attori del bilancio termico, quali:

- Gli occupanti dell'edificio
- I sistemi di schermatura
- L'uso di altri dispositivi, elettrici e non. Anche altri dispositivi possono influenzare in modo rilevante il bilancio termico dell'edificio, in particolare nel caso di edifici ZEB del terziario. Pensiamo, per esempio, ad acqua calda sanitaria, PC, server, cucine e sistemi di refrigerazione per la ristorazione e la grande distribuzione, sistemi di movimentazione (ascensori e montacarichi), etc. Come evidente,

tale categoria è molto ampia e altrettanto ampia è la gamma di parametri che ne influenzano il contributo al bilancio termico dell'edificio. Essi portano sia contributi latenti (per esempio, provenienti dall'acqua calda sanitaria, dalle cucine, etc.) che sensibili (per esempio, provenienti da PC, server, cucine e sistemi di refrigerazione per la ristorazione e la grande distribuzione, sistemi di movimentazione, etc.), generalmente in modo convettivo e radiante. Infine, si fa notare che gli altri dispositivi possono essere alimentati non solo da elettricità ma anche da gas o altri combustibili. Si tratta quindi, come detto, di una categoria assai ampia. I principali parametri che determinano i contributi termici dovuti all'illuminazione consistono principalmente:

- nel tipo di dispositivi;
- nel numero di dispositivi per ciascun tipo;
- nella loro potenza assorbita di targa, cioè nella potenza massima assorbita dal dispositivo;
- nelle modalità d'uso correnti. In breve, con semplice riferimento esemplificativo a un PC, quest'ultimo, quando operativo, può assorbire un'ampia gamma di potenze elettriche, da piccole frazioni di watt ad alcune decine di watt, in funzione delle operazioni in corso e quindi delle modalità d'uso.
- nel periodo d'estensione e/o negli eventi d'uso dei dispositivi.

Come avviene per i dati meteorologici, anche le modalità d'occupazione devono essere ipotizzate in modo differente in funzione del tipo di analisi:

- Progettazione:
  - Giorno di progetto invernale: Tutti i contributi sono assunti nulli, considerando quindi la totale assenza di guadagni termici interni. Essi, infatti, contribuirebbero al riscaldamento dell'edificio, quindi, in favore di sicurezza, è opportuno non considerarne la presenza.
  - Giorno di progetto estivo: Tutti i contributi sono ipotizzati attivi, con profilo giornaliero e livelli cautelativi. Infatti, essi contribuiscono al surriscaldamento dell'edificio, quindi, in favore di sicurezza, è opportuno considerarne la presenza a livelli precauzionalmente elevati.
- Analisi energetica: Tutti i contributi sono considerati attivi, con profilo potenzialmente definibile per ogni ora dell'anno. In generale, i guadagni interni e la loro distribuzione, all'interno dei giorni, delle settimane e dei mesi, devono essere il più possibile realistici, noti o assunti che siano.

Le modalità d'occupazione rivestono un ruolo fondamentale nella progettazione/analisi energetica di edifici. Ciò è tanto più vero nel caso di edifici ZEB, dal momento che l'elevata efficienza dell'involucro li rende assai sensibili al contributo proveniente dai guadagni interni. Essendo infatti la potenza di progetto in riscaldamento molto bassa (nell'ordine dei 10...15 W/m<sup>2</sup>), per larga parte della stagione di riscaldamento i guadagni interni risultano sufficienti a coprire le necessità di riscaldamento. Di conseguenza, ipotizzare un errato livello o un'errata distribuzione dei guadagni interni condurrebbe a un'altrettanto errata analisi energetica.

Come già espresso sopra, tutti i contributi illustrati in questo paragrafo richiedono la definizione della distribuzione della specifica entità (cioè la presenza delle persone, l'uso delle luci, l'uso di altri dispositivi elettrici, la ventilazione naturale o meccanica, nonché i livelli di comfort imposti) nel corso della giornata, con la possibilità di distinguere tipi di giornata diversi e considerarne anche una variazione stagionale o mensile. Quest'assegnazione è detta schedulazione e contraddistingue i software di simulazione termico-energetica dinamica, che consentono appunto di tener conto della variazione di condizioni al contorno dell'edificio variabili nel tempo e, per tale motivo, consentono l'inserimento delle schedule di occupazione, uso dei dispositivi d'illuminazione, etc., anche con risoluzione sub-oraria, per ciascun giorno dell'anno.

Le cosiddette schedule rivestono quindi un ruolo molto importante nella progettazione/analisi energetica di edifici ZEB e per tale motivo dovrebbero essere attentamente definite, preferibilmente in accordo con il committente o gli occupanti. Attualmente, infatti, mancano norme atte a definire col livello di dettaglio

necessario le schedule per le diverse destinazioni d'uso degli ambienti. Le schedule diventano quindi un altro rilevante gruppo di scambio informativo tra progettisti, quindi d'interoperabilità.

### 6.3.2.3 L'involucro edilizio

L'involucro edilizio è composto da superfici delimitanti opache (cioè pavimenti, pareti interne ed esterne, soffitti, tetti e porte) e superfici delimitanti trasparenti (finestre, porte-finestre e lucernari).

Se inizialmente, a titolo d'esempio, ci focalizziamo sulle sole superfici delimitanti opache, possiamo facilmente convincerci che la loro costituzione in altro non consista che in una mera successione di strati di materiale. Ciò vale anche nel caso delle stratigrafie vetrate costituenti finestre e porte-finestre, in cui gli strati sono di vetro e di gas, e in cui s'aggiungono i materiali costituenti il telaio ed eventuali pannelli opachi (presenti, per esempio, in porte-finestre solo parzialmente trasparenti).

Le caratteristiche termo-energetiche delle superfici delimitanti, opache e trasparenti, sono definite attraverso parametri fisici e ottici quali la conduttività termica, la densità, il calore specifico, l'emissività termica e le proprietà ottiche.

Per definire la stratigrafia delle superfici delimitanti s'useranno i seguenti raggruppamenti d'informazioni:

- Raggruppamento "Construction - Opaque", secondo la Tabella 23, con riferimento ai seguenti strati di materiale:
  - o Strati di materiale opaco, in stratigrafie opache;
  - o Strati d'aria, in stratigrafie opache.

Per convenzione, EnergyPlus considera la singola stratigrafia definita richiamando gli strati costituenti dal più esterno al più interno (cioè dal più lontano al più vicino all'ambiente confinato con riferimento al quale si dichiarerà la superficie cui sarà applicata la costruzione stessa).

- Raggruppamento "Construction - Transparent", secondo la Tabella 24, con riferimento alle caratteristiche globali del serramento. Allo stato attuale, infatti, IFC non consente di definire stratigrafie trasparenti, quindi non s'è ritenuto il caso di richiedere una siffatta definizione dei pacchetti costruttivi di finestre e simili. Tuttavia, sarebbe auspicabile introdurre la descrizione dettagliata delle stratigrafie trasparenti all'interno di IFC, al fine di sfruttare il dettaglio simulativo consentito non solo dai software di simulazione termo-energetica dinamica, ma anche dai motori di simulazione illuminotecnica. A tal fine, si sono riassunti in Tabella 25 i parametri necessari alla compiuta descrizione ottica (e di qui anche termica, con riferimento al comportamento agli scambi termici radiativi ad alta e bassa frequenza) del singolo strato vetrato.
- Raggruppamento "Texture", per la definizione delle caratteristiche di finitura superficiali dei materiali opachi, conformemente alla Tabella 26.

La definizione cromatica delle superfici esportabile verso il software di simulazione termo-energetica deve consistere nei colori specificati attraverso il metodo iniziato da `IfcMaterialDefinitionRepresentation`, che permette di legare ad un `IfcMaterial` una propria `IfcSurfaceStyleRendering` (Figura 16).

Va segnalata una possibile incoerenza nello schema di dati, in quanto un colore può essere assegnato direttamente ad una superficie attraverso una classe di `IfcStyledItem` applicata alla geometria dell'elemento. Essendo questo una definizione associata alla classe di costruzione geometrica di un'entità stratificata (`IfcExtrudedAreaSolid`, `IfcTessellatedFaceSet`, etc.) potrebbe portare ad una errata specifica del materiale sulle superfici degli elementi, pertanto va preferita la soluzione legata alla definizione delle proprietà dei materiali.



inserimento (dati disponibili, per esempio, nella forma di diagrammi o in tabelle, al variare di un numero limitato di variabili, etc.).

- c) Le strategie di regolazione degli impianti implementabili con elementi/strategie di default all'interno della simulazione sono piuttosto semplici. Nella realtà, le strategie di regolazione possono essere molto complesse e di difficile implementazione all'interno dei più consolidati software di simulazione termo-energetica.

Nel complesso, le condizioni ostative cui s'è appena accennato potrebbero essere risolte attraverso i BIM e altre innovazioni informative. Infatti:

- a) L'automatizzazione nella trasposizione dei componenti e delle geometrie impiantistiche disegnate via MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing) consentirebbe d'inserire in modo dettagliato i componenti impiantistici, con piena coerenza rispetto al progetto edilizio.
- b) L'inserimento dei dati impiantistici potrebbe essere ulteriormente facilitato come segue. Le mappe prestazionali potrebbero essere trasmesse dai fornitori ai progettisti attraverso le cosiddette reti neurali. Le reti neurali sono algoritmi capaci di mappare una funzione multidimensionale non lineare attraverso una serie di coefficienti, che possono essere contenuti in piccoli file. Tali file potrebbero essere passati assieme al file IFC, all'interno del quale potrebbero essere presenti riferimenti a reti neurali, attraverso un path locale o web (per esempio un riferimento a file all'interno di una repository online). In tal modo, dati anche molto complessi potrebbero essere istantaneamente trasmessi al motore di simulazione, garantendo altresì la massima accuratezza nelle simulazioni. Pensando in modo ulteriormente estensivo, tutte le caratteristiche dei componenti necessarie alla simulazione potrebbero essere normate definendo schemi informativi compilati dai produttori stessi di componenti al fine di trasmettere con un unico documento tutte le informazioni necessarie alla dettagliata simulazione del componente stesso. Anche tali dati potrebbero essere inseriti in una repository cui fare riferimento.
- c) Per implementare strategie di regolazione più avanzate, si possono sviluppare template di schemi di regolazione da compilare all'atto dell'inserimento degli impianti, eventualmente consentendo il riferimento a sensori/centraline/attuatori effettivamente inclusi nel progetto. Comunque, si ritiene che ulteriori sviluppi nella direzione di una maggiore flessibilità nella definizione delle strategie di regolazione possano giungere solo dalla ridefinizione dell'architettura d'implementazione all'interno dei software di simulazione termo-energetica più consolidati.

Infine, si fa notare che anche la definizione delle strategie di regolazione richiede la definizione di schedule, per esempio per fissare priorità di accensione o valori di set-point puntuali di temperatura, umidità, etc.

### 6.3.3 Fase di gestione

La fase di gestione riunisce le seguenti attività:

- Conduzione, cioè la gestione della normale operatività dell'edificio e degli impianti ad esso asserviti. Essa può essere suddivisa in due àmbiti:
  - o Conduzione tecnica (accensione/spengimento/regolazione dei sistemi impiantistici, verifica del mantenimento delle condizioni di comfort e qualità dell'aria previste, etc.);
  - o Conduzione economica (rendicontazione delle bollette e comunicazioni con i fornitori di energia);
- Manutenzione programmata, cioè la gestione degli interventi di manutenzione previsti per il mantenimento dell'operatività dell'involucro e dei sistemi impiantistici;
- Manutenzione straordinaria.

Le attività di conduzione e manutenzione, ordinaria e straordinaria, costituiscono un altro campo di applicazione di grande potenzialità per lo standard IFC. Come detto sopra, infatti, il modello BIM può potenzialmente estendersi al punto da divenire un hub informativo per l'intero ciclo di vita. Si elencano di seguito alcune funzioni che potrebbe assolvere in quest'ambito:

1. Piattaforma di raccolta della documentazione tecnica e dei manuali d'uso, con riferimento all'involucro edilizio e ai sistemi impiantistici;
2. Piattaforma di gestione degli interventi di manutenzione programmata e straordinari;
3. Piattaforma di rendicontazione economica e gestione dei contratti di fornitura;
4. Piattaforma di raccolta/invio dati da IoT e BMS, da sensori o risorse esterne e verso attuatori o risorse esterne, e di regolazione.

A ciascuna funzione sarà dedicato un paragrafo, all'interno del quale verranno illustrati le informazioni d'interesse e i parametri IFC rilevanti allo scopo.

#### 6.3.3.1 Piattaforma di raccolta della documentazione tecnica e dei manuali d'uso

Grazie alla potenziale inclusione di tutti i componenti d'involucro e impianto e all'innata capacità di referenziarli spazialmente, il modello BIM potrebbe svolgere il ruolo di libreria documentale ad accesso visuale. A tal scopo, il modello BIM potrebbe includere il percorso del documento (possibilmente ospitato all'interno di una repository online o, in seconda istanza, in una cartella facilmente trasmissibile col file IFC stesso), nonché dati atti a definirne alcune informazioni di rilievo quali versione, autore, etc. Starà poi alle software house consentire l'apertura dei file direttamente dal modello BIM, eventualmente attraverso browser di lettura pdf, doc, etc. integrati.

La base per una tale gestione documentale risiede nell'uso dell'entità IfcDocument, come illustrato in Tabella 19. La tabella raccoglie anche parametri utili a definire una cronologia di commenti (Comment\_Text, Comment\_Author, Comment\_Date), offrendo una base di comunicazioni integrata al modello. È tuttavia evidente come gli strumenti di collaborazione attualmente disponibili offrano prestazioni e opportunità enormemente superiori.

Si pone infine un ulteriore spunto di discussione: l'accesso a repository online, per quanto desiderabile per mantenere la disponibilità dei file al variare della posizione del file IFC costituente il modello BIM, pone problemi per quanto attiene alla necessità di certificati di sicurezza e password, che dovrebbero trovare adeguata gestione all'interno del software stesso.

#### 6.3.3.2 Piattaforma di gestione degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria

Si è deciso di riunire le trattazioni delle manutenzioni ordinaria e straordinaria in quanto accomunate da elementi simili. IFC già offre parametri utili alla gestione di interventi di manutenzione, richiamati nelle tabelle sotto specificate.

Si ritiene che per la manutenzione, ordinaria e straordinaria, possa risultare utile rendere trasmissibili i seguenti elementi:

- Richiesta d'intervento di manutenzione, le cui voci sono illustrate in Tabella 18, per:
  - o La descrizione delle singole operazioni d'intervento programmate e la loro schedulazione

- La segnalazione di guasti e anomalie, eventualmente anche da parte di utenti dell'edificio. La manutenzione straordinaria è infatti qui intesa con ampia accezione. Si ritiene infatti che l'elevata inclusività dei modelli BIM debba consentire la raccolta dei dati di base inerenti non solo all'esecuzione di interventi di manutenzione straordinaria ma pure alla segnalazione di anomalie da parte di utenti dell'immobile. A livello di gestione territoriale sono infatti già utilizzate app per la segnalazione di anomalie su pertinenze cittadine. Si prevede che tali strumenti possano consolidarsi anche nella gestione di edifici di grandi dimensioni. Per rendere disponibili le informazioni di base della cronologia delle segnalazioni, si ritiene dunque utile considerarne l'inclusione entro le segnalazioni d'intervento di manutenzione. La programmazione della manutenzione ordinaria, della manutenzione straordinaria e la segnalazione di anomalie rese ad opera degli occupanti richiedono molti parametri comuni, quali la possibile inclusione di documentazione informativa, la possibile definizione, pur se approssimativa, di un intervento di manutenzione, l'assegnazione dell'intervento a un responsabile.
- Intervento di manutenzione, descrivibile attraverso il medesimo oggetto IfcActionRequest descritto in Tabella 18, dal momento che la medesima, nello standard IFC, è predisposta alla concatenazione, proprio al fine di consentire una successione di richieste d'intervento e risposte alle stesse, attraverso relazione IfcRelNests.
- Riferimento del singolo manutentore/operatore, svolto attraverso la compilazione di un oggetto IfcPersonAndOrganization, segnalato in Tabella 31.

#### 6.3.3.3 Piattaforma di rendicontazione economica e gestione dei contratti di fornitura

I dati di rendicontazione economica delle forniture consistono nei dati che riguardano il singolo contratto di fornitura (ivi includendo anche i contratti di scambio energetico per l'energia elettrica prodotta da impianti fotovoltaici), raccolti in oggetti che uniscono informazioni provenienti da entità IfcDocumentReference e IfcRegularTimeSeries, come illustrato in Tabella 32 (riferita alle informazioni generali riguardanti il singolo contratto di fornitura), e nei dati di sintesi delle bollette, come illustrato in Tabella 33. Ovviamente, dovrebbe essere dapprima stabilita una codifica tale da consentire la categorizzazione dei documenti e il loro ordinamento in base a vettore energetico, unità immobiliare di riferimento e identificativo contrattuale.

#### 6.3.3.4 Piattaforma di raccolta/invio dati da IoT e BMS e regolazione

La piattaforma di raccolta/invio dati da IoT e BMS si basa sui concetti di sensore e attuatore. Questi costituiscono infatti input e output della piattaforma. IFC include elementi IfcSensor e IfcActuator, che nel presente capitolo vengono utilizzati quale base per la definizione dello scambio informativo tra modello BIM e sistemi di monitoraggio/controllo:

- IfcSensor. Ne sarà creata un'istanza per ciascun sensore di misura rilevato dal modello BIM. Si può a tal riguardo ipotizzare la disponibilità di serie temporali di letture di valori da sensori/misuratori di varia natura, eventualmente con frequenza di acquisizione sub-oraria. L'origine più plausibile di questi dati consiste in un Building Management System o in una rete IoT, che potrebbero trasmettere i dati attraverso un file, un indirizzo ftp (File Transfer Protocol), un'interrogazione http (HyperText Transfer Protocol), etc. Alcuni esempi:
  - Dati di consumo: contatori, contacalorie, etc.;
  - Dati inerenti all'uso dell'edificio: sensori di movimento, contapersone, wattmetri, etc.;
  - Dati inerenti alle condizioni dell'ambiente interno: temperatura a bulbo asciutto, umidità (relativa o assoluta), illuminamento, livello di pressione sonora, portata d'aria, etc.
  - Controllo/monitoraggio d'impianti: temperatura, umidità, pressione, portata, voltaggio, percentuale di apertura, potenza termica, potenza frigorifera, potenza elettrica, codice di allarme, etc.

Di default, IFC rende disponibili i seguenti sensori, rilevanti nel presente campo di applicazione: di CO, di CO<sub>2</sub>, di contatto, di fiamma, di flusso, di ghiacciamento, di rilevazione gas, d'identificazione, di luce, di umidità, di movimento, di pressione, d'irraggiamento, di fumo, acustico, di temperatura e anemologico. L'implementazione consigliata per gli elementi sensori è illustrata in

Tabella 34.

- IfcActuator. Ne sarà creata un'istanza per ciascun attuatore rilevato dal modello BIM. Si può a tal riguardo ipotizzare la disponibilità di serie temporali di attuazioni impartite.  
Di default, IFC rede disponibili i seguenti attuatori, rilevanti nel presente campo di applicazione: elettroattuatore, attuatore operato manualmente, attuatore idraulico, attuatore pneumatico, e attuatore termostatico. L'implementazione consigliata per gli elementi sensori è illustrata in Tabella 35.

#### 6.4 Parametri di scambio

Nel seguito, per le principali attività di progettazione/analisi energetica e gestione, si specificano, attraverso tabelle, i parametri di scambio necessari per il compiuto espletamento della singola attività e quindi per garantire l'interoperabilità tra BIM e strumenti attinenti all'energetica. Considerato che tali informazioni possono avere applicazione limitata a specifiche attività, queste ultime vengono eventualmente esplicitate all'interno delle tabelle stesse. Ciò non è avvenuto nel caso della presentazione dei parametri di scambio inerenti alle entità di supporto (6.2) in quanto potenzialmente utilizzabili in tutti i contesti.

Da Tabella 21 a Tabella 35 vengono segnalate le corrispondenze tra i parametri di simulazione ritenuti necessari ed elementi, parametri e attributi disponibili all'interno dello standard IFC. Laddove lo standard IFC non presenti parametri utili a specifici scambi informativi, verranno suggerite alternative. Nelle tabelle sarà utilizzata la seguente simbologia:

- Relazione di referenziazione tra elemento IFC e attributo appartenentevi: "."  
Per esempio: IfcPostalAddress.Country
- Relazione di referenziazione interna tra elementi IFC: "←"  
Per esempio: IfcSite.SiteAddress←IfcPostalAddress
- Relazione di referenziazione esterna tra elementi IFC:
  - o Se la referenziazione è già prevista dallo standard IFC: "↔"  
Per esempio: IfcSite↔Pset\_LandRegistration
  - o Se la referenziazione non è già prevista dallo standard IFC: "⇐"  
Per esempio: IfcSite⇐Pset\_Asset

Laddove il parametro non risulti avere già corrispondenza entro lo standard IFC, s'è proceduto alla segnalazione mediante l'annotazione "Parametro aggiunto". E' stata comunque cura degli autori limitare al minimo l'aggiunta di parametri e utilizzare in massima parte parametri già presenti in IFC. Quest'attività è consistita nei seguenti step:

1. Stesura di un elenco dei parametri necessari per l'avvio di simulazioni finalizzate alla progettazione energetica preliminare/definitiva e per la manutenzione dell'edificio;
2. Verifica della completezza delle voci IFC rispetto ai parametri necessari agli usi di cui in 1 e definizione delle modalità d'ottenimento dei parametri di cui in 1;
3. Definizione di parametri a integrazione delle voci attualmente esistenti all'interno dello standard IFC.

Questi parametri di scambio costituiscono de facto gli Exchange Information Requirements (EIR), cioè la parte attuativa di una Model View Definition. Anzi, son stati in verità definiti gli EIR per 7 MVD, in quanto, nella definizione dei parametri considerati da Tabella 21 a Tabella 35, si è fatto riferimento alle seguenti 7 combinazioni di fasi d'uso:

- I. In fase di progettazione preliminare (cioè cosiddetto LOD basso):
  - A. Calcolo di progetto invernale;
  - B. Calcolo di progetto estivo;
  - C. Analisi energetica e/o di ritorno finanziario;
- II. In fase di progettazione avanzata (cioè cosiddetto LOD alto):
  - A. Calcolo di progetto invernale;

- B. Calcolo di progetto estivo;
- C. Analisi energetica e/o di ritorno finanziario;
- D. Conduzione/Manutenzione/Gestione.

All'interno delle relative colonne, è stato specificato se il parametro sia da ritenersi:

- Non utile alla fase d'uso: "-";
- Utile quale input emesso da parte della piattaforma BIM: "I";
- Utile quale input emesso da parte della piattaforma BIM, ma se ne raccomanda una revisione/integrazione all'interno dello standard IFC, al fine d'implementare maggiori o più conformi informazioni: "(I)";
- Utile quale output proveniente da altri tool e ricevuto dalla piattaforma BIM: "O".

In riferimento alla procedura di IDM descritta in 3.2.2, si ricorda di nuovo come proprio gli EIR costituiscano la parte più importante dell'IDM. L'elenco dei parametri notevoli e la loro traduzione nei termini dello standard IFC, verificandone la coerenza all'interno dello schema medesimo, costituiscono dunque passi fondanti nella definizione dell'IDM. Quest'attività ha condotto, quale risultato notevole, a una matrice di Exchange Information Requirements, raggruppati per aree tematiche, adeguatamente proposti nella loro implementazione in una MVD, in modo che il personale preposto alla compilazione dell'MVD non ricorra ad interpretazioni personali. Tale matrice è rappresentata, in questo elaborato, dalle tabelle sottoelencate, che elencano i parametri di scambio necessari per la progettazione/analisi energetica e la gestione dell'insieme edificio-impianti, secondo i seguenti ambiti tematici:

- Entità di scambio, utili per tutte le combinazioni di fasi d'uso individuate e per ulteriori utilizzi, per esempio per la collaborazione in fase di progetto:
  - Richieste: Tabella 18, il cui raggruppamento di dati è da definire nel numero di un'istanza per richiesta d'azione;
  - Documenti: Tabella 19, il cui raggruppamento di dati è da definire nel numero di un'istanza per documento;
  - Serie temporali: Tabella 20, il cui raggruppamento di dati è da definire nel numero di un'istanza per serie temporale;
- Parametri di scambio propriamente detti, utili per il dimensionamento e l'analisi energetica, nonché per la gestione dell'edificio:
  - Sito di costruzione:
    - Tabella 21, per i dati generali, da definire nel numero di un'unica istanza per progetto;
    - Tabella 22, per i dati meteorologici di progetto, da definire nel numero di un'unica istanza per progetto;
  - Superfici di delimitazione degli ambienti:
    - Tabella 23, per la definizione delle costruzioni opache, da definire nel numero di un'istanza per costruzione opaca;
    - Tabella 24, per la definizione semplificata, correntemente supportata da IFC, delle costruzioni trasparenti, da definire nel numero di un'istanza per costruzione trasparente;
    - Tabella 25, per la definizione dettagliata, cioè correntemente non supportata da IFC, delle costruzioni trasparenti, da definire nel numero di un'istanza per costruzione trasparente;
    - Tabella 26, per la definizione delle caratteristiche ottiche delle superfici, da definire nel numero di un'istanza per superficie. A tal fine, si considera l'esistenza di un solo StyleRendering, atto a raccogliere i colori realistici dei materiali.
    - Tabella 27, per la definizione delle caratteristiche del singolo ponte termico, da definire appunto nel numero di un'istanza per ponte termico.
  - Condizioni interne:
    - Tabella 28, da definire nel numero di un'istanza per vano;

- Valori di output:
  - Tabella 29, per lo scambio delle potenze di progetto di riscaldamento/raffrescamento e altri risultati di dimensionamento, da definire nel numero di un'unica istanza per vano;
  - Tabella 30, per la sintesi dei risultati di simulazione, per l'intera unità immobiliare o l'edificio, da definire nel numero di un'unica istanza per progetto. Questa consente di descrivere in modo dettagliato la prestazione energetica del sistema edificio-impianto nonché la garanzia del mantenimento delle condizioni di comfort termoigrometrico e della qualità dell'aria attese in edifici di nuova progettazione.
- Manutentori:
  - Tabella 31, da definire nel numero di un'istanza per manutentore;
- Contratti di fornitura:
  - Tabella 32, per l'identificazione dei dati generali inerenti al singolo contratto di fornitura, nel numero di un'istanza per contatore;
  - Tabella 33, per la sintesi dei consumi rilevati, bolletta dopo bolletta, nel numero di un'istanza per contatore.
- Sensori:

- Tabella 34, da definire nel numero di un'istanza per sensore rilevato;
- Attuatori:
  - Tabella 35, da definire nel numero di un'istanza per attuatore comandato.

**Tabella 18. Parametri di definizione della singola richiesta d'azione.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	
GlobalID	ID univoco della richiesta	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.GlobalID</a>	<a href="#">IfcGloballyUniqueId</a>	
Name	Specifica aggiuntiva	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.Name</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	
Description	Descrizione generica della richiesta	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.Description</a>	<a href="#">IfcText</a>	
Status	Stato della richiesta	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.Status</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	
LongDescription	Descrizione estesa	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.LongDescription</a>	<a href="#">IfcText</a>	
RecurrencePattern	Entità dell'eventuale ricorrenza	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssignsToControl.IfWorkCalendar.WorkingTimes</a> ← <a href="#">IfcWorkTime.RecurrencePattern</a>  <a href="#">IfcWorkCalendar.WorkingTimes</a> ← <a href="#">IfcWorkTime.RecurrencePattern</a>	<a href="#">IfcRecurrencePattern</a>	Nel caso di controllo di manutenzione programmata.
RefEntity	Riferimento a un'entità del modello	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssignsToControl.RelatedObjects</a>	<a href="#">IfcObjectDefinition</a>	In questa relazione seleziono l'elemento e il workCalendar prestabilito
OwnerHistory	Informazioni in merito agli autori coinvolti nella richiesta	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssignsToActor.RelatingActor</a> ← <a href="#">IfcActor.TheActor</a>	<a href="#">IfcActorSelect</a>	

**Tabella 19. Parametri di definizione di caratteristiche e posizione del singolo documento.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	
Identification	Identificativo univoco del documento	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcDocumentReference.Identification</a>	<a href="#">IfcIdentifier</a>	
Name	Ulteriore specifica	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcDocumentReference.Name</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	
Location	Indirizzo del file	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcDocumentReference.Location</a>	<a href="#">IfcURIReference</a>	Ai fini dell'interoperabilità, sarebbe opportuno che indirzasse online.
DocumentInformation	Metadati del documento	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcDocumentReference.ReferencedDocument</a>	<a href="#">IfcDocumentInformation</a>	Revisione, periodo di validità, ultimo revisore, note, etc.
RefElement_GUID	GUID di riferimento per legare il documento a uno o più oggetti o a uno o più gruppi di oggetti	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssociatesDocument.RelatedObjects</a> . ← <a href="#">IfcDefinitionSelect.GlobalId</a>	<a href="#">IfcGloballyUniqueId</a>	
Descrizione	Annotazioni inerenti al documento	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcDocumentReference.Description</a>	<a href="#">IfcText</a>	

**Tabella 20. Parametri di definizione della singola serie temporale.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	
Name	Nome univoco	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.Name</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	
Description	Descrizione estesa della schedule	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.Description</a>	<a href="#">IfcText</a>	
Unit	Unità di misura	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.Unit</a>	<a href="#">IfcUnit</a>	
DataOrigin	Origine dei dati	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.DataOrigin</a>	<a href="#">IfcDataOriginEnum</a>	
UserDefinedDataOrigin	Specifica addizionale	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.UserDefinedDataOrigin</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	
StartTime	Data d'inizio della serie temporale	Scalare	Data e Ora	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.StartTime</a>	<a href="#">IfcDateTime</a>	
EndTime	Data di termine della serie temporale	Scalare	Data e Ora	-	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.EndTime</a>	<a href="#">IfcDateTime</a>	
TimeStep	Passo temporale	Scalare	Stringa	giorni, ore, minuti, etc.	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.Timestep</a>	<a href="#">IfcTimeMeasure</a>	
Values	Serie di valori	Array	Reale	Varie, in funzion e della definizi one della schedul e	<a href="#">IfcRegularTimeSeries.Values</a>	<a href="#">IfcTimeSeriesValue</a>	

**Tabella 21. Parametri di definizione del sito di costruzione – Informazioni generali.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminarie			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Country	Stato	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!</a> <a href="#">IfcPostalAddress.Country</a>	<a href="#">IfcLabel</a>								Parametri utili per la definizione dei dati meteorologici di progettazione/analisi energetica.
Region	Regione	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!</a> <a href="#">IfcPostalAddress.Region</a>	<a href="#">IfcLabel</a>								
Town	Comune	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!</a> <a href="#">IfcPostalAddress.Town</a>	<a href="#">IfcLabel</a>								
RefLatitude	Latitudine	Scalare	Reale	°	<a href="#">IfcSite.RefLatitude</a>	<a href="#">IfcCompoundPlaneAngleMeasure</a>								
RefLongitude	Longitudine	Scalare	Reale	°	<a href="#">IfcSite.RefLongitude</a>	<a href="#">IfcCompoundPlaneAngleMeasure</a>								
RefElevation	Altitudine	Scalare	Reale	m	<a href="#">IfcSite.RefElevation</a>	<a href="#">IfcLengthMeasure</a>								
TimeZone	Fuso orario	Scalare	Reale	h			-	-	-	-	-	-	-	Parametro deducibile in modo automatico, a partire dalle coordinate geodetiche del sito di progetto.
TrueNorth	Angolo del nord vero rispetto al nord fittizio del complesso edilizio	Scalare	Reale	°	<a href="#">IfcGeometricRepresentationContext.TrueNorth</a>	<a href="#">IfcDirection</a>								

**Tabella 22. Parametri di definizione del sito di costruzione – Meteo – Condizioni di progetto.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
HeatingDesignDay	Data di riferimento per le condizioni di progetto invernale	Scalare	Data	-	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .HeatingDesignDay	<a href="#">IfcDateTime</a>		-	-		-	-	-	
HeatingDryBulb	Temperatura esterna (a bulbo secco), nelle condizioni di progetto invernale	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .HeatingDryBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>		-	-		-	-	-	
HeatingWetBulb	Temperatura esterna (a bulbo umido), nelle condizioni di progetto invernale	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .HeatingWetBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>		-	-		-	-	-	
CoolingDesignDay	Data di riferimento per le condizioni di progetto estivo	Scalare	Data	-	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDesignDay	<a href="#">IfcDateTime</a>	-		-	-		-	-	
CoolingDryBulb	Temperatura esterna massima (a bulbo secco), nelle condizioni di progetto estivo	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDryBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-		-	-		-	-	
CoolingDryBulbDailyDelta	Incremento giornaliero della temperatura (a bulbo secco) esterna, nelle condizioni di progetto estivo	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDryBulbDailyDelta	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-		-	-		-	-	Parametro aggiunto
CoolingWetBulb	Temperatura esterna (a bulbo umido), nelle condizioni di progetto estivo	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingWetBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-		-	-		-	-	

**Tabella 23. Parametri di definizione della singola costruzione per superfici opache.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
LayerSetName	Nome univoco	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.LayerSetName</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	-	-	-				-	Si assume che, lavorando a LOD basso, le costruzioni possano essere assunte a partire da assunzioni qualitative (p.e.: costruzioni isolate, moderatamente isolate, etc.) o mediante associazione a tecniche costruttive tipiche per il luogo.
Description	Descrizione	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.Description</a>	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-				-	
Layer_Name	Nome univoco dello strato	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].GUID</a>	<a href="#">IfcLabel</a>	-	-	-				-	Si assume che, lavorando a LOD basso, le costruzioni possano essere assunte a partire da assunzioni qualitative (p.e.: costruzioni isolate, moderatamente isolate, etc.) o mediante associazione a tecniche costruttive tipiche per il luogo.
Layer_Description	Descrizione dello strato	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].Description</a>	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-				-	
Layer_Thickness	Spessore dello strato di materiale	Scalare	Reale	m	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].LayerThickness</a>	<a href="#">IfcNonNegativeLengthMeasure</a>	-	-	-				-	
Thermal_Conductivity	Conduttività termica (apparente) del materiale	Scalare	Reale	W/m-K	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].IfcMaterialPset_MaterialThermal.ThermalConductivity</a>	<a href="#">IfcThermalConductivityMeasure</a>	-	-	-				-	
Layer_Density	Densità del materiale	Scalare	Reale	kg/m3	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].IfcMaterialPset_MaterialThermal.MassDensity</a>	<a href="#">IfcMassDensityMeasure</a>	-	-	-				-	
Layer_SpecificHeat	Calore specifico del materiale	Scalare	Reale	J/kg-K	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].IfcMaterialPset_MaterialCombustion.SpecificHeatCapacity</a>	<a href="#">IfcSpecificHeatCapacityMeasure</a>	-	-	-				-	
Layer_IRSpectrum_FrontSide_Emissivity	Emissività della faccia anteriore dell'elemento.	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].IfcMaterialPset_MaterialOptical.ThermalIrEmissivityFront</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
Layer_IRSpectrum_BackSide_Emissivity	Emissività della faccia posteriore dell'elemento.	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers[n].IfcMaterialPset_MaterialOptical.ThermalIrEmissivityBack</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	

**Tabella 24. Parametri semplificati di definizione della singola costruzione per superfici trasparenti.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
UValue	Trasmittanza del sistema trasparente	Scalare	Reale	W/(m <sup>2</sup> ·K)	<a href="#">IfcWindow</a> ⇔ <a href="#">Pset_WindowCommon</a> .ThermalTransmittance	<a href="#">IfcThermalTransmittanceMeasure</a>	-	-	-				-	Si assume che, lavorando a LOD basso, le costruzioni possano essere assunte a partire da assunzioni qualitative (p.e.: finestre a singola intercapedine non basso-emissiva e riempite con aria).
VisibleTransmittance	Coefficiente di trasmissione nello spettro visibile	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcWindow</a> ⇔ <a href="#">Pset_DoorWindowGlazingType</a> .VisibleLightTransmittance	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
SolarHeatGainTransmittance	Coefficiente di guadagno solare	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcWindow</a> ⇔ <a href="#">Pset_DoorWindowGlazingType</a> .SolarHeatGainTransmittance	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	

**Tabella 25. Parametri dettagliati di definizione della singola costruzione per superfici trasparenti.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
SolarSpectrum_Transmittance_NormalIncidence	Coefficiente di trasmissione dell'elemento, nello spettro solare e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.SolarTransmittance</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	Da valorizzare solo nel caso di strato di vetro o altro materiale trasparente da serramento. Attualmente non supportato. Si assume che, lavorando a LOD basso, le costruzioni possano essere assunte a partire da assunzioni qualitative (p.e.: finestre a singola intercapedine non basso-emissiva e riempite con aria).
SolarSpectrum_FrontSide_Reflectance_NormalIncidence	Coefficiente di riflessione per la faccia anteriore dell'elemento, nello spettro solare e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.SolarReflectanceFront</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
SolarSpectrum_BackSide_Reflectance_NormalIncidence	Coefficiente di riflessione per la faccia posteriore dell'elemento, nello spettro solare e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.SolarReflectanceBack</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
VisibleSpectrum_Transmittance_NormalIncidence	Coefficiente di trasmissione dell'elemento, nello spettro visibile e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.VisibleTransmittance</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
VisibleSpectrum_FrontSide_Reflectance_NormalIncidence	Coefficiente di riflessione per la faccia anteriore dell'elemento, nello spettro visibile e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.VisibleReflectanceFront</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
VisibleSpectrum_BackSide_Reflectance_NormalIncidence	Coefficiente di riflessione per la faccia posteriore dell'elemento, nello spettro visibile e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.VisibleReflectanceBack</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
IRSpectrum_Transmittance_NormalIncidence	Coefficiente di trasmissione dell'elemento, nello spettro infrarosso lontano e per incidenza normale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.ThermalIrTransmittance</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
IRSpectrum_FrontSide_Emissivity	Emissività della faccia anteriore dell'elemento.	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.ThermalIrTransmittanceFront</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
IRSpectrum_BackSide_Emissivity	Emissività della faccia posteriore dell'elemento.	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.ThermalIrTransmittanceBack</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
IsSolarDiffusing	Flag che segnala se l'elemento trasmette la luce in modo diffuso	Scalare	Booleano	-	<a href="#">IfcMaterial</a> ⇐ <a href="#">Pset_MaterialOptical.IsSolarDiffusing</a>	<a href="#">IfcLogical</a>	-	-	-				-	Parametro aggiunto

**Tabella 26. Parametri di definizione della singola finitura superficiale per materiale opaco.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Code	Codice univoco	Scalar	String	Alpha	IfcMaterialDefinitionRepresentation.IfStyledRepresentation.IfStyleItem.IfSurfaceStyle.Name	<a href="#">IfcLabel</a>	-	-	-				-	Nel caso di attività a LOD basso, il colore può essere assunto in modo semplificato, per esempio mediante descrizione qualitativa (p.e.: colore scuro, etc.)
RGB_R	Colore della superficie - Componente Rosso	Scalar	Integer	-	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering.DiffuseColour</a> ← <a href="#">IfcColourRgb.Red</a>	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
RGB_G	Colore della superficie - Componente Verde	Scalar	Integer	-	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering.DiffuseColour</a> ← <a href="#">IfcColourRgb.Green</a>	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
RGB_B	Colore della superficie - Componente Blu	Scalar	Integer	-	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering.DiffuseColour</a> ← <a href="#">IfcColourRgb.Blue</a>	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	
Roughness	Rugosità della superficie	Scalar	String	Alpha	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering.SpecularHighlight</a>	<a href="#">IfcSpecularHighlightSelect!IfcSpecularRoughness</a>	-	-	-				-	Nel caso di attività a LOD basso, tale parametro può essere assunto unilateralmente dal software di progettazione/analisi energetica.
ReflectivityIndex	Indice di riflettività	Scalar	Float	-	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering.ReflectionColour</a> ← <a href="#">IfcColourOrFactor</a>	<a href="#">IfcNormalisedRatioMeasure</a>	-	-	-				-	

**Tabella 27. Parametri di definizione del singolo ponte termico.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Code	Codice univoco	Scalare	Stringa	Alpha	-	<a href="#">IfcLabel</a>	-	-	-				-	Il presente gruppo di parametri richiede la definizione di una nuova entità atta a definire i ponti termici. Essa conterrebbe il riferimento all'oggetto geometrico (lineare o puntuale) che ne definisce la localizzazione.
Value	Valore del coefficiente lineico o puntuale	Scalare	Reale	-	-	<a href="#">IfcReal</a>	-	-	-				-	
RefObject	Riferimento all'entità geometrica che ne riferenzia la posizione	Scalare	-	-	<a href="#">IfcRelAssignsToProduct.RelatedObjects</a>	<a href="#">IfcObjectDefinition</a>	-	-	-				-	

**Tabella 28. Parametri di definizione delle condizioni interne (invernali e/o estive), per quanto attiene ai carichi legati all'occupazione, per il singolo vano.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminarie			Avanzata				Note	
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D		
SpaceTemperatureMax	Temperatura interna di attenuazione in fase di raffrescamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureMax</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-	Interpretazione atta a descrivere in modo completo il controllo del microclima interno.	
SpaceTemperatureMin	Temperatura interna di attenuazione in fase di riscaldamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureMin</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-		
SpaceTemperatureSummerMax	Temperatura interna di set-point in fase di raffrescamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureSummerMax</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-		
SpaceTemperatureSummerMin	Temperatura interna di set-point in fase di riscaldamento nel caso d'eventuale intervento nel corso della stagione di raffrescamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureSummerMin</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-		
SpaceTemperatureWinterMax	Temperatura interna di set-point in fase di raffrescamento nel caso d'eventuale intervento nel corso della stagione di riscaldamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureWinterMax</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-		Interpretazione atta a descrivere in modo completo il controllo del microclima interno. Tale campo si presta a essere utilizzato in particolare nel caso di ZEB.
SpaceTemperatureWinterMin	Temperatura interna di set-point in fase di riscaldamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceTemperatureWinterMin</a>	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-	-		-	-		-		Interpretazione atta a descrivere in modo completo il controllo del microclima interno.
SpaceHumidityMax	Umidità interna di attenuazione in fase di raffrescamento, in fase di valutazione	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceHumidityMax</a>	<a href="#">IfcRatioMeasure</a>	-	-		-	-		-	Interpretazione atta a descrivere in modo completo il controllo del microclima interno.	

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
	energetica													
SpaceHumidityMin	Umidità interna di attenuazione in fase di riscaldamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceHumidityMin</a>	<a href="#">IfcRatioMeasure</a>	-	-		-	-		-	
SpaceHumiditySummer	Umidità interna di set-point in fase di raffrescamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceHumiditySummer</a>	<a href="#">IfcRatioMeasure</a>	-	-		-	-		-	
SpaceHumidityWinter	Umidità interna di set-point in fase di riscaldamento, in fase di valutazione energetica	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.SpaceHumidityWinter</a>	<a href="#">IfcRatioMeasure</a>	-	-		-	-		-	
MechanicalVentilationRate	Portata d'aria massima per ventilazione meccanica	Scalare	Reale	ach	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements.MechanicalVentilationRate</a>	<a href="#">IfcCountMeasure</a>			-			-	-	Sarebbe stato opportuno fornire il dato nei termini di portata d'aria per persona, anziché per ambiente,
OccupancyType	Tipo d'occupazione	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements.OccupancyType</a>	<a href="#">IfcLabel</a>							-	Questo campo potrebbe essere codificato, eventualmente con riferimento a normative locali, in modo da costituire un riferimento univoco capace d'individuare distribuzione ed entità dell'occupazione.
OccupancyNumber	Numero di persone massimo tipico	Scalare	Reale	person	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements.OccupancyNumber</a>	<a href="#">IfcCountMeasure</a>	-	-		-	-		-	Si assume che attraverso questo parametro si possa acquisire il numero massimo di persone presenti nell'ambiente nel corso del giorno tipico, quindi ai fini di una valutazione energetica.
OccupancyNumber	Numero di persone	Scalare	Reale	person	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements.OccupancyNumber</a>	<a href="#">IfcCountMeasure</a>			-			-	-	Si assume che attraverso

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminarie			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Peak	massimo di progetto				<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceLightingRequirements</a> .OccupancyNumberPeak									questo parametro si possa acquisire il numero massimo precauzionale di persone presenti nell'ambiente, quindi ai fini di un calcolo di progetto in fase di raffrescamento.
ArtificialLighting	Predisposizione all'illuminazione artificiale	Scalare	Booleano	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceLightingRequirements</a> .ArtificialLighting	<a href="#">IfcBoolean</a>								
Illuminance	Valore medio d'illuminamento per l'ambiente interno	Scalare	Reale	lux	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceLightingRequirements</a> .Illuminance	<a href="#">IfcIlluminanceMeasure</a>	-			-				
CoolingDryBulb	Temperatura interna a bulbo secco di set-point in fase di raffrescamento, per calcoli di dimensionamento	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CoolingDryBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>	-		-	-		-	-	Valore precauzionale
CoolingRelativeHumidity	Umidità relativa interna di set-point in fase di raffrescamento, per calcoli di dimensionamento	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CoolingRelativeHumidity	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-		-	-		-	-	
HeatingDryBulb	Temperatura interna a bulbo secco di set-point in fase di riscaldamento, per calcoli di dimensionamento	Scalare	Reale	°C	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .HeatingDryBulb	<a href="#">IfcThermodynamicTemperatureMeasure</a>		-	-		-	-	-	
HeatingRelativeHumidity	Umidità relativa interna di set-point in fase di riscaldamento, per calcoli di dimensionamento	Scalare	Reale	%	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .HeatingRelativeHumidity	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>		-	-		-	-	-	
CeilingRAPlenum	Flag che segnala l'utilizzo di un plenum a soffitto per il ritorno	Scalare	Booleano	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇄ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CeilingRAPlenum	<a href="#">IfcBoolean</a>	-	-		-	-		-	

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
	dell'aria													
CoolingDesignAirflow	Portata d'aria richiesta dall'impianto nelle condizioni di picco all'interno del giorno di progetto estivo	Scalare	Reale	m <sup>3</sup> /s	<a href="#">IfcSpace</a> ⇔ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.CoolingDesignAirflow</a>	<a href="#">IfcVolumetricFlowRateMeasure</a>	-	0	-	-	0	-	-	Si propone d'usarlo quale dato di output, da restituire dopo calcolo di dimensionamento in un impianto di raffrescamento a tutt'aria o ad aria primaria.
HeatingDesignAirflow	Portata d'aria richiesta dall'impianto nelle condizioni di picco all'interno del giorno di progetto invernale, includendo la portata minima di ventilazione	Scalare	Reale	m <sup>3</sup> /s	<a href="#">IfcSpace</a> ⇔ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.HeatingDesignAirflow</a>	<a href="#">IfcVolumetricFlowRateMeasure</a>	0	-	-	0	-	-	-	Si propone d'usarlo quale dato di output, da restituire dopo calcolo di dimensionamento in un impianto di riscaldamento a tutt'aria o ad aria primaria.
TotalSensibleHeatGain	Potenza termica sensibile entrante nell'ambiente in condizioni di progetto estivo	Scalare	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇔ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.TotalSensibleHeatGain</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	-	1	-	-	-	-	-	Utilizzabile solo nel caso di LOD basso. Nel caso di LOD alto, devono essere definiti i singoli componenti (d'involucro e d'occupazione che assommano, nei propri contenuti sensibili, appunto al TotalSensibleHeatGain, che può essere quindi visto come un dato derivato).
TotalHeatGain	Potenza termica totale entrante nell'ambiente in condizioni di progetto estivo	Scalare	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇔ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.TotalHeatGain</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	-	1	-	-	-	-	-	Utilizzabile solo nel caso di LOD basso. Nel caso di LOD alto, devono essere definiti i singoli componenti (d'involucro e d'occupazione che assommano appunto al TotalHeatGain, che può essere quindi visto come

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
TotalHeatLoss	Potenza termica totale uscente dall'ambiente in condizioni di progetto invernale	Scalare	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.TotalHeatLoss</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>		-	-	-	-	-	-	un dato derivato). Utilizzabile solo nel caso di LOD basso. Nel caso di LOD alto, devono essere definiti i singoli componenti (d'involucro e d'occupazione che assommano appunto al TotalHeatLoss, che può essere quindi visto come un dato derivato).
VentilationAirFlowrate	Portata d'aria esterna richiesta per l'ambiente interno	Scalare	Reale	m³/s	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.VentilationAirFlowrate</a>	<a href="#">IfcVolumetricFlowRateMeasure</a>			-			-	-	VentilationAirFlowRate ed ExhaustAirFlowRate differiscono quando la destinazione d'uso dell'ambiente ne raccomanda la messa in sottopressione (cucina, bagno, laboratorio, etc.) o in sovrappressione (soggiorno, camere, uffici, etc.). Il parametro è in verità potenzialmente variabile nel tempo, quindi se ne ritiene preferibile l'applicazione al solo caso di calcolo di progetto.
ExhaustAirFlowrate	Portata d'aria esausta richiesta per l'ambiente interno	Scalare	Reale	m³/s	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.ExhaustAirFlowrate</a>	<a href="#">IfcVolumetricFlowRateMeasure</a>			-			-	-	VentilationAirFlowRate ed ExhaustAirFlowRate differiscono quando la destinazione d'uso dell'ambiente ne raccomanda la messa in sottopressione (cucina, bagno, laboratorio, etc.) o in sovrappressione (soggiorno, camere,

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
														uffici, etc.). Il parametro è in verità potenzialmente variabile nel tempo, quindi se ne ritiene preferibile l'applicazione al solo caso di calcolo di progetto.
BoundaryAreaHeatLoss	Potenza termica dispersa per unità di superficie	Scalare	Reale	W/m²	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign.BoundaryAreaHeatLoss</a>	<a href="#">IfcHeatFluxDensityMeasure</a>	I	I	-	-	-	-	-	Da usare nel caso in cui siano assenti i dati di carichi termici calcolati.
OccupancyDiversity	Fattore moltiplicativo per la definizione dell'occupazione interna allo spazio	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria.OccupancyDiversity</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	I	(I)	-	I	(I)	-	Per l'uso in valutazioni energetiche sarebbe necessaria l'integrazione di una calendarizzazione annuale del parametro, mediante <a href="#">IfcTimeSeries</a> .
LightingDiversity	Fattore moltiplicativo per l'illuminazione	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.LightingDiversity</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	I	(I)	-	I	(I)	-	
InfiltrationDiversitySummer	Fattore moltiplicativo per l'infiltrazione, nel giorno di progetto estivo	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.InfiltrationDiversitySummer</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	I	(I)	-	I	(I)	-	
InfiltrationDiversityWinter	Fattore moltiplicativo per l'infiltrazione, nel giorno di progetto invernale	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.InfiltrationDiversityWinter</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	I	-	(I)	I	-	(I)	-	
ApplianceDiversity	Fattore moltiplicativo per i carichi generici	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.ApplianceDiversity</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	I	(I)	-	I	(I)	-	
LoadSafetyFactor	Fattore di sicurezza	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.LoadSafetyFactor</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	I	I	-	I	I	-	-	
OutsideAirPerPerson	Flusso d'aria esterna di progetto, fornito a ciascuna persona	Scalare	Reale	m³/(s·p)	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria.OutsideAirPerPerson</a>	<a href="#">IfcVolumetricFlowRateMeasure</a>	I	I	(I)	I	I	(I)	-	
ReceptacleLoadIntensity	Densità totale di carichi interni (per lo più elettrici), per unità di superficie del pavimento	Scalare	Reale	W/m²	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria.ReceptacleLoadIntensity</a>	<a href="#">IfcReal</a> ( <a href="#">PowerMeasure/IfcAreaMeasure</a> )	-	I	(I)	-	I	(I)	-	
AppliancePercentLoadToRadiant	Frazione di calore radiante per i carichi interni	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria.AppliancePercentLoadToRadiant</a>	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-	I	I	-	I	I	-	
LightingLoadIntensity	Densità totale di carichi per illuminazione, per	Scalare	Reale	W/m²	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria.LightingLoadIntensity</a>	<a href="#">IfcReal</a>	-	I	I	-	I	I	-	

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
	unità di superficie del pavimento				ity									
LightingPercentLoadToReturnAir	Frazione di calore dovuto all'illuminazione rilasciato direttamente all'aria ripresa	Scalare	Reale	-	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .LightingPercentLoadToReturnAir	<a href="#">IfcPositiveRatioMeasure</a>	-			-			-	

**Tabella 29. Parametri per la trasmissione dei risultati del singolo dimensionamento in condizioni di progetto (invernali o estive).**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata			Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	
TotalCoolingLoad	Potenza di raffrescamento di picco per l'edificio, la zona o il vano	Scalare Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.TotalCoolingLoad</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	-	0	0	-	0	0	Si considera opportuno considerare tale parametro un output del motore di calcolo energetico. Nel caso di valutazione energetica o registrazione di dati in fase di gestione, il parametro assume la forma di un array.
TotalHeatingLoad	Potenza di riscaldamento di picco per l'edificio, la zona o il vano	Scalare Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate.TotalHeatingLoad</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	-	0	0	-	0	
DryBulbTemperature	Carichi termici dovuti alla temperatura a bulbo secco dell'aria esterna	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.DryBulbTemperature</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
RelativeHumidity	Carichi termici dovuti all'umidità relativa dell'aria esterna	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.RelativeHumidity</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
InfiltrationSensible	Carichi termici dovuti all'infiltrazione d'aria	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.InfiltrationSensible</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
TotalSensibleLoad	Carico termico sensibile totale	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.TotalSensibleLoad</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	>0 se il carico termico è fornito allo spazio interno
TotalLatentLoad	Carico termico latente totale	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.TotalLatentLoad</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	>0 se il carico termico è fornito allo spazio interno
TotalRadiantLoad	Carico termico radiante totale	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.TotalRadiantLoad</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	>0 se il carico termico è fornito allo spazio interno
VentilationIndoorAir	Carichi termici dovuti a flussi d'aria trattati	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.VentilationIndoorAir</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
VentilationOutdoorAir	Carichi termici dovuti a flussi d'aria esterni	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.VentilationOutdoorAir</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
RecirculatedAir	Carichi termici dovuti a flussi d'aria ripresa	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.RecirculatedAir</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
ExhaustAir	Carichi termici dovuti a flussi d'aria espulsi	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.ExhaustAir</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
AirExchangeRate	Carichi termici dovuti ai ricambi d'aria	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.AirExchangeRate</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
People	Carichi interni dovuti alle persone	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.People</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
Lighting	Carichi interni dovuti all'illuminazione	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.Lighting</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	
EquipmentSensible	Carichi interni sensibili dovuti agli altri carichi interni	Array	Reale	W	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalLoad.EquipmentSensible</a>	<a href="#">IfcPowerMeasure</a>	0	0	-	0	0	-	

**Tabella 30. Parametri di sintesi dei risultati di simulazione, per l'intera unità immobiliare o l'edificio.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Heat	Valori di consumo totale inerenti alla fornitura di energia termica	Array	Reale	kWh	<a href="#">IfcBuilding</a> ⇄ <a href="#">Pset_UTILITYCONSUMPTIONPHISTORY.Heat</a>	IfcTimeSeries (IfcEnergyMeasure)	-	-	0	-	-	0	0	In fase di analisi energetica, si ritengono output in quanto calcolati direttamente dal BEM, generalmente su una finestra stagionale o annuale. In fase di manutenzione, si ritengono output quali risultanti dalla somma delle bollette cumulate, generalmente su una finestra temporale annuale o di totale vita/gestione.
Electricity	Valori di consumo totale inerenti alla fornitura di elettricità	Array	Reale	kWh	<a href="#">IfcBuilding</a> ⇄ <a href="#">Pset_UTILITYCONSUMPTIONPHISTORY.Electricity</a>	IfcTimeSeries (IfcEnergyMeasure)	-	-	0	-	-	0	0	
Water	Valori di consumo totale inerenti alla fornitura di acqua	Array	Reale	m <sup>3</sup>	<a href="#">IfcBuilding</a> ⇄ <a href="#">Pset_UTILITYCONSUMPTIONPHISTORY.Water</a>	IfcTimeSeries (IfcVolumeMeasure)	-	-	0	-	-	0	0	
Fuel	Valori di consumo totale inerenti alla fornitura di combustibili	Array	Reale	m <sup>3</sup>	<a href="#">IfcBuilding</a> ⇄ <a href="#">Pset_UTILITYCONSUMPTIONPHISTORY.Fuel</a>	IfcTimeSeries (IfcVolumeMeasure)	-	-	0	-	-	0	0	
Steam	Valori di consumo totale inerenti alla fornitura di vapore	Array	Reale	kg	<a href="#">IfcBuilding</a> ⇄ <a href="#">Pset_UTILITYCONSUMPTIONPHISTORY.Steam</a>	IfcTimeSeries (IfcMassMeasure)	-	-	0	-	-	0	0	
EN_Use_H_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per il riscaldamento degli ambienti, lato involucro, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	-	0	-	-	0	-	Parametro aggiunto
EN_Use_C_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per il raffrescamento degli ambienti, lato involucro, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	-	0	-	-	0	-	
EN_Use_L_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per l'illuminazione, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	-	0	-	-	0	-	
EN_Use_EA_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per la conduzione degli altri dispositivi elettrici, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	-	0	-	-	0	-	
EN_Use_AA_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per la conduzione degli altri dispositivi,	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	-	0	-	-	0	-	

	medio volumico																	
EN_Vector_H_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per il riscaldamento degli ambienti, lato contatore, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EN_Vector_C_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per il raffrescamento degli ambienti, lato contatore, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EN_Vector_AA_m3_Y	Fabbisogno energetico annuale per la conduzione degli altri dispositivi, contatore, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EG_PV_m3_Y	Generazione annuale di energia elettrica da impianti fotovoltaici, media volumica	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EE_Total_m3_Y	Consumo energetico totale annuale di energia elettrica, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EG_m3_Y	Consumo energetico totale annuale di gas, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EDH_m3_Y	Consumo energetico totale annuale da teleriscaldamento, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EDC_m3_Y	Consumo energetico totale annuale da teleraffrescamento, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EBF_m3_Y	Consumo energetico totale annuale da biomasse, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
EOF_m3_Y	Consumo energetico totale annuale da altri combustibili, medio volumico	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						
PEG_m3_Y	Energia primaria totale annuale generata, media	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-						

	volumica																	
PEC_m3_Y	Energia primaria totale annuale consumata, media volumica	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
PEC_NRen_m3_Y	Energia primaria totale non rinnovabile annuale consumata, media volumica	Scalare	Reale	kWh/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
PMax_H_m3_Y	Potenza di progetto in riscaldamento, media volumica	Scalare	Reale	kW/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
PMax_C_m3_Y	Potenza di progetto in raffrescamento, media volumica	Scalare	Reale	kW/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
PMax_L_m3_Y	Potenza di progetto illuminante, media volumica	Scalare	Reale	kW/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
PMax_PV_m3_Y	Potenza nominale dell'impianto fotovoltaico, media volumica	Scalare	Reale	kW/(m <sup>3</sup> ·y)	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Avg_CO2_Occh	Livello medio di concentrazione della CO2 nel corso delle ore di occupazione, nell'anno	Scalare	Reale	ppm	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Avg_Ill_Occh	Livello medio d'illuminamento nel corso delle ore di occupazione, nell'anno	Scalare	Reale	lux	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Avg_TSummer_Occh	Temperatura media nel corso delle ore di occupazione, nel mese più caldo	Scalare	Reale	°C	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Avg_TWinter_Occh	Temperatura media nel corso delle ore di occupazione, nel mese più freddo	Scalare	Reale	°C	-	-	-	0	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-

**Tabella 31. Parametri di definizione del riferimento al singolo manutentore.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Person	Riferimento alla scheda del singolo operatore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcPersonAndOrganization</a> .ThePerson	<a href="#">IfcPerson</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Organization	Riferimento alla scheda dell'organizzazione cui appartiene il singolo operatore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcPersonAndOrganization</a> .TheOrganization	<a href="#">IfcOrganization</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Roles	Ruoli del singolo operatore all'interno dell'organizzazione d'appartenenza	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcPersonAndOrganization</a> .Roles	<a href="#">IfcActorRole</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Person_Roles	Mansioni dell'operatore	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcPersonAndOrganization</a> .ThePerson ← <a href="#">IfcPerson</a> .Roles	<a href="#">IfcActorRole</a>	-	-	-	-	-	-	I	Condizione che specifica ulteriormente il ruolo dell'operatore

**Tabella 32. Parametri di descrizione generale di contratti di una singola fornitura.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Resource_Type	Tipo di risorsa	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcFlowMeter</a> .PredefinedType	<a href="#">IfcFlowMeterTypeEnum</a>	-	-	-	-	-	-	I	
ResourceProvider	Fornitore della singola utenza (di gas, elettricità, teleriscaldamento, acqua).	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssignsToActor</a> ← <a href="#">IfcActor</a> .TheActor	<a href="#">IfcActorSelect</a> ← <a href="#">IfcOrganization</a>	-	-	-	-	-	-	I	
RegistrationNumber	Numero di matricola dell'utenza.	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcFlowMeter</a> ← <a href="#">Pset_FlowMeterOccurrence</a> .RegistrationNumber	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-	-	-	-	I	Informazione non presente all'interno dello standard IFC (in modo diretto) Parametro aggiunto.
Meter_Position	Posizione del contatore - Collegamento a posizione in modello IFC	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcFlowMeter</a> .ObjectPlacement	<a href="#">IfcObjectPlacement</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Documentation	Riferimento ai documenti di contratto.	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssociatesDocument</a> .RelatingDocument	<a href="#">IfcDocumentSelect</a>	-	-	-	-	-	-	I	Riferimento ad un array di entità.

**Tabella 33. Parametri di sintesi delle bollette di vettori energetici e altre risorse, per la singola fornitura.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
Documentation	Riferimento al documento della singola bolletta.	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcRelAssociatesDocument</a> .RelatingDocument	<a href="#">IfcDocumentSelect</a> ← <a href="#">IfcDocumentReference</a>	-	-	-	-	-	-	I	L'insieme di questi parametri potrebbe essere racchiuso nella definizione di una nuova appropriata classe, dato che l'argomento non trova corrispondenza in alcun oggetto di IFC.
BillingPeriod_End_MeterReading_Slot1	Valore della lettura al termine del periodo di contabilizzazione per la fascia/categoria 1.	Array	Reale	kWh, m <sup>3</sup> ,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
BillingPeriod_End_MeterReading_Slot2	Valore della lettura al termine del periodo di contabilizzazione per la fascia/categoria 2.	Array	Reale	kWh, m <sup>3</sup> ,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
BillingPeriod_End_MeterReading_Slot3	Valore della lettura al termine del periodo di contabilizzazione per la fascia/categoria 3.	Array	Reale	kWh, m <sup>3</sup> ,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
BillingPeriod_End_MeterReading_Slot4	Valore della lettura al termine del periodo di contabilizzazione per la fascia/categoria 4.	Array	Reale	kWh, m <sup>3</sup> ,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
BillingPeriod_End_MeterReading_Slot5	Valore della lettura al termine del periodo di contabilizzazione per la fascia/categoria 5.	Array	Reale	kWh, m <sup>3</sup> ,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Notes	Annotazioni in merito al periodo di contabilizzazione (per esempio, comunicazioni di avvenuta sostituzione del contatore, comunicazione di conguaglio, etc.)	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest</a> .LongDescription	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Amount	Costo totale associato alla bolletta.	Array	Reale	€, \$, £,...	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> .ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Payment_LastTerm	Data ultima fissata per il pagamento della bolletta	Array	Data	Data	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← TimeStamp[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Payment_Check	Checkbox di avvenuto pagamento della bolletta	Array	Booleano	-	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	
Payment_Notes	Eventuali annotazioni in merito all'eventuale differimento del pagamento della bolletta	Array	Stringa	Date	<a href="#">IfcIrregularTimeSeries</a> .Values ← <a href="#">IfcIrregularTimeSeriesValue</a> ← ListValues[0]	<a href="#">IfcTimeSeries</a>	-	-	-	-	-	-	I	

**Tabella 34. Parametri di definizione del singolo sensore.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
GlobalId	Codice univoco	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSensor.GlobalId</a>	<a href="#">IfcGloballyUniqueId</a>	-	-	-	-	-	-	1	
ObjectPlacement	Posizione del sensore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSensor.ObjectPlacement</a>	<a href="#">IfcObjectPlacement</a>	-	-	-	-	-	-	1	
Tag	Titolo del parametro misurato	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSensor.Tag</a>	<a href="#">IfcIdentifier</a>	-	-	-	-	-	-	1	
Type	Tipo di sensore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcSensor.PredefinedType</a>	<a href="#">IfcSensorTypeEnum</a>	-	-	-	-	-	-	1	
Accuracy	Accuratezza del sensore	Scalare	Stringa	-	-	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-	-	-	-	1	<p>Si consiglia la definizione di un property set apposito.</p> <p>L'accuratezza può essere espressa come somma di un valore percentuale sul fondoscala, di una percentuale sulla lettura, di un valore prefissato, etc. Il property set, quindi potrebbe contenere alternativamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una stringa</li> <li>- Un insieme di parametri quali: un valore percentuale sul fondoscala, una percentuale sulla lettura, un valore prefissato, etc.</li> </ul>
ValueSeries	Serie di dati	Array	Reale	Vari, in funzione del sensore	<a href="#">IfcSensor.Pset_SensorPHistory.Value</a>	<a href="#">IfcTimeSeries (IfcReal)</a>	-	-	-	-	-	-	0	<p>Si ritengono output in quanto forniti dalla piattaforma BIM, considerata un information hub in grado di leggere i dati da IoT o BMS.</p>
Annotation	Annotazioni	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest.LongDescription</a>	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-	-	-	-	1	

**Tabella 35. Parametri di definizione del singolo attuatore.**

Parametro	Definizione/spiegazione	Formato dato			Corrispondenza all'interno dello standard IFC		Preliminare			Avanzata				Note
		Dimensione	Tipo	Unità	Elemento/Proprietà/Attributo	Tipo IFC	A	B	C	A	B	C	D	
GlobalId	Codice univoco	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActuator</a> .GlobalId	<a href="#">IfcGloballyUniqueId</a>	-	-	-	-	-	-	1	
ObjectPlacement	Posizione dell'attuatore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActuator</a> .ObjectPlacement	<a href="#">IfcObjectPlacement</a>	-	-	-	-	-	-	1	
Tag	Titolo del parametro attuato	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActuator</a> .Tag	<a href="#">IfcIdentifier</a>	-	-	-	-	-	-	1	
Type	Tipo di attuatore	Scalare	Stringa	-	<a href="#">IfcActuator</a> .PredefinedType	<a href="#">IfcSensorTypeEnum</a>	-	-	-	-	-	-	1	
ValueSeries	Serie di dati	Array	Reale	Vari, in funzione del sensore	<a href="#">IfcActuator</a> ↔ <a href="#">Pset_ActuatorPHistory</a> .Value	<a href="#">IfcTimeSeries</a> ( <a href="#">IfcReal</a> )	-	-	-	-	-	-	0	Si ritengono output in quanto forniti dalla piattaforma BIM, considerata un information hub in grado di leggere i dati da IoT o BMS.
Annotation	Annotazioni	Array	Stringa	-	<a href="#">IfcActionRequest</a> .LongDescription	<a href="#">IfcText</a>	-	-	-	-	-	-	1	



## 7 IFC e progettazione energetica nella realtà: esempio di applicazione a un caso studio

### 7.1 Premessa

In questo capitolo viene descritta l'unità immobiliare scelta quale esempio per l'applicazione della progettazione energetica attraverso piattaforma BIM (7.2). Il modello BIM dell'unità immobiliare è stato sviluppato quale attività didattica nel corso del Master di II livello "BIM+BIM Management di Progetto" svoltosi presso l'Università Iuav di Venezia nell'anno accademico 2020-2021.

Al fine d'illustrare il livello d'interoperabilità attualmente disponibile, s'elencano dapprima i parametri di scambio, verificandone l'effettivo passaggio (7.3), per poi trarne prime conclusioni generali (7.4).

### 7.2 Descrizione del caso studio

Il corrente paragrafo descriverà le caratteristiche architettoniche, funzionali, edilizie e impiantistiche dell'edificio scelto quale caso studio: una Residenza Sanitaria Assistenziale classificabile come ZEB. Si è in ritenuto utile puntare l'attenzione su un edificio non residenziale per vari motivi:

- Gli edifici residenziali prevalgono nella letteratura ZEB, ma per essi non si pongono in verità significative difficoltà nel raggiungimento dell'obiettivo ZEB, eccetto che in edifici condominiali di significativa dimensione.
- Gli edifici non residenziali presentano generalmente un livello di complessità progettuale tale da rendere necessaria o maggiormente conveniente la progettazione BIM, dal momento che l'impiantistica o le connesse criticità funzionali impongono una progettazione specialistica e integrata.
- Le Residenze Sanitarie Assistenziali hanno elevati consumi energetici e costi di realizzazione, tali da richiedere una progettazione ottimizzata, per il raggiungimento di livelli ZEB.
- Le Residenze Sanitarie Assistenziali possono essere realizzate entro un range di dimensioni assai ampio, consentendo così di portare la loro complessità progettuale anche a dimensioni edilizie raccolte, quindi meglio utilizzabili quali casi studio.
- Le Residenze Sanitarie Assistenziali costituiscono un settore in espansione, spesso attraverso la costruzione di nuovi fabbricati, generalmente più compatibili con gli obiettivi di funzionalità e performance richieste da questi servizi.

#### 7.2.1 Presentazione del sito di costruzione

Si assume che l'immobile sia sito nella provincia di Venezia.

Il clima caratterizzante il sito è classificato come segue, in base a diversi sistemi di classificazione climatica:

- Secondo D. P. R. n. 412 del 26 agosto 1993 [65]: Fascia climatica "E", in seguito a un valore di gradi-giorno (GG) pari a 2345.
- Secondo la classificazione Köppen [66]: Cfa (Humid Subtropical Climate), caratterizzato da inverni mediamente freddi ed estati molto calde.
- Secondo la classificazione ASHRAE Standards 90.1-2004 [67] e 90.2-2004 Climate Zone [68]: 4°.

Per tale territorio, i dati meteorologici di progettazione e analisi energetica possono essere recuperati dalla normativa attinente ([69] e [70]). Contestualmente all'uso di EnergyPlus quale strumento di dimensionamento/analisi energetica, tuttavia, si è ricorso ai dati già disponibili in formato compatibile, all'interno del database climatico dell'EERE (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy) dell'U.S. DoE (Department of Energy) [71], ottenuto attraverso procedure conformi alla norma ISO 15927-4:2005 [72].

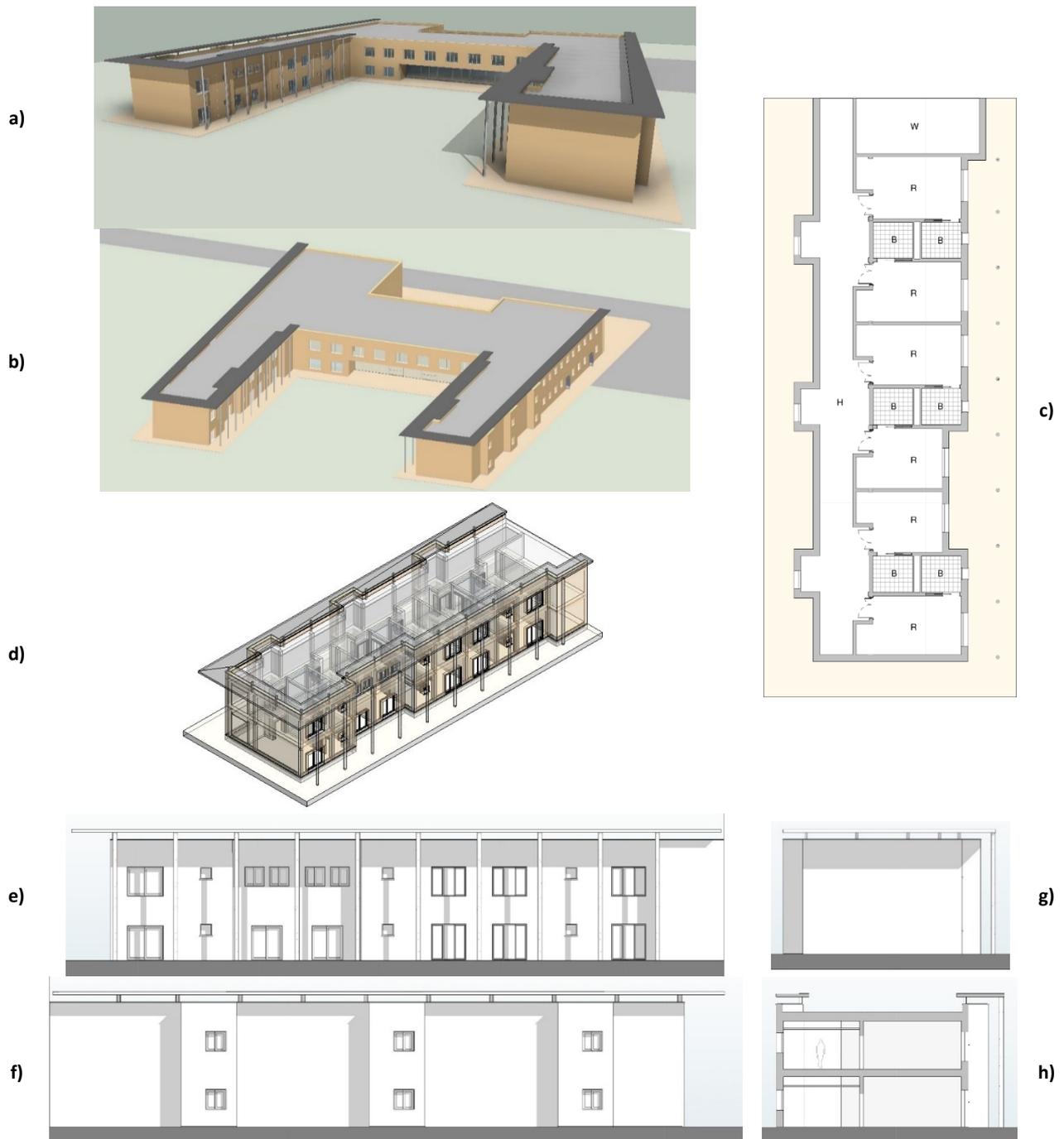
#### 7.2.2 Descrizione generale dell'edificio

In particolare, il caso studio si concentra su un'ala dell'edificio, caratterizzata come segue:

- Destinazione d'uso: Residenza Sanitaria Assistenziale (RSA);
- Contesto: edificio isolato;
- Volume netto totale: 1733 m<sup>3</sup>;

- Volume lordo totale 2679 m<sup>3</sup>;
- Numero di piani fuori terra: 2;
- Superficie lorda in pianta: 388 m<sup>2</sup>;
- Superficie calpestabile: 641 m<sup>2</sup>;
- Vani: 12 camere, 2 stanze di servizio, 12 bagni, 2 corridoi;
- Frangisole e altri sistemi d'ombreggiamento: Veneziane.

L'edificio viene ritratto in Figura 17.



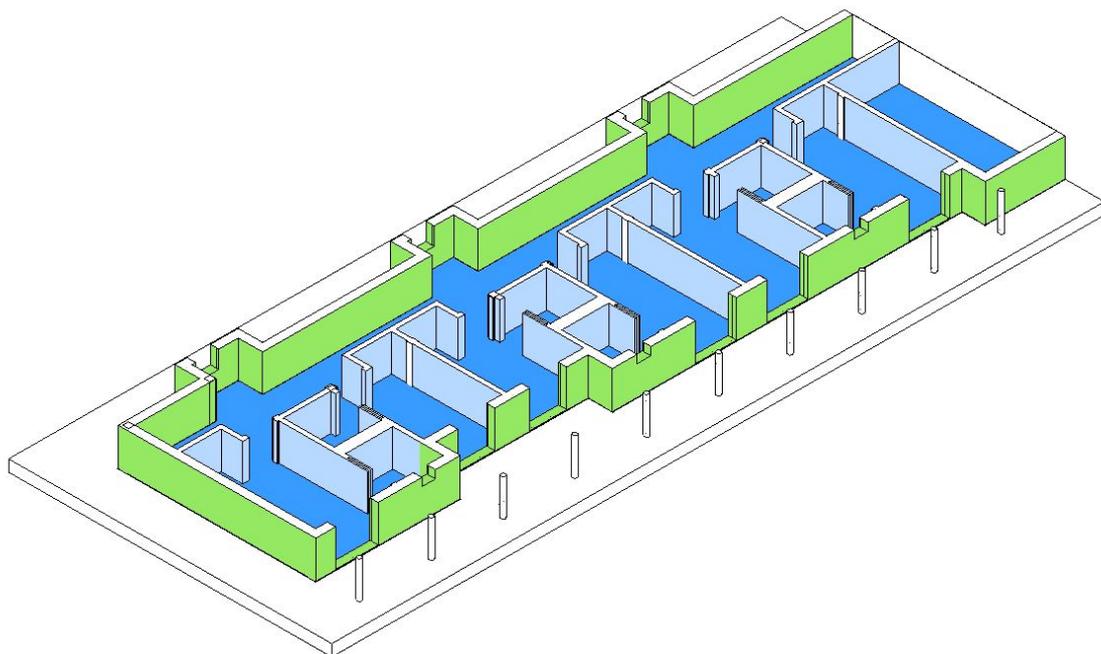
**Figura 17. Rappresentazione esemplificativa dell'edificio (Fonte: Master di II livello "BIM+BIM Management di Progetto", Università Iuav di Venezia): a) e b) forniscono una visione prospettica generale; c) espone una vista in pianta del piano tipo; d) presenta una vista in trasparenza dei principali elementi interni; e), f) e g) illustrano i prospetti principali; h) presenta una sezione dell'edificio.**

### 7.2.3 Involucro edilizio

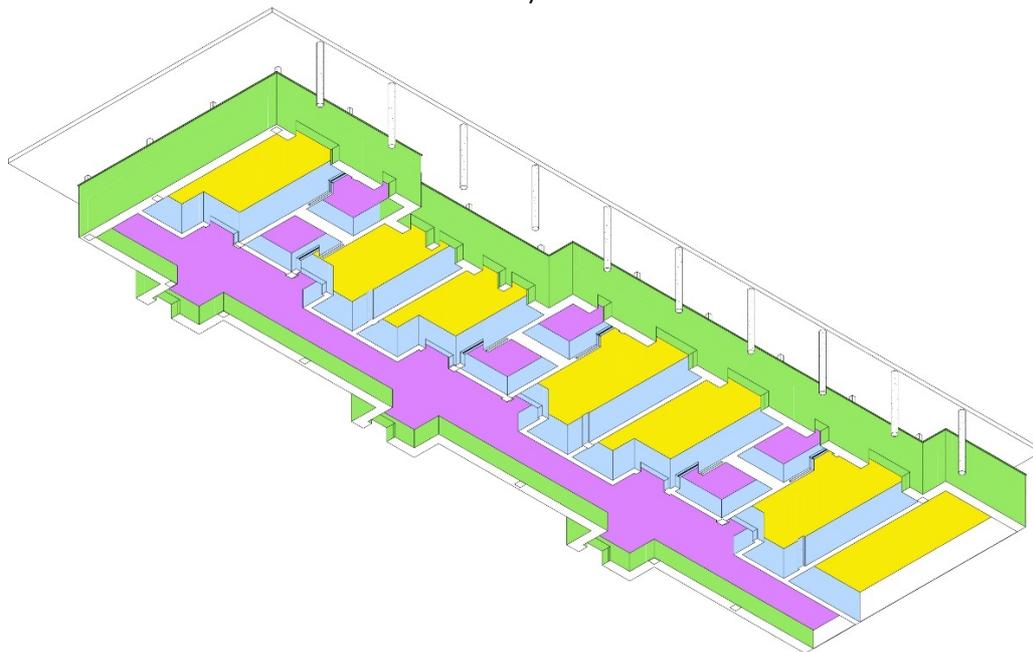
L'involucro edilizio consiste nelle stratigrafie riassunte in Tabella 36, con illustrazione grafica dei relativi posizionamenti, in Figura 18, cromaticamente correlata.

**Tabella 36. Descrizione delle stratigrafie costituenti le superfici.**

Costruzione	Codice [-]	Descrizione [-]	Spessore [m]	Strato				Conduttanza termica [W/(m <sup>2</sup> ·K)]
				Conducibilità termica [W/(m·K)]	Resistenza termica apparente [m <sup>2</sup> K/W]	Densità [kg/m <sup>3</sup> ]	Calore specifico [J/(kg·K)]	
Solaio di fondazione	01 (Esterno)	Soletta armata - Calcestruzzo aggregato di pietra	0.2	1.046	-	2000	1000	0.16
	02	Massetto alleggerito	0.05	0.21	-	900	1000	
	03	EPS	0.1	0.035	-	25	1200	
	04	Massetto alleggerito	0.18	0.21	-	900	1000	
	05	Membrana al vapore	0.003	0.5	-	1600	1000	
	06	EPS	0.05	0.035	-	30	1200	
	07	Massetto - Calcestruzzo leggero legato	0.09	0.21	-	1200	1000	
	08 (Interno)	Ceramica	0.02	1.6	-	2300	840	
Parete esterna	01 (Esterno)	Intonaco a base di calcestruzzo, con aggregato di sabbia	0.02	0.7	-	1800	1000	0.165
	02	Isolante - Pannelli EPS	0.1	0.035	-	25	1200	
	03	Muratura - Mattone forato alleggerito	0.3	0.102	-	600	840	
	04 (Interno)	Intonaco a base di calce	0.02	0.7	-	1400	1000	
Copertura	01 (Esterno)	Ghiaia	0.05	0.36	-	1700	840	0.19
	02	Guaina impermeabile in gomma	0.002	0.138	-	1200	1400	
	03	Lana di roccia	0.14	0.034	-	40	1030	
	04	Membrana al vapore	0.003	0.5	-	1600	1000	
	05	Massetto alleggerito variabile	0.08	0.21	-	900	1000	
	06	Massetto - Calcestruzzo leggero legato	0.05	0.21	-	1200	1000	
	07	Calcestruzzo armato	0.2	1.046	-	2400	1000	
	08 (Interno)	Intonaco a base di calce	0.02	0.72	-	1400	1000	
Solaio interpiano	01 (Esterno)	Intonaco	0.01	0.7	-	1400	1000	2.81
	02	Calcestruzzo armato	0.2	1.04	-	2400	1000	
	03	Massetto	0.04	0.21	-	1200	1000	
	04	Membrana al vapore	0.003	0.5	-	1600	1000	
	05	Isolante	0.05	0.035	-	30	1200	
	06	Massetto	0.08	0.21	-	1200	1000	
	07 (Interno)	Piastrelle	0.02	1.6	-	1400	1000	
Controsoffitto	01 (Esterno)	Intonaco per cartongesso	0.003	0.7	-	1400	1000	0.71
	02	Cartongesso	0.012	0.21	-	900	1000	
	03 (Interno)	Telaio parete con materassino isolante	0.04	0.035	-	25	1200	
Pareti interne	01 (Esterno)	Intonaco per cartongesso	0.003	0.7	-	1400	1000	0.51
	02	Cartongesso	0.012	0.21	-	900	1000	
	03	Telaio paramento con materassino isolante	0.08	(0.33 - eq.)	1.24	25	1200	
	04	EPS	0.04	0.035	-	25	1200	
	05	Telaio paramento con materassino isolante	0.08	(0.33 - eq.)	1.24	25	1200	
	06	Cartongesso	0.012	0.21	-	900	1000	
	07 (Interno)	Intonaco per cartongesso	0.003	0.7	-	1400	1000	



a)



b)

Figura 18. Collocazione dei componenti opachi e trasparenti costituenti l'edificio (in spaccato assonometrico dall'alto verso il basso, per il piano terra (a), e dal basso verso l'alto, per il primo piano (b)): in violetto la controsoffittatura, in giallo la copertura, in verde le pareti esterne, in azzurro le pareti interne e in bianco la parete virtuale.

#### 7.2.4 Profili di conduzione e occupazione

Si sono poi ipotizzati i profili di occupazione e conduzione degli ambienti definiti in Tabella 37 e Tabella 38 rispettivamente.

**Tabella 37. Profili di occupazione.**

Tipo di spazio	Categoria	Valore nominale	Profilo giornaliero	
			Tempo [hh:mm→hh:mm]	Frazione [%]
Camera	Persone	0.08 p/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	100%
			08:00→17:00	33%
			17:00→24:00	100%
	Luci	5 W/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	0%
			17:00→21:00	100%
	Altri dispositivi elettrici	2 W/m <sup>2</sup>	21:00→24:00	0%
			00:00→08:00	20%
			08:00→17:00	50%
	Acqua calda sanitaria	0 l/(d·p)	17:00→21:00	100%
			21:00→24:00	20%
			00:00→24:00	0%
Altre stanze	Persone	0.20 p/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	50%
			17:00→24:00	0%
	Luci	7 W/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	0%
			17:00→21:00	100%
	Altri dispositivi elettrici	4 W/m <sup>2</sup>	21:00→24:00	0%
			00:00→08:00	10%
			08:00→17:00	100%
	Acqua calda sanitaria	0 l/(d·p)	17:00→21:00	70%
			21:00→24:00	10%
			00:00→24:00	0%
Connettivo	Persone	0.12 p/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	100%
			17:00→21:00	40%
			21:00→24:00	30%
	Luci	7 W/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	0%
			17:00→24:00	100%
	Altri dispositivi elettrici	2 W/m <sup>2</sup>	00:00→08:00	20%
			08:00→17:00	100%
			17:00→24:00	50%
	Acqua calda sanitaria	0 l/(d·p)	00:00→24:00	0%
			00:00→08:00	0%
08:00→17:00			100%	
Servizi	Persone	0.12 p/m <sup>2</sup>	17:00→24:00	0%
			00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	100%
	Luci	5 W/m <sup>2</sup>	17:00→24:00	0%
			00:00→08:00	0%
			08:00→17:00	100%
	Altri dispositivi elettrici	4 W/m <sup>2</sup>	17:00→24:00	0%
			00:00→08:00	10%
			08:00→17:00	100%
	Acqua calda sanitaria	50 l/(d·p)	17:00→24:00	10%
			00:00→07:00	0%
			07:00→08:00	100%
08:00→17:00			30%	
			17:00→18:00	50%

**Tabella 38. Temperature di controllo dell'ambiente interno.**

Tipo di spazio	Fase	Profilo giornaliero	
		Tempo [hh:mm→hh:mm]	Temperatura di controllo [°C]
Camera	Riscaldamento	00:00→07:00	20.0
		07:00→24:00	22.0
	Raffrescamento	00:00→07:00	29.0
		07:00→24:00	27.0
Sala ricreativa	Riscaldamento	00:00→07:00	20.0
		07:00→24:00	22.0
	Raffrescamento	00:00→07:00	29.0
		07:00→24:00	27.0
Connettivo	Riscaldamento	00:00→07:00	20.0
		07:00→24:00	22.0
	Raffrescamento	00:00→07:00	29.0
		07:00→24:00	27.0
Servizi	Riscaldamento	00:00→07:00	20.0
		07:00→24:00	22.0
	Raffrescamento	00:00→07:00	29.0
		07:00→24:00	27.0

### 7.3 Verifica del livello d'interoperabilità attualmente disponibile

Al fine di verificare il livello d'interoperabilità consentito dalle piattaforme BIM e dai tool BEM attualmente disponibili, si è proceduto a redigere l'elenco dei parametri di scambio utili per l'avvio di simulazioni termo-energetiche a supporto della progettazione energetica di ZEB, andando poi a definirne l'avvenuto utilizzo/disponibilità in fase d'esportazione/importazione, come sintetizzato in Tabella 39. Dal momento che diversi software offrono performance d'esportazione/importazione assai diversificate in termini di qualità, quantità e affidabilità e che esse sono soggette a rapidi cambiamenti in seguito allo sviluppo dei software, si è preferito esprimerle in modo qualitativo e senza riferimento a uno specifico software.

**Tabella 39. Lista dei parametri d'esportazione/importazione tra piattaforme BIM e software BEM, con relativo supporto, per lo svolgimento di simulazioni termo-energetiche per la progettazione energetica.**

Raggruppamento parametri	Parametro	Identificazione in standard IFC	Generalmente supportato...		Note
			... in esportazione	... in importazione	
Sito di costruzione – Informazioni generali	Country	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!IfcPostalAddress.Country</a>	X	X	
	Region	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!IfcPostalAddress.Region</a>	X	X	
	Town	<a href="#">IfcSite.SiteAddress!IfcPostalAddress.Town</a>	X	X	
	RefLatitude	<a href="#">IfcSite.RefLatitude</a>	X	X	
	RefLongitude	<a href="#">IfcSite.RefLongitude</a>	X	X	
	RefElevation	<a href="#">IfcSite.RefElevation</a>	X	X	
	TrueNorth	<a href="#">IfcGeometricRepresentationContext.TrueNorth</a>	X	X	
Sito di costruzione – Meteo – Condizioni di progetto	HeatingDesignDay	<a href="#">IfcBuilding↔Pset_OutsideDesignCriteria.HeatingDesignDay</a>	X	-	Spesso in property set personalizzati.
	HeatingDryBulb	<a href="#">IfcBuilding↔Pset_OutsideDesignCriteria.HeatingDryBulb</a>	X	-	
	HeatingWetBulb	<a href="#">IfcBuilding↔Pset_OutsideDesignCriteria.HeatingWetBulb</a>	X	-	

Raggruppamento parametri	Parametro	Identificazione in standard IFC	Generalmente supportato...		Note
			... in esportazione	... in importazione	
	CoolingDesignDay	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDesignDay	X	-	
	CoolingDryBulb	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDryBulb	X	-	
	CoolingDryBulbDailyDelta	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingDryBulbDailyDelta	-	-	
	CoolingWetBulb	<a href="#">IfcBuilding</a> ↔ <a href="#">Pset_OutsideDesignCriteria</a> .CoolingWetBulb	X	-	
Costruzioni per superfici opache	LayerSetName	<a href="#">IfcMaterialLayerSet</a> .LayerSetName	X	X	
	Description	<a href="#">IfcMaterialLayerSet</a> .Description	X	-	
	Layer_Name	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n].GUID	X	X	
	Layer_Description	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n].Description	X	-	
	Layer_Thickness	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n].LayerThickness	X	X	
	Thermal_Conductivity	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n]. <a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialThermal</a> .ThermalConductivity	-	-	
	Layer_Density	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n]. <a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialThermal</a> .MassDensity	-	-	
	Layer_SpecificHeat	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n]. <a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialCombustion</a> .SpecificHeatCapacity	-	-	
	Layer_IRSpectrum_FrontSide_Emissivity	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n]. <a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .ThermalIrEmissivityFront	-	-	
	Layer_IRSpectrum_BackSide_Emissivity	<a href="#">IfcMaterialLayerSet.MaterialLayers</a> [n]. <a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .ThermalIrEmissivityBack	-	-	
Costruzioni per superfici trasparenti – Definizione semplificata	UValue	<a href="#">IfcWindow</a> ↔ <a href="#">Pset_WindowCommon</a> .ThermalTransmittance	X	-	
	VisibleTransmittance	<a href="#">IfcWindow</a> ↔ <a href="#">Pset_DoorWindowGlazingType</a> .VisibleLightTransmittance	X	-	
	SolarHeatGainTransmittance	<a href="#">IfcWindow</a> ↔ <a href="#">Pset_DoorWindowGlazingType</a> .SolarHeatGainTransmittance	X	-	
Costruzioni per superfici trasparenti – Definizione dettagliata	SolarSpectrum_Transmittance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .SolarTransmittance	-	-	Parametro disponibile per elementi opachi e da estendere a elementi non opachi, assieme alla sequenza dei layer componenti la costruzione non opaca.
	SolarSpectrum_FrontSide_Reflectance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .SolarReflectanceFront	-	-	
	SolarSpectrum_BackSide_Reflectance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .SolarReflectanceBack	-	-	

Raggruppamento parametri	Parametro	Identificazione in standard IFC	Generalmente supportato...		Note
			... in esportazione	... in importazione	
	VisibleSpectrum_Transmittance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .VisibleTransmittance	-	-	
	VisibleSpectrum_FrontSide_Reflectance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .VisibleReflectanceFront	-	-	
	VisibleSpectrum_BackSide_Reflectance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .VisibleReflectanceBack	-	-	
	IRspectrum_Transmittance_NormalIncidence	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .ThermalIrTransmittance	-	-	
	IRspectrum_FrontSide_Emissivity	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .ThermalIrTransmittanceFront	-	-	
	IRspectrum_BackSide_Emissivity	<a href="#">IfcMaterial</a> ↔ <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .ThermalIrTransmittanceBack	-	-	
	IsSolarDiffusing	<a href="#">IfcMaterial</a> ← <a href="#">Pset_MaterialOptical</a> .IsSolarDiffusing	-	-	
Finiture superficiali per materiali opachi	Code	IfcMaterialDefinitionRepresentation.IfStyledRepresentation.IfStyleItem.IfSurfaceStyle.Name	-	-	
	RGB_R	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering</a> .DiffuseColour ← <a href="#">IfcColourRgb</a> .Red	X	X	
	RGB_G	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering</a> .DiffuseColour ← <a href="#">IfcColourRgb</a> .Green	X	X	
	RGB_B	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering</a> .DiffuseColour ← <a href="#">IfcColourRgb</a> .Blue	X	X	
	Roughness	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering</a> .SpecularHighlight	-	-	
	ReflectivityIndex	<a href="#">IfcSurfaceStyleRendering</a> .ReflectionColour ← <a href="#">IfcColourOrFactor</a>	-	-	
Condizioni interne (invernali e/o estive) - Carichi legati all'occupazione	SpaceTemperatureMax	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureMax	X	-	Spesso in property set personalizzati.
	SpaceTemperatureMin	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureMin	X	-	
	SpaceTemperatureSummerMax	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureSummerMax	X	-	
	SpaceTemperatureSummerMin	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureSummerMin	X	-	
	SpaceTemperatureWinterMax	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureWinterMax	X	-	
	SpaceTemperatureWinterMin	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceTemperatureWinterMin	X	-	
	SpaceHumidityMax	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceHumidityMax	X	-	
	SpaceHumidityMin	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceHumidityMin	X	-	
	SpaceHumiditySummer	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceHumiditySummer	X	-	
	SpaceHumidityWinter	<a href="#">IfcSpace</a> ↔ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .SpaceHumidityWinter	X	-	

Raggruppamento parametri	Parametro	Identificazione in standard IFC	Generalmente supportato...		Note
			... in esportazione	... in importazione	
	MechanicalVentilationRate	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalRequirements</a> .MechanicalVentilationRate	X	-	
	OccupancyType	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements</a> .OccupancyType	X	-	
	OccupancyNumber	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements</a> .OccupancyNumber	X	-	
	OccupancyNumberPeak	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceOccupancyRequirements</a> .OccupancyNumberPeak	X	-	
	ArtificialLighting	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceLightingRequirements</a> .ArtificialLighting	X	-	
	Illuminance	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceLightingRequirements</a> .Illuminance	X	-	
	CoolingDryBulb	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CoolingDryBulb	X	-	
	CoolingRelativeHumidity	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CoolingRelativeHumidity	X	-	
	HeatingDryBulb	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .HeatingDryBulb	X	-	
	HeatingRelativeHumidity	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .HeatingRelativeHumidity	X	-	
	CeilingRAPlenum	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CeilingRAPlenum	X	-	
	CoolingDesignAirflow	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .CoolingDesignAirflow	X	-	
	HeatingDesignAirflow	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .HeatingDesignAirflow	X	-	
	TotalSensibleHeatGain	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .TotalSensibleHeatGain	X	-	
	TotalHeatGain	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .TotalHeatGain	X	-	
	TotalHeatLoss	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .TotalHeatLoss	X	-	
	VentilationAirFlowrate	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .VentilationAirFlowrate	X	-	
	ExhaustAirFlowrate	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .ExhaustAirFlowrate	X	-	
	BoundaryAreaHeatLoss	<a href="#">IfcSpace</a> ⇐ <a href="#">Pset_SpaceThermalDesign</a> .BoundaryAreaHeatLoss	X	-	
	OccupancyDiversity	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .OccupancyDiversity	X	-	
	LightingDiversity	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate</a> .LightingDiversity	X	-	
	InfiltrationDiversitySummer	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate</a> .InfiltrationDiversitySummer	X	-	
	InfiltrationDiversityWinter	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate</a> .InfiltrationDiversityWinter	X	-	
	ApplianceDiversity	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate</a> .ApplianceDiversity	X	--	
	LoadSafetyFactor	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">IfcSpaceThermalLoadAggregate</a> .LoadSafetyFactor	X	-	
	OutsideAirPerPerson	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .OutsideAirPerPerson	X	-	
	ReceptacleLoadIntensity	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .ReceptacleLoadIntensity	X	-	
	AppliancePercentLoad	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ⇐ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .AppliancePercentLoad	X	-	

Raggruppamento parametri	Parametro	Identificazione in standard IFC	Generalmente supportato...		Note
			... in esportazione	... in importazione	
	dToRadiant	<a href="#">IfcDesignCriteria</a> .AppliancePercentLoadToRadiant			
	LightingLoadIntensity	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ↔ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .LightingLoadIntensity	X	-	
	LightingPercentLoadToReturnAir	<a href="#">IfcSpatialElement</a> ↔ <a href="#">Pset_ThermalLoadDesignCriteria</a> .LightingPercentLoadToReturnAir	X	-	
Serie temporali	Name	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .Name	-	-	
	Description	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .Description	-	-	
	Unit	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .Unit	-	-	
	DataOrigin	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .DataOrigin	-	-	
	UserDefinedDataOrigin	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .UserDefinedDataOrigin	-	-	
	StartTime	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .StartTime	-	-	
	EndTime	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .EndTime	-	-	
	TimeStep	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .Timestep	-	-	
	Values	<a href="#">IfcRegularTimeSeries</a> .Values	-	-	

#### 7.4 Discussione in merito all'applicazione al caso studio

L'attività svolta ha consentito d'individuare i problemi attualmente riscontrabili nell'interscambio dati tra piattaforme BIM e strumenti BEM. Innanzi tutto, è doveroso chiarire che sono disponibili molteplici piattaforme di progettazione BIM e pure molteplici motori di calcolo e interfacce per il BEM. Come accennato in 7.3, ciascun software presenta peculiarità che ne rendono il funzionamento conveniente in alcuni task e disagiata in altri. Non è intenzione di questo studio confrontare tra loro i software BIM e BEM disponibili, anche a causa della rapida evoluzione dei software stessi, bensì illustrare parametri ed elementi del progetto che ora risultano scarsamente supportati, nell'esportazione da BIM e/o nell'importazione in BEM. Il flusso inverso, cioè da BEM a BIM, non risulta attualmente supportato dai tool commerciali, dunque non è stato trattato.

L'attività svolta ha consentito di verificare come l'esportazione in IFC da piattaforma BIM e ancor più l'importazione da IFC a software BEM siano attualmente solo parzialmente sviluppate. Si conferma poi la necessità che il disegnatore abbia elevata esperienza nella gestione degli elementi del disegno e nelle procedure di rappresentazione BIM, dal momento che le scelte rappresentative vanno a modificare, talvolta in modo determinante la riconoscibilità delle superfici da parte dei software BEM. Inoltre, la procedura di esportazione/importazione non si configura ancora come un processo diretto, ma richiede un lavoro iterativo di riscontro delle criticità di scambio e conseguente modifica della rappresentazione BIM. La netta impressione che segue allo svolgimento del caso studio consiste nella necessità di ulteriore sviluppo. A tal fine, le criticità riscontrate nel corso del caso studio vengono meglio descritte nel successivo Capitolo 8, assieme ad altre indicazioni utili per il miglioramento tecnico delle piattaforme BIM e dei software BEM.

## 8 Linee guida per l'integrazione di piattaforme BIM

### 8.1 Premessa

Nel presente capitolo vengono discusse le maggiori criticità riscontrate nell'applicazione dei BIM alla progettazione di ZEB. Nei seguenti sottoparagrafi saranno infatti trattate le principali difficoltà che appaiono ostacolare tale utilizzo, offrendo inoltre linee guida per la loro soluzione. A tal fine si discutono in modo più approfondito le principali criticità riscontrate nel corso delle attività descritte al Capitolo 5, al Capitolo 6 e al Capitolo 7.

Dapprima (8.2), si delineano le criticità di carattere generale, da risolvere per un'ottimale interoperabilità nell'ambito della progettazione di ZEB, mentre successivamente si passa ad esaminare le criticità operative riscontrate nell'ambito dell'applicazione al caso studio (8.3), per lo più legate al corrente status dello standard IFC e alla sua attuale implementazione all'interno delle piattaforme BIM.

All'interno della trattazione si proporranno iniziative e raccomandazioni operative finalizzate alla soluzione delle criticità sopra menzionate, tracciando così il cammino verso l'ottenimento di una compiuta interoperabilità e quindi di un'effettiva fattibilità tecnica della progettazione di ZEB mediante piattaforme BIM.

### 8.2 Criticità di sistema e soluzioni nell'interoperabilità per la progettazione energetica di ZEB

In questo paragrafo si raccolgono le principali criticità di sistema connesse all'effettiva progettazione ZEB attraverso strumenti interoperabili. A tal fine, verranno discusse necessità d'interoperabilità e strumenti sistemici a supporto delle seguenti attività progettuali:

1. Procedura avanzata di studio di fattibilità BEM;
2. Procedura di progettazione dettagliata BEM;
3. Verifica della strategia di regolazione degli impianti.

Infine, si propone lo sviluppo di database atti a fornire riferimenti e set informativi unici e condivisi da tutti gli stakeholders, anche a livello internazionale, al fine d'aumentare l'interoperabilità nella progettazione energetica di ZEB.

#### 8.2.1 Procedura avanzata di studio di fattibilità BEM

Attualmente, la progettazione energetica di fattibilità viene svolta con strumenti semplificati, quali quelli descritti in 4.2.1 e 4.2.3. Tuttavia, come detto nel corso del volume, la progettazione di ZEB dovrebbe essere svolta con strumenti in grado di cogliere subito eventuali tendenze al surriscaldamento e conteggiarne i conseguenti consumi in raffrescamento o quantificarne il discomfort determinato sugli occupanti. Inoltre, tale attività dovrebbe tenere conto anche di fattori economici, per dirigere il progetto, sin dalle prime fasi, verso le soluzioni economicamente più sostenibili.

Per tale motivo, si raccomanda che i tool finalizzati ad analisi energetiche di fattibilità (tipicamente a LOD  $\leq$  200), consistano in strumenti di ottimizzazione, già illustrati in 4.3, atti a gestire in maniera automatizzata le simulazioni svolte dal motore di simulazione termo-energetica dinamica (4.2.2) scelto. Il loro uso è dunque mediato dall'interoperabilità BIM-BEM di cui al precedente Capitolo 6. I tool di ottimizzazione agiscono come descritto in 4.3, al fine d'identificare un set delle caratteristiche d'involucro e impianto estremamente ottimizzato, con riferimento, generalmente a un insieme di criteri di valutazione (da cui la denominazione di ottimizzazione multicriteriale), quali, per esempio:

- La minimizzazione del consumo energetico annuale, stimato dal motore di calcolo termo-energetico e tipicamente espresso in termini di densità di energia primaria, in kWh/(m<sup>2</sup>·y);
- La massimizzazione del comfort termo-igrometrico, stimato dal motore di calcolo termo-energetico tipicamente espresso nel numero di ore in condizioni di discomfort, in K·h, e di temperature medie nel periodo di occupazione;

- La minimizzazione dei costi totali, espressi nei termini di costi di costruzione, calcolabili attraverso l'applicazione automatizzata di prezzari e curve di costo, e di costi di conduzione, calcolabili a partire dai consumi di energia elettrica e di gas/biomasse/teleriscaldamento risultanti dal motore di calcolo termo-energetico.

In questa fase progettuale, i dati geometrici possono essere inseriti in forma approssimata, per esempio attraverso volumi ed espressioni parametriche, quali la definizione della superficie vetrata nei termini di un rapporto areico (superficie vetrata su superficie calpestabile o superficie vetrata su superficie opaca) o la definizione semplificata delle destinazioni d'uso dei diversi ambienti, eventualmente facendo uso di specifiche statisticamente predefinite.

Per l'uso del BIM all'interno di queste attività di progettazione, s'individuano le seguenti lacune:

- L'interoperabilità nello scambio informativo BIM-BEM deve garantire almeno il passaggio dei dati specificati nelle colonne "Preliminare – A", "Preliminare – B" e "Preliminare – C", definite in 6.4.
- Un'interfaccia di scelta dei parametri d'ottimizzazione. Una tale interfaccia dovrebbe consentire una selezione flessibile dei parametri di ottimizzazione e di fissarne l'intervallo di variazione. Eventualmente, dovrebbero essere consentiti valori discreti, per scegliere, per esempio, spessori tipici per gli elementi d'involucro.

### 8.2.2 Procedura di progettazione dettagliata BEM

La progettazione dettagliata BEM deve focalizzare sulla scelta definitiva degli elementi d'involucro e d'impianto, garantendo un grado di dettaglio superiore rispetto all'analisi di fattibilità e mantenendo l'attenzione sugli aspetti economici. Dunque, gli strumenti rimangono i medesimi, cioè motori di simulazione termo-energetica dinamica e tool di ottimizzazione, ma portati a un diverso livello di dettaglio. In questa fase progettuale, infatti, i dati geometrici, le costruzioni, i profili d'uso e i componenti impiantistici devono essere inseriti con fedeltà rispetto alla realtà esecutiva. Dovrebbero essere lasciati variabili solo i parametri o gli elementi d'incerti dimensionamento e definizione, lasciandone la specificazione ai tool d'ottimizzazione.

Per l'uso del BIM all'interno di queste attività di progettazione, s'individuano le seguenti lacune:

- La piena interoperabilità nello scambio informativo BIM-BEM, con estensione dello scambio informativo BIM-BEM ai dati specificati nelle colonne "Avanzata – A", "Avanzata – B" e "Avanzata – C".
- Un'interfaccia di scelta dei parametri d'ottimizzazione che consenta la selezione di specifici componenti, per esempio a seguito del dimensionamento impiantistico svolto dallo strumento di simulazione termo-energetica dinamica. Per esempio, l'utente dovrebbe essere posto nelle condizioni di selezionare lo specifico strato di materiale secondo cataloghi commerciali, nonché diversi modelli di generatori, declinati per dimensione in conformità a cataloghi dei fornitori, etc.

### 8.2.3 Verifica della strategia di regolazione degli impianti

Una volta scelti e dimensionati i componenti dell'insieme involucro-impianto, il progettista energetico definisce le strategie di regolazione degli impianti. Esse possono essere molto semplici, nel caso di piccoli edifici, ma possono altresì raggiungere un elevato livello di complessità, quando ci si riferisca a grandi edifici, con più generatori termo-frigoriferi e sistemi di stoccaggio dell'energia. Nel caso di ZEB, la complessità della regolazione è generalmente maggiore che nel caso di edifici convenzionali, data la necessità di ottenere la massima efficienza energetica, per esempio gestendo in modo ottimale i sistemi d'ombreggiamento, le portate d'aria di ventilazione e/o le temperature di mandata ai terminali d'impianto. In particolare, però, negli ZEB, risulta capitale favorire la corrispondenza dei periodi di consumo con i periodi di generazione da impianto fotovoltaico. Infatti, le convenienze ambientale ed economica degli ZEB aumentano all'aumentare della frazione di energia da fotovoltaico autoconsumata dall'edificio stesso. A tal scopo possono aiutare serbatoi d'accumulo adeguatamente dimensionati e gestiti, nonché un'adeguata gestione dei dispositivi elettrici differibili (cioè anticipabili o procrastinabili alle ore successive), al fine di concentrare i consumi elettrici nelle ore di maggiore autoproduzione elettrica, gestendo anche eventuali accumuli termochimici.

Di conseguenza, l'insieme edificio-impianto può essere soggetto a una moltitudine d'interventi della regolazione, singolarmente semplici e dall'esito prevedibile, ma il cui effetto sovrapposto deve invece essere studiato con attenzione, al fine d'evitare anomalie di funzionamento, sovraconsumi percentualmente rilevanti, condizioni di disagio agli occupanti o altri malfunzionamenti.

I motori di simulazione termo-energetica dinamica consentono, di default, l'implementazione di buona parte delle strategie di regolazione più consuete, ma permettono altresì d'integrare strategie di regolazione user-defined, attraverso moduli di programmazione. Viene dunque consentito all'utente d'inserire, di default o autonomamente, praticamente qualsiasi strategia di gestione del sistema involucro-impianto.

Condizione fondamentale a tale scopo diviene quindi la corretta esportazione IFC dei componenti d'impianto, che tuttavia non è ancora supportata con un procedimento diretto e lineare. Inoltre, in tale ambito, risulterebbe assai utile anche lo sviluppo di database di componenti d'involucro e impianto disponibili a livello commerciale, associati, per completezza, alle informazioni inerenti alle dimensioni, all'aspetto, alle caratteristiche elettriche, alle emissioni acustiche, etc., oltre che alle curve di funzionamento termo-energetico.

Infine, assai utile, anche nel contesto della manutenzione, risulterebbe l'esportazione IFC di eventuali sensori/attuatori presenti nell'edificio. Tali elementi potrebbero infatti essere collegati a risorse esterne al file, consentendo, nel corso della fase di gestione, di leggere le misure/azioni dei sensori/attuatori per poi passare alla loro restituzione grafica.

#### 8.2.4 Sviluppo di database

Come accennato in 8.2.3, si riterrebbe molto utile l'eventuale avvio di un progetto per lo sviluppo di un database dei componenti d'involucro e impiantistici, verso i cui elementi indirizzare dei riferimenti afferenti ai componenti impiantistici, in modo da avere accesso alle informazioni per essi disponibili. Allo stato attuale, infatti, la definizione delle caratteristiche dei componenti impiantistici in IFC risulta limitata e lontana dalla completezza informativa richiesta tanto per le simulazioni termo-energetiche quanto per le attività di altre discipline, quali la progettazione elettrica, l'analisi acustica o la simulazione illuminotecnica. Potrebbe quindi essere utile, almeno fino all'estensione delle definizioni IFC dei componenti impiantistici, associare i componenti a una risorsa esterna all'interno della quale riversare le (molte) informazioni necessarie. Al fine di preservare la tassonomia delle informazioni disponibili, si può ricorrere al buildingSMART Data Dictionary [73].

### 8.3 Criticità operative e soluzioni nell'interoperabilità per la progettazione energetica di ZEB

In questo paragrafo si considerano invece le criticità legate alla presente definizione dello standard IFC e alla sua implementazione all'interno delle piattaforme BIM, con speciale riferimento a:

- La definizione delle voci costituenti lo standard IFC, nonché la loro implementazione all'interno delle piattaforme BIM, in 8.3.1 e 8.3.2;
- La definizione della geometria e delle zone, in 8.3.3, 8.3.4, 8.3.5, 8.3.6 e 8.3.7;
- Le costruzioni e i ponti termici, in 8.3.8, 8.3.9 e 8.3.10;
- La definizione dei profili d'uso, in 8.3.11.

#### 8.3.1 Revisione dei property set

L'attività illustrata nel corso del Capitolo 6 ha dimostrato come i property set dedicati all'energetica appaiano in generale confusi e poco coerenti. Spesso, infatti, raccolgono informazioni parziali e talvolta incongruenti. Si raccomanda dunque una revisione dei property set di IFC, ad opera di specialisti del settore termo-energetico. Le tabelle presenti nel Capitolo 6 testimoniano infatti una certa dispersione dei parametri utili alla progettazione energetica. Ciascuna tabella riportata nel Capitolo 6 è infatti dedicata a un ambito ben delineato, tuttavia gli oggetti richiamati/riferiti giungono spesso da diverse entità o property set. Peraltro, si ricorda come le tabelle riportate nel Capitolo 6 già siano state composte cercando di mantenersi il più fedeli possibile agli elementi già definiti all'interno di IFC.

### 8.3.2 Esportazione di property set personalizzati

L'attività riportata nel corso del Capitolo 7 ha evidenziato una generalizzata tendenza, da parte delle piattaforme BIM (e degli utenti), a esportare, secondo un rigoroso standard IFC, solo gli elementi principali, generalmente attinenti a geometria e costruzioni. Per quanto attiene invece a impostazioni ed elementi più specialistici, quali per esempio quelli legati alle condizioni di uso e controllo termo-igrometrico dei vani, l'esportazione dei dati avviene solo in modo parziale e comunque generalmente attraverso property set personalizzati, senza ricorso ai property set predefiniti nel formato IFC, se non per alcuni casi (per esempio i Pset\_Class\_common). Probabilmente, alla base di questa scelta operata dagli sviluppatori di piattaforme BIM, sussiste la percepita necessità di un'integrazione dei property set standard, che motiva gli sviluppatori a definire i propri, più coerenti con le finalità dei rispettivi software. Di conseguenza, le interfacce d'importazione non possono acquisire tali dati, a meno di non ricorrere a implementazioni parallele che identifichino i property set personalizzati e ne reinquadrino i dati all'interno dello standard IFC. Tale opzione risulta tuttavia di lontana realizzazione, dato lo stato ancora prematuro di sviluppo di molte interfacce d'importazione, e non concorre a migliorare l'interoperabilità delle piattaforme BIM. E' possibile, quindi, che, attraverso una revisione dei property set IFC, come definito in 8.3.1, si possano colmare eventuali lacune o incoerenze, inducendo gli sviluppatori a ricorrere a property set standard, come consigliabile per una piena interoperabilità. L'unica opzione realizzabile consiste quindi nell'esportazione dei parametri secondo property set definiti da IFC attraverso l'implementazione di tabelle di corrispondenza o script ad opera dell'utente stesso, facendo uso degli strumenti messi a disposizione dalle piattaforme BIM stesse. Tale opzione, probabilmente più realizzabile rispetto alla precedente, necessita un elevato grado di competenza specialistica e di tempo e dimostra come l'interoperabilità di software BIM e BEM necessiti di ulteriore sviluppo.

### 8.3.3 Intersezioni geometriche

Nel corso dell'attività riportata nel Capitolo 7 si è notato come risultino spesso di difficile acquisizione i nodi geometrici costituiti dall'intersezione di diversi elementi, quali pilastri e solai oppure dall'attestazione di superfici su altre. In tal caso, finché le interfacce d'importazione non gestiranno meglio tali nodi, può essere raccomandabile rimuovere gli elementi critici prima dell'esportazione da piattaforma BIM, ben sapendo, comunque, che tale modalità operativa non va nel senso della piena interoperabilità.

### 8.3.4 Superfici speciali

Dall'attività sul caso studio, riportata in Capitolo 7, emerge come l'acquisizione di superfici speciali, quali curtain walls e piani virtuali di divisione, risultino generalmente supportati in fase di esportazione e scarsamente supportati in fase d'importazione, probabilmente a causa di un'implementazione ancora incompleta, preferenzialmente sviluppata per gli elementi più ricorrenti. Ciò implica che i motori d'importazione spesso non mostrino tali superfici all'interno della geometria importata, costringendo così alla loro definizione direttamente all'interno dell'interfaccia BEM.

### 8.3.5 Space Boundary

Le attività svolte nell'ambito del Capitolo 5 e del Capitolo 7 hanno dimostrato come alcuni tra i più diffusi software di BIM authoring non mappino gli spazi secondo quanto disposto da IFC, suddividendo Space Boundary di primo e secondo livello.

Nel modello dati IFC, gli Space Boundary sono oggetti virtuali, utilizzati per misurare diversi tipi di quantità in relazione a locali o spazi. Il loro utilizzo può riferirsi a vari domini della conoscenza; in particolare, nel campo energetico vengono impiegati per delimitare gli spazi che costituiscono l'edificio e riconoscere i diversi tipi di superfici che li confinano (le cosiddette adiacenze), al fine di permettere ai motori di calcolo di computare correttamente i flussi termici che li interessano. IFC individua gli Space Boundary per mezzo di specifiche relazioni, chiamate IfcRelSpaceBoundary, che collegano ciascuna entità a quelle che la circondano, attraverso una serie di connessioni 1:1. Per una migliore gestione delle relazioni, è prevista la distinzione fra due tipi di delimitazioni (Figura 19):

- Di primo livello. Si tratta dei confini di uno spazio definiti da:
  - o Le superfici degli elementi tecnici (per esempio: muri, pavimenti, tetti, etc.) che delimitano lo spazio;
  - o Le superfici virtuali di delimitazione fra spazi adiacenti che si realizzano senza la presenza di divisioni fisiche;
- Di secondo livello. Si tratta delle delimitazioni che caratterizzano uno spazio (siano esse fisiche o virtuali), ma con un maggior grado di accuratezza, dovuto al fatto di considerare ciò che accade oltre la superficie divisoria. A questo scopo, possono essere ulteriormente suddivise in:
  - o Type A: qualora dall'altra parte sia definito un altro spazio
  - o Type B: qualora dall'altra parte sia definito un elemento tecnico.

Secondo [74], guida ideata per supportare lo sviluppo di MVD a servizio delle analisi energetiche, per la corretta definizione degli Space Boundaries occorre seguire un processo in tre fasi:

- Definizione della relazione fra lo spazio e l'elemento delimitatore (mediante IfcRelSpaceBoundary<sup>1</sup>);
- Descrizione della geometria di delimitazione, che deve essere una superficie di tipo IfcCurveBoundedPlane<sup>2</sup>, IfcCurveBoundedSurface<sup>3</sup>, IfcSurfaceOfLinearExtrusion<sup>4</sup> o IfcFaceBasedSurfaceModel<sup>5</sup>;
- Collegamento della superficie allo Space Boundary (mediante IfcConnectionGeometry<sup>6</sup>).

Nonostante in IFC siano definiti tutti gli strumenti per rappresentare gli SpaceBoundary in coerenza con quanto richiesto per l'esportazione verso strumenti di analisi energetica, un numero significativo dei software di BIM authoring maggiormente diffusi non risulta attualmente in grado di convertire correttamente la geometria dei modelli mappandone le delimitazioni per mezzo di Space Boundary di primo e secondo livello.

---

<sup>1</sup> Definizione secondo BuildingSmart: "The space boundary (IfcRelSpaceBoundary) defines the physical or virtual delimitation of a space as its relationship to the surrounding elements.

- In the case of physical space boundary, the placement and shape of the boundary may be given, and the building element, providing the boundary, is referenced,
- In the case of virtual space boundary, the placement and shape of the boundary may be given, but no building element is referenced."

<sup>2</sup> Definizione secondo BuildingSmart: "The IfcCurveBoundedPlane is a specialized bounded surface class that deals only with bounding basis plane surfaces. The definition varies from STEP as outer and inner boundaries are separated attributes and refer to IfcCurve. The only basis surface that is allowed is of type IfcPlane, and the implicit\_outer attribute has not been incorporated, since only unbounded surfaces are used as basis surface."

<sup>3</sup> Definition according to ISO/CD 10303-42:1992: "The curve bounded surface is a parametric surface with curved boundaries defined by one or more boundary curves. One of the boundary curves may be the outer boundary; any number of inner boundaries is permissible. The region of the curve bounded surface in the basis surface is defined to be the portion of the basis surface in the direction of  $N \times T$  from any point on the boundary, where  $N$  is the surface normal and  $T$  the boundary curve tangent vector at this point. The region so defined shall be arcwise connected."

<sup>4</sup> Definizione secondo ISO/CD 10303-42:1992: "This surface is a simple swept surface or a generalized cylinder obtained by sweeping a curve in a given direction. The parameterization is as follows where the curve has a parameterization  $l(u)$ :

- $V = \text{ExtrusionAxis}$
- $\sigma(u, v) = l(u) + v \cdot V$

The parameterisation range for  $v$  is  $-\infty < v < \infty$  and for  $u$  it is defined by the curve parameterisation."

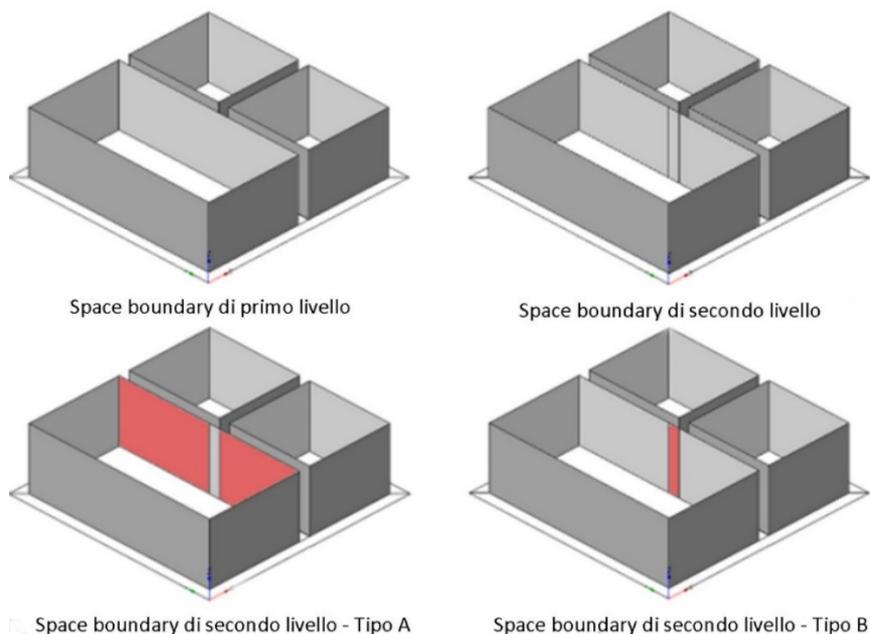
<sup>5</sup> Definizione secondo ISO/CD 10303-42:1992: "A face based surface model is described by a set of connected face sets of dimensionality 2. The connected face sets shall not intersect except at edges and vertices, except that a face in one connected face set may overlap a face in another connected face set, provided the face boundaries are identical. There shall be at least one connected face set."

<sup>6</sup> Definizione secondo BuildingSmart: "IfcConnectionGeometry is used to describe the geometric and topological constraints that facilitate the physical connection of two objects. It is envisioned as a control that applies to the element connection relationships."

Le sperimentazioni svolte da diversi gruppi di ricerca su questo tema hanno formulato proposte differenziate, benché tutte basate sulla manipolazione del file IFC per mezzo di script, in seguito all'esportazione. Appare a tal riguardo interessante citare due delle soluzioni adottate da progetti già sinteticamente descritti nel Capitolo 5:

- Il progetto europeo BERTIM ha definito un algoritmo per la mappatura degli Space Boundary di primo e secondo livello. Il processo è guidato da un diagramma di flusso che prevede l'interrogazione delle superfici in relazione alle loro classe IFC e collocazione spaziale, per estrarne tipo e funzione [75] (Figura 20);
- Il gruppo di lavoro del Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) ha realizzato l'applicativo SBT (Space Boundary Tool) [76] per il popolamento del file IFC in relazione agli Space Boundary di primo e secondo livello, capace anche di fornire in uscita un file IDF.

Sulla base delle esperienze pregresse, si ritiene che la soluzione del problema sulla corretta definizione degli Space Boundary possa inizialmente passare per un'operazione di post-produzione del file IFC esportato dai software di BIM authoring, da svolgersi attraverso script che mappino in modo rigoroso le delimitazioni di primo e secondo livello sulla base della lettura e della manipolazione del file IFC in versione testuale. Una soluzione più a lungo termine, invece, potrebbe consistere nello sviluppo di un'applicazione software per lo svolgimento delle medesime operazioni, integrata in un'interfaccia grafica che renda il processo accessibile anche agli utenti meno esperti, riprendendo l'esperienza svolta con SBT.



**Figura 19. Space boundary di Primo e Secondo livello (Tipo A e Tipo B) [77].**

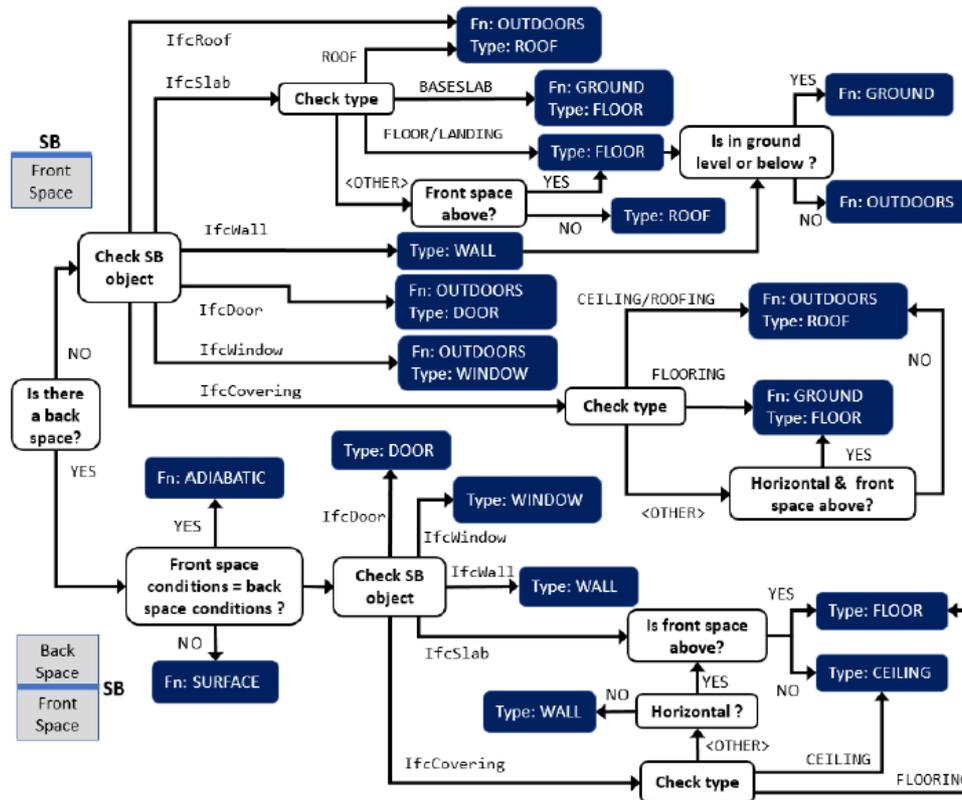


Figura 20. Procedura d'identificazione di tipo e funzione delle superfici, conformemente al progetto europeo BERTIM [58].

### 8.3.6 Controsoffitti

Nel corso dell'attività sul caso studio descritta nel Capitolo 7, i controsoffitti hanno avuto un ruolo rilevante. Essi risultano ancora scarsamente supportati all'interno dei software BEM. In particolare, essi potrebbero essere alternativamente supportati mediante:

- Creazione di zone non climatizzate. Il controsoffitto può essere modellizzato termo-energeticamente come una o più zone termiche di piccole dimensioni, contornate dalla lastra di cartongesso (quale pavimento della/e zona/e), dal solaio interpiano (quale soffitto della/e zona/e) e da una porzione delle pareti laterali. Questa modalità di modellizzazione permette una maggiore precisione nella simulazione energetica, consentendo d'inserire eventuali dispersioni termiche aventi luogo all'interno del controsoffitto stesso e consentendo altresì di aumentare la discretizzazione del volume termico dell'edificio, andando ad articolare in modo realistico il campo termico. Di contro, aumentano notevolmente i tempi di calcolo, andando approssimativamente a raddoppiare le variabili di calcolo e di conseguenza anche le dimensioni del file di output, complicando ulteriormente anche l'attività di verifica dei risultati.
- Inclusione all'interno delle costruzioni dei solai interpiano. Il controsoffitto potrebbe infatti essere visto come un'intercapedine d'aria compresa tra il cartongesso e il solaio interpiano. Ciò implica che, in presenza di un controsoffitto, la costruzione associata al corrispondente solaio interpiano debba essere modificata andando a comprendere cartongesso e intercapedine d'aria. In tal modo, diminuisce il livello di dettaglio della simulazione termo-energetica, ma ne aumentano sensibilmente le velocità di calcolo e verifica dei risultati. E' importante tuttavia notare che una tale soluzione mina l'interoperabilità delle piattaforme BIM, in quanto introduce elementi differenziati tra modello architettonico e modello energetico.

### 8.3.7 Zonizzazione trans-piano

L'attività illustrata nel Capitolo 7 ha consentito di riscontrare lo scarso supporto ora fornito da parte dei tool BEM al raggruppamento in zone di vani dislocati su diversi piani. I software BIM consentono di raggruppare vani in zone, per esempio finalizzate alla gestione dei sistemi di climatizzazione o alla definizione dei carichi interni. Tuttavia, la definizione di zone che raggruppano piani non contigui (come potrebbe esemplificativamente accadere anche nel caso in cui il piano separatore consistesse nel mero controsoffitto) non è generalmente adeguatamente supportata dagli importatori IFC finalizzati alla simulazione energetica. Si consiglia dunque di non procedere a zonizzazioni trans-piano finché essa non sarà adeguatamente supportata in fase d'importazione.

### 8.3.8 Costruzioni

Dall'attività sul caso studio descritta nel corso del Capitolo 7 è emerso come le costruzioni siano generalmente supportate in fase d'esportazione, ma talvolta non supportate in importazione, costringendo l'utente a definirle direttamente attraverso l'interfaccia BEM.

### 8.3.9 Descrizione dettagliata delle stratigrafie vetrate

Nella descrizione dei parametri d'interesse termico nei serramenti, lo standard IFC supporta un dettaglio descrittivo inferiore rispetto ai comuni software di analisi energetica, in particolare per quanto attiene alla stratigrafia dei vetri. Attualmente, EnergyPlus, software di analisi energetica molto consolidato, può utilizzare anche input semplificati (quali, in questo caso, la trasmittanza termica, il coefficiente di guadagno solare, nonché il coefficiente di trasmissione per la radiazione visibile) a caratterizzare l'intero pacchetto vetrato, ma con minori flessibilità e accuratezza di calcolo. D'altra parte, IFC contiene già una classe stratigrafia (`IfcMaterialLayerSet`), che potrebbe essere adattata a tal scopo. In tal caso, si rivelerebbe necessaria la specifica dei parametri elencati in Tabella 25. Inoltre, conoscere le caratteristiche specificate in Tabella 25 per ciascuno strato costituente una vetrata (quindi: vetri e intercapedini d'aria) potrebbe essere utile anche in altri ambiti, quali la valutazione dell'isolamento acustico indotto dalla vetrata e lo sviluppo di rendering più realistici, attraverso una più fedele rappresentazione della luce passante attraverso le finestre.

Lo scambio di ulteriori dati attualmente non resi disponibili al BEM da parte dello standard IFC potrebbe avvenire attraverso il ricorso (con eventuali integrazioni e/o modifiche) ai seguenti elementi e proprietà di IFC:

- `IfcWindowType`
- `IfcWindowTypePartitioningEnum`
- `IfcWindowLiningProperties`
- `IfcWindowPanelProperties`
- `IfcPermeableCoveringProperties`
- `Pset_WindowCommon`
- `Pset_DoorWindowGlazingType`

### 8.3.10 Ponti termici

Allo stato attuale, il modello dati IFC non dispone di strutture atte alla trasmissione d'informazioni relative a ponti termici lineari e puntuali. Oltre ai flussi termici che investono le superfici dell'involucro edilizio, contributi rilevanti nel bilancio termico dell'edificio possono infatti provenire anche da elementi lineari o puntuali, che, nell'ambito delle analisi energetiche, vengono modellati e stimati per mezzo dei cosiddetti ponti termici, lineari e puntuali (Figura 21). Allo stato attuale, non è possibile identificare nella struttura di IFC alcuna entità, attributo o relazione capaci di veicolare le informazioni relative a questa classe di elementi, che generalmente vengono caratterizzati in termini di trasmittanza lineica  $[W/(m \cdot K)]$  o puntuale  $[W/K]$ .

In questo contesto, una proposta potrebbe consistere nell'ulteriore estensione del concetto di Space Boundary, includendo nelle specifiche IFC un terzo e un quarto livello di approfondimento per la

descrizione dei ponti termici lineari e puntuali e delle loro relazioni con le entità che compongono l'organismo edilizio. In alternativa, si potrebbero rappresentare i ponti termici con forme geometriche lineari e puntuali, cui associare un'istanza di una nuova entità, definita in Tabella 27. Per mantenere un'interoperabilità aperta sarebbe conseguentemente necessaria la creazione di una tale entità all'interno dello standard IFC.

### 8.3.11 Carichi di acqua calda sanitaria

L'attività svolta nell'ambito del Capitolo 7 ha consentito di riscontrare l'assenza, all'interno dello standard IFC, di parametri di input atti alla definizione dei consumi d'acqua calda sanitaria, da parte di alcune importanti piattaforme BIM. Tale mancanza diviene ancor più importante nel caso di RSA ed edifici residenziali ZEB, in quanto, abbattuti i consumi dell'involucro, l'acqua calda sanitaria diviene una delle maggiori voci del bilancio energetico dell'edificio. È quindi opportuno aggiungere, all'interno delle piattaforme BIM, la possibilità d'inserire tali dati ed esportarli, per consentire una compiuta simulazione di edifici ZEB.

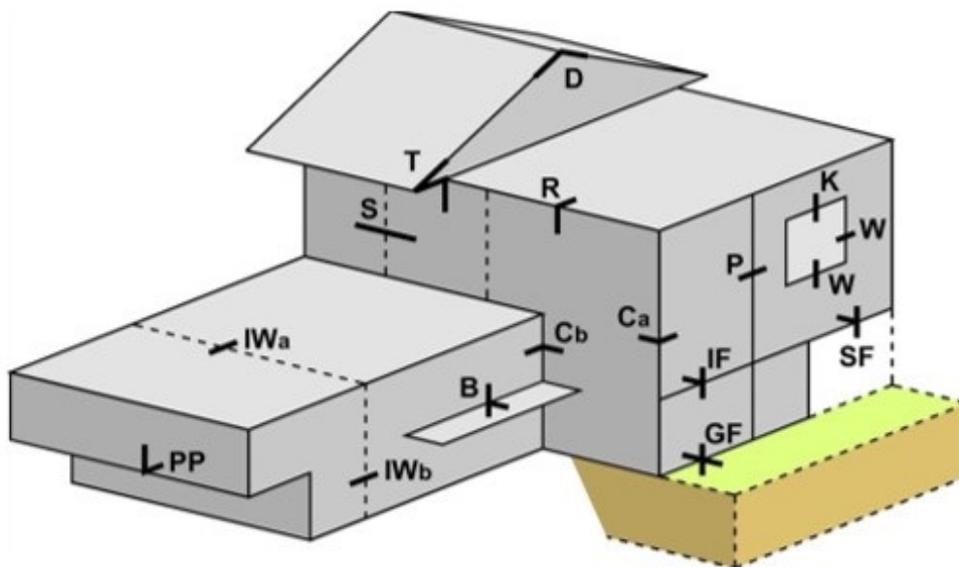


Figura 21. Tipica localizzazione dei ponti termici sull'involucro dell'edificio (Fonte: [www.masterclima.info](http://www.masterclima.info)).



## 9 Conclusioni

Il progetto è partito dalla generale presentazione del contesto applicativo del BIM e degli ZEB (Capitolo 2). Dopo l'illustrazione degli attuali formati BIM finalizzati all'interoperabilità in ambito energetico (Capitolo 3) e la presentazione degli strumenti di simulazione energetica più avanzati (Capitolo 4), si sono raccolte le precedenti iniziative tese a integrare la progettazione energetica entro procedure BIM (Capitolo 5), constatandone la frammentarietà e, spesso, le scarse potenzialità d'ulteriore sviluppo.

Il Capitolo 6 definisce in modo chiaro gli Exchange Information Requirements utili per la progettazione energetica, a vario livello di sviluppo, e per lo svolgimento delle fasi di conduzione e manutenzione. In tal modo, si sono sviluppate le parti operativamente più importanti nello sviluppo di MVD e IDM di 7 tipiche applicazioni d'uso, atte a coprire diversi livelli di sviluppo e fasi di vita dell'edificio. Gli EIRs definiti potrebbero inoltre costituire la base per ulteriori sviluppi, quali la costruzione di database inerenti alle modalità d'occupazione e gli elementi d'involucro e impiantistici o l'interfacciamento con strumenti di ottimizzazione applicati alla simulazione termo-energetica.

Col Capitolo 7 si sono affrontati concretamente i problemi di scambio informativo sofferti dai professionisti impegnati nella progettazione integrata di ZEB, attraverso l'applicazione a un caso studio, che ha consentito verificare le criticità che impegnano il progettista nel corso della progettazione energetica.

Il Capitolo 8, infine, ha espresso le criticità individuate, fornendo linee guida per il miglioramento dell'esperienza progettuale energetica, con un doppio approccio:

- Sistemico, cioè teso a identificare strumenti e procedure atti a innalzare il livello d'interoperabilità. A tale ambito si riportano le linee guida per lo sviluppo di piattaforme BIM che consentano un'efficace progettazione energetica, tanto a livello di studio di fattibilità quanto per la progettazione dettagliata e la verifica delle strategie di regolazione degli impianti. A tal fine si sono anche fornite informazioni utili a delineare le caratteristiche di database in grado di migliorare l'esperienza d'uso dei BIM e la ricchezza informativa disponibile per la progettazione di ZEB.
- Operativo, cioè focalizzato sulle singole criticità riscontrate nel corso dell'applicazione al caso studio. All'interno di questa categoria rientrano numerosi problemi che, attualmente, limitano l'interoperabilità BIM nel settore. Ad essi appartengono in larga parte criticità nell'esportazione delle informazioni inerenti alla geometria e all'involucro, ma pure scelte operate da alcuni sviluppatori, per esempio per quanto attiene all'esportazione dei set informativi attraverso property set personalizzati.

Gli autori ritengono che le linee guida e le altre informazioni presentate nel Capitolo 8 possano supportare le software house nella definizione di percorsi di miglioramento delle piattaforme BIM attualmente presenti sul mercato.

In generale, lo standard IFC si è dimostrato sufficientemente maturo da supportare lo scambio informativo d'interesse energetico, pur avendo margini di miglioramento. In tal senso, potrebbe essere utile la revisione di alcune entità, cercando di trovare maggiore corrispondenza con i parametri richiesti dagli strumenti progettuali più dettagliati, attualmente in fase di diffusione, quali i motori di simulazione termo-energetica dinamica. Nell'ambito della presente ricerca si è in verità cercato d'attenersi il più possibile a elementi e informazioni già definiti all'interno dello standard IFC, proponendo integrazioni ad essi o loro interpretazioni solo se strettamente necessario, considerando lo standard IFC un contesto predefinito non direttamente modificabile dalla presente ricerca. Tuttavia, risulterebbe utile allineare il set informativo energetico dello standard IFC ai parametri di input/output considerati dai più moderni strumenti di simulazione termo-energetica.

La maggiore difficoltà nel processo progettuale energetico emerge tuttavia dal parziale supporto in fase di esportazione da BIM a IFC e, ancor più, in fase d'importazione da IFC a software BEM. In tal senso, appare quasi sussistere una situazione di stallo: i progettisti non utilizzano strumenti BIM per la progettazione energetica in quanto essi non garantiscono un processo diretto, quindi non motivano le software house a offrire una maggiore copertura dello standard IFC, data la scarsa domanda da parte dei professionisti stessi. Probabilmente, una spinta all'estensione della copertura IFC potrebbe quindi venire da istituzioni, nazionali o internazionali, che assolvano il ruolo di "certificatori" delle capacità d'importazione/esportazione IFC,

eventualmente collegando tale certificazione all'utilizzabilità dei singoli software BIM e BEM nella realizzazione di progetti finanziati da bandi pubblici.

Tuttavia, il miglioramento del processo progettuale non passa solo attraverso una più estesa copertura dello standard IFC, ma anche attraverso lo sviluppo di database di componenti d'involucro/impianto e il supporto diretto a procedure di progettazione condotte da solutori di ottimizzazione multicriteriale.

## 10 Riferimenti bibliografici

- [1] UNI; EN; ISO, “UNI EN ISO 19650-1:2019.” [Online]. Available: [http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-19650-1-2019?josso\\_back\\_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso\\_cmd=login\\_optional&josso\\_partnerapp\\_host=store.uni.com](http://store.uni.com/catalogo/uni-en-iso-19650-1-2019?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com).
- [2] European Parliament, “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,” *Off. J. Eur. Union*, pp. 13–35, 2010, doi: doi:10.3000/17252555.L\_2010.153.eng.
- [3] “GAZZETTA UFFICIALE - Serie generale - n. 162 - 15-7-2015 - Supplemento ordinario n. 39,” 2015. [Online]. Available: [https://www.gazzettaufficiale.it/do/atto/serie\\_generale/caricaPdf?cdimg=15A0519800100010110001&dgu=2015-07-15&art.dataPubblicazioneGazzetta=2015-07-15&art.codiceRedazionale=15A05198&art.num=1&art.tiposerie=SG](https://www.gazzettaufficiale.it/do/atto/serie_generale/caricaPdf?cdimg=15A0519800100010110001&dgu=2015-07-15&art.dataPubblicazioneGazzetta=2015-07-15&art.codiceRedazionale=15A05198&art.num=1&art.tiposerie=SG).
- [4] Italian Parliament, “DECRETO LEGISLATIVO 3 marzo 2011, n. 28 Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell’uso dell’energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE. (11G0067) (GU Serie Generale n.71,” 2011. [Online]. Available: <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2011/03/28/011G0067/sg>.
- [5] U.S. Department of Energy, “EnergyPlus.” 2015, [Online]. Available: <https://energyplus.net/>.
- [6] S. A. Klein *et al.*, *TRNSYS 16 – TraNsient System Simulation program, User manual*. Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2004.
- [7] U.S. Department of Energy, “EnergyPlus.” 2015.
- [8] M. Laakso and A. Kiviniemi, “The IFC standard - A review of history, development, and standardization,” *Electron. J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 17, no. May, pp. 134–161, 2012.
- [9] M. Baldwin, “What is IFC.” <https://bimconnect.org/en/software/what-is-ifc/>.
- [10] P. Borin and C. Zanchetta, *IFC – Processi e modelli digitali openBIM per l’ambiente costruito*. Maggioli Editore, 2020.
- [11] T. Liebich, “IFC 2x Edition 3 Model Implementation Guide,” 2009.
- [12] “EXPRESS data modeling language.” <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000449.shtml>.
- [13] “Extensible Markup Language (XML).” <https://www.w3.org/XML/>.
- [14] “Introducing JSON,” [Online]. Available: <https://www.json.org/json-en.html>.
- [15] “Hierarchical Data Format.” <https://www.hdfgroup.org/>.
- [16] “What is SQLite.” <https://sqlite.org/index.html>.
- [17] ISO, “ISO 29481-1:2010 Building information modelling — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format,” 2010. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/45501.html>.
- [18] J. Wix and J. Karlshøj, “Information delivery manual. Guide to components and development methods,” 2010.
- [19] ISO, “ISO 29481-1:2010 Building information modelling - Information delivery manual. Part 1: Methodology and format,” 2010. .
- [20] J. Karlshøj, R. See, and D. Davis, “An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange,” 2012.
- [21] “IFC 4.0 - MVD RV 1.2.” [https://standards.buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/RV1\\_2/HTML/](https://standards.buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/).
- [22] “gbXML Viewer.” <https://www.ladybug.tools/spider-gbxml-tools/spider-gbxml-viewer/v-0-17-08/app-viewer/spider-gbxml-viewer.html>.
- [23] “Rhino - Ladybug Tools.” <https://www.ladybug.tools/>.
- [24] “gbXML 6.01 - Schema.” [https://www.gbxml.org/schema/6-01/GreenBuildingXML\\_Ver6.01.xsd](https://www.gbxml.org/schema/6-01/GreenBuildingXML_Ver6.01.xsd).
- [25] “gbXML 6.01 - Schema.” .
- [26] “Tools supporting gbXML.” [https://www.gbxml.org/Software\\_Tools\\_that\\_Support\\_GreenBuildingXML\\_gbXML](https://www.gbxml.org/Software_Tools_that_Support_GreenBuildingXML_gbXML).
- [27] “ifcXML.” <https://app.bimsupporters.com/knowledge-base/kb/ifcxml/>.

- [28] UNI; EN; ISO, "UNI EN ISO 16739-1:2020 - Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management - Parte 1: Schema di dati.," 2020.
- [29] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, *Decreto Ministeriale numero 560 del 01/12/2017*. .
- [30] L. B. N. L. LBNL, "GenOpt - Generic Optimization Program." <https://simulationresearch.lbl.gov/GO/>.
- [31] Energy Simulation Solutions Ltd., "jEPlus+EA - Version 2.1," [Online]. Available: <https://simulationresearch.lbl.gov/GO/>.
- [32] R. J. Hitchcock and J. Wong, "Transforming IFC architectural view BIMs for energy simulation: 2011," *Proc. Build. Simul. 2011 12th Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc.*, pp. 1089–1095, 2011.
- [33] A. Karola *et al.*, "BSPRO COM-Server - Interoperability between software tools using industrial foundation classes," *Energy Build.*, vol. 34, no. 9, pp. 901–907, 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(02)00066-X.
- [34] V. Bazjanac and T. Maile, "IFC HVAC interface to EnergyPlus - A case of expanded interoperability for energy simulation," *Build. Sustain. Perform. Through Simul.*, pp. 1–7, 2004, [Online]. Available: <http://escholarship.org/uc/item/5zb4j9nb.pdf>.
- [35] V. Bazjanac, "Implementation of semi-automated energy performance simulation: building geometry," *CIB W78 26th Conf. Manag. IT Constr.*, pp. 595–602, 2009, [Online]. Available: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2009-1-64.pdf>.
- [36] J. Choi, J. Shin, M. Kim, and I. Kim, "Development of openBIM-based energy analysis software to improve the interoperability of energy performance assessment," *Autom. Constr.*, vol. 72, no. September 2018, pp. 52–64, 2016, doi: 10.1016/j.autcon.2016.07.004.
- [37] R. Guglielmetti, D. Macumber, and N. Long, "Openstudio: An open source integrated analysis platform," *Proc. Build. Simul. 2011 12th Conf. Int. Build. Perform. Simul. Assoc.*, no. December, pp. 442–449, 2011.
- [38] I. Kim, J. Kim, and J. Seo, "Development of an IFC-based IDF converter for supporting energy performance assessment in the early design phase," *J. Asian Archit. Build. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 313–320, 2012, doi: 10.3130/jaabe.11.313.
- [39] Digital Alchemy, "Simergy." <https://d-alchemy.com/products/simergy>.
- [40] "Open Studio." <https://openstudiocoalition.org/>.
- [41] "DesignBuilder." <https://designbuilder.co.uk/>.
- [42] "Sefaira." <https://support.sefaira.com/>.
- [43] G. Lee, S. Ham, and Y. H. Park, "Framework of the Extended Process To Product Modeling ( Xppm ) for Efficient Idm," no. 2006, pp. 26–28, 2011.
- [44] M. Venugopal, "Formal specification of industry foundation class concepts using engineering ontologies," 2011.
- [45] M. Weise, P. Katranuschkov, and R. J. Scherer, "Generalised model subset definition schema," *Cib Rep.*, vol. 284, p. 440, 2003, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Generalised+model+subset+definition+schema#0>.
- [46] P. Katranuschkov and R. Weise, Matthias;Windisch, Ronny;Fuchs, Sebastian;Scherer, "BIM-based Generation of Multi-Model Views," in *CIB W78*, 2010, no. June 2014.
- [47] H. Ying, S. Lee, and Q. Lu, "Comparative analysis of the applicability of BIM query languages for energy analysis," 2016, [Online]. Available: <http://itc.scix.net/data/works/att/w78-2016-paper-036.pdf>.
- [48] Y. Jian *et al.*, "Automatic building information model query generation," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 20, pp. 518–535, 2015.
- [49] H. Liu, G. Gao, H. Zhang, Y. Liu, Y. Song, and M. Gu, "MVDLite : A Light-weight Model View Definition Representation with Fast Validation for Building Information Model," pp. 1–36.
- [50] "HVACie - MVD." [http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD\\_HVACIE/](http://docs.buildingsmartalliance.org/MVD_HVACIE/).
- [51] T. Chipman, T. Liebich, and M. Weise, "mvdXML. Specification of a standardized format to define and exchange Model View Definitions with Exchange Requirements and Validation Rules," 2016.
- [52] C. Zhang, J. Beetz, and B. De Vries, "Towards Model View Definition on semantic level: A state of the

- art review," *Eur. Gr. Intell. Comput. Eng. EG-ICE 2013 - 20th Int. Work. Intell. Comput. Eng.*, no. April 2014, 2013.
- [53] S. Pinheiro *et al.*, "MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation," *Autom. Constr.*, vol. 90, no. February 2017, pp. 91–103, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.02.009.
- [54] A. Andriamamonjy, D. Saelens, and R. Klein, "An automated IFC-based workflow for building energy performance simulation with Modelica," *Autom. Constr.*, vol. 91, no. February, pp. 166–181, 2018, doi: 10.1016/j.autcon.2018.03.019.
- [55] IBPSA, "IBPSA - Project 1." <https://ibpsa.github.io/project1/>.
- [56] HESMOS, "Project HESMOS." <https://www.buildup.eu/en/explore/links/hesmos-project>.
- [57] "Project HESMOS." <https://cordis.europa.eu/project/id/260088>.
- [58] "Project BERTIM." <https://cordis.europa.eu/project/id/636984/it>.
- [59] "H2020 - Project BIM4EEB." <https://cordis.europa.eu/project/id/820660>.
- [60] "Project eeEmbedded." <https://cordis.europa.eu/project/id/609349/>.
- [61] "Project SWIMing." <https://cordis.europa.eu/project/id/637162>.
- [62] L. van Berlo and T. Krijnen, "Using the BIM Collaboration Format in a Server Based Workflow," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 22, pp. 325–332, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.11.031.
- [63] "BCF - Examples." [www.support.bimcollab.com/en/Support/Support/Downloads/Examples-templates](http://www.support.bimcollab.com/en/Support/Support/Downloads/Examples-templates).
- [64] UNI – Italian Unification Body, "UNI/TR 10349-2:2016," 2016.
- [65] "D.P.R. 26/8/1993, n. 412 - Reg. 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 di art. 4, comma 4, L. 9/1/1991, n. 10.," 1993.
- [66] W. Köppen, "Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahresablauf (Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle)," *Petermanns Geogr. Mitt.*, vol. 64, pp. 193–203, 243–248, 1918.
- [67] ASHRAE, "Standard 90.1-2013 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings," 2013.
- [68] ASHRAE, "Standard 90.2-2007 - Energy-Efficient Design for Low-Rise Residential Buildings," 2007.
- [69] UNI – Italian Unification Body, "UNI/TR 10349-2:2016," 2016. [Online]. Available: [http://store.uni.com/catalogo/uni-tr-10349-2-2016?josso\\_back\\_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso\\_cmd=login\\_optional&josso\\_partnerapp\\_host=store.uni.com](http://store.uni.com/catalogo/uni-tr-10349-2-2016?josso_back_to=http://store.uni.com/josso-security-check.php&josso_cmd=login_optional&josso_partnerapp_host=store.uni.com).
- [70] Comitato Termotecnico Italiano, "Anni tipo climatici per applicazioni termotecniche." <https://try.cti2000.it/> (accessed Jan. 08, 2021).
- [71] U. S. D. EERE, "EnergyPlus Weather Data." [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata\\_about.cfm?CFID=4040515&CFTOKEN=4cd868948e534cef-602D3412-BEBE-45FB-A8AA69678D67BC82](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=4040515&CFTOKEN=4cd868948e534cef-602D3412-BEBE-45FB-A8AA69678D67BC82).
- [72] ISO, "ISO 15927-4:2005 - Hygrothermal performance of buildings - Calculation and presentation of climatic data - Part 4: Hourly data for assessing the annual energy use for heating and cooling.," 2005.
- [73] buildingSMART, "buildingSMART Data Dictionary (bSDD)." <https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>.
- [74] M. Weise, T. Liebich, R. See, V. Bazjanac, and T. Laine, "Implementation guide: Space boundaries for energy analysis," ... *Open ...*, no. August 2009, pp. 1–62, 2011, [Online]. Available: [http://www.blis-project.org/IAI-MVD/documents/Space\\_Boundaries\\_for\\_Energy\\_Analysis\\_v1.pdf](http://www.blis-project.org/IAI-MVD/documents/Space_Boundaries_for_Energy_Analysis_v1.pdf).
- [75] A. Mediavilla, Y. Sebesi, and P. Peter, "Deliverable 4.6 Integration with external tools (Energy Plus)," vol. 210139712, no. 636984, 2020.
- [76] C. M. Rose and V. Bazjanac, "An algorithm to generate space boundaries for building energy simulation," *Eng. Comput.*, vol. 31, no. 2, pp. 271–280, 2015, doi: 10.1007/s00366-013-0347-5.
- [77] "IfcRelSpaceBoundary." [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension)

[/lexical/ifcrelspaceboundary.htm.](#)

## 11 Abbreviazioni ed acronimi

Abbreviazione	Significato	Abbreviazione	Significato
ACDat	Ambiente di Condivisione Dati	gbXML	green building eXtensible Markup Language
AEC	Architecture Engineering and Construction	GMSD	Generalized Model Subset Definition
AECOO	Architecture, Engineering, Construction, Owner Operator	HDF	Hierarchical Data Format
AIR	Asset Information Requirements	html	hypertext markup language
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer	HESMOS	ICT Platform for Holistic Energy Efficiency Simulation and Lifecycle Management of Public Use Facilities
BCF	BIM Collaboration Format	HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning
BEM	Building Energy Modeling	I2M	Ifc2Modelica
BERTIM	Building Energy Renovation through Timber prefabricated Modules	IAQ	Indoor Air Quality
BIM	Building Information Modelling	IBPSA	International Building Performance Simulation Association
BIM4EEB	BIM based toolkit for Efficient rEnovation in Buildings	IEA	International Energy Agency
BIMQL	BIM Query Language	idf	(EnergyPlus) input data file
BMS	Building Management System	IDM	Information Delivery Manual
BPMN	Business Process Model and Notation	IFC	Industry Foundation Classes
bSDD	buildingSMART Data Dictionary	IfcDoc	Ifc Documentation Generator
CBEI	Consortium for Building Energy Innovation	IoT	Internet of Things
CDB	Concept Design BIM	ISO	International Organization for Standardization
CDE	Common Data Environment	JSON	JavaScript Object Notation
CV	Coordination View	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
csv	comma separated values	LOD	Level Of Development
DCV	Demand Controlled Ventilation	MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
ddy	design day	MVD	Model View Definition
DOE	(U.S.) Department of Energy	NREL	National Renewable Energy Laboratory
DTV	Design Transfer View	nZEB	nearly Zero Energy Building
dxf	drawing exchange format	OGC	Open Geospatial Consortium
EBC	Energy in Buildings and Communities	PM	Process Map
eeEmbedded	Collaborative Holistic Design Laboratory and Methodology for Energy-Efficient Embedded Buildings	rdd	(EnergyPlus) report data dictionary
EERE	Office of Energy Efficiency & Renewable Energy	RFID	Radio Frequency Identification
eio	EnergyPlus invariant output	RV	Reference View
EIR	Exchange Information Requirements	SEM	Semantic Exchange Module
EMS	Energy Management System	SQLite	Structured Query Language Lite
EN	European Norm	UNI	Ente nazionale italiano di unificazione
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive	XML	eXtensible Markup Language
EPD	Environmental Product Declaration	XPPM	eXtended Process to Product Modeling
epw	EnergyPlus Weather	RSA	Residenza Sanitaria Assistenziale
ERM	Exchange Requirements Model	SBT	Space Boundary Tool
eso	EnergyPlus standard output	ZEB	Zero Energy Building
ftp	file transfer protocol		



## Gruppo di lavoro

Il gruppo di lavoro che ha svolto la presente ricerca risulta composto dagli esperti Paolo Borin, Elvio Casagrande, Cristina Cecchini, Massimiliano Scarpa e Claudio Vianello, i cui profili sono descritti nei sottostanti paragrafi.

### *Paolo Borin*

Paolo Borin è assegnista di ricerca in Rilievo e Rappresentazione dell'Architettura presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università di Padova. Si occupa di rilievo digitale, modellazione geometrica avanzata, modellazione degli edifici esistenti e storia dei metodi digitali di rappresentazione. Svolge attività di docenza presso l'Università degli studi di Padova, nel corso di Disegno Edile 3, nel laboratorio di Composizione Architettonica, e nel master BIM/HBIM. Presso l'Università Iuav di Venezia è docente a contratto presso il master BIM + BIM Management di Progetto. Ha svolto workshop internazionali presso University of Duke (USA) e Guangzhou University (Cina). Ha ottenuto la qualifica individuale BuildingSMART International e svolge il ruolo di referente per la Infrastructure Room all'interno di BuildingSMART Italia. Dal 2019 è dottore di ricerca in rappresentazione architettonica presso l'Università Iuav di Venezia.

### *Elvio Casagrande*

Architetto, dal 1980 collabora con lo studio "Gregotti Associati International" di Milano.

Organizza e partecipa come relatore a numerose conferenze e seminari su temi riguardanti l'architettura e l'urbanistica, su invito di Amministrazioni Pubbliche, Istituzioni culturali, Enti di formazione e Associazioni. Dal 2007 è presidente di Iuav Alumni, Associazione dei laureati dell'Università Iuav di Venezia.

Ha organizzato, coordinato e gestito, per Iuav, il progetto sperimentale di ricerca e formazione post-lauream "Progetto di architettura: gestione e controllo di interventi complessi", nell'anno 2010-2011.

Nel 2012, su invito, espone, alla mostra "La Tendenza - Architectures italiennes 1965-1985", al Centre G. Pompidou di Parigi.

Ha organizzato, coordinato e gestito i corsi post-lauream "Strumenti tecnici - BIM", dal 2014 al 2017.

Dal 2017, è Professore a contratto presso Iuav.

Dal 2018 è responsabile scientifico del Corso Master di II° livello "BIM + BIM Management di Progetto", presso Iuav.

### *Cristina Cecchini*

Cristina Cecchini, laureata in Ingegneria Edile-Architettura all'Università di Padova nel 2013, è attualmente impiegata presso l'Università di Pavia, dove ha conseguito un dottorato in "Design, Modeling and Simulation in Engineering". Nel suo percorso di ricerca ha approfondito il tema dell'uso di modelli digitali come strumento per la gestione dell'informazione tecnica nei processi edilizi, in particolare con riferimento al controllo delle prestazioni energetiche di asset immobiliari esistenti.

### *Massimiliano Scarpa*

Laureato in Ingegneria Meccanica, consegue il Dottorato in Energetica. Ha svolto attività di Ricerca presso l'Università degli studi di Padova (Dipartimento di Fisica Tecnica), EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology, Zurigo - Svizzera) e la Danish Technical University (DTU, Lyngby - Copenhagen - Danimarca). È ricercatore presso l'Università Iuav di Venezia. Le sue attività di ricerca coprono l'efficienza energetica negli edifici, da molte prospettive, dallo sviluppo di modelli e programmi di simulazione termo-energetica al contributo a norme inerenti alla performance energetica di edifici, dallo svolgimento di simulazioni attraverso tool consolidati a livello internazionale (quali EnergyPlus e TRNSYS) al monitoraggio di ambienti per la valutazione del livello di comfort, della qualità dell'aria e delle condizioni di conservazione di opere artistiche. È membro del comitato scientifico dell'Infrastruttura di Ricerca "Integral Design Environment" (IR.IDE), presso l'Università Iuav di Venezia.

*Claudio Vianello*

Si laurea in Architettura (indirizzo: Innovazione) nel 2016, presso l'Università Iuav di Venezia, e nello stesso anno consegue l'abilitazione alla professione. Ha svolto collaborazioni in vari progetti di riqualificazione di edifici storici, di nuova costruzione e spazi espositivi, utilizzando strumenti di BIM authoring. Nel 2018 è collaboratore al Master "BIM + BIM Management di progetto". Nel 2020 è assegnista di ricerca presso Iuav.