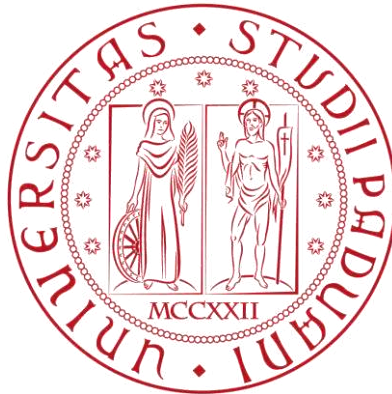


Università degli Studi di Padova  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering  
Corso di laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura  
Anno accademico 2021/2022



Tesi di laurea

# **La variabilità dell'uso dei materiali nell'edilizia residenziale italiana: calcolo e analisi del Material Intensity**

**Laureanda: Marta Mainardi 1164295**

**Relatore: Prof. Andrea Giordano**

**Correlatori: Alessio Miatto (Yale University), Paolo Borin (Università di Brescia)**





## Abstract

Il settore delle costruzioni è il principale responsabile dell'utilizzo di materie prime a livello globale. Pertanto, il settore edilizio può diventare in futuro una fonte di approvvigionamento di materiali nell'ottica di un'economia circolare, in particolare per metalli e minerali. Risulta quindi importante conoscere la quantità di materiale utilizzata nei singoli edifici, in vista anche di successivi piani di riuso e recupero. Attuali ricerche nel campo della sostenibilità edilizia mancano di eterogeneità dei valori specifici calcolati per ogni edificio. In altre parole: gli attuali studi assumono un costante uso di materiali al metro quadro, ignorando il fatto che edifici di forma e volume diverso risultino in differenti incidenze di materiali al metro quadro. Lo scopo di questa tesi è di trovare la relazione tra quantità totale di materiale e area dell'edificio è rappresentata dall'indice di intensità dei materiali (*Material Intensity*).

Questo studio analizza i valori della *Material Intensity* per le cinque tipologie abitative tipiche dell'edilizia residenziale italiana. L'interoperabilità dei risultati è garantita dall'implementazione del sistema Uniclass. I materiali inclusi in questa analisi sono: calcestruzzo e acciaio, legno, laterizio, e altri materiali costruttivi (e.g., polistirene). Particolare attenzione è posta nel paragonare il *Material Intensity* di costruzioni tradizionali in calcestruzzo e laterizio con gli edifici in legno. Evidenziamo infatti il crescente interesse verso quest'ultimo materiale organico, recentemente considerato come potenziale contenitore di anidride carbonica (carbon sequestration). I risultati permettono un'analisi a livello statistico molto accurata per la varianza della *Material Intensity* nei diversi archetipi. Il calcolo dell'indice legato alla standardizzazione degli elementi tramite classificazione garantisce una miglior comprensione dell'utilizzo dei vari materiali all'interno di tutti gli edifici.

I risultati di questa ricerca saranno utili a ricercatori nel campo della sostenibilità ambientale, inoltre forniranno un accurato database per una precisa stima delle potenziali risorse da riciclare e riutilizzare nel contesto delle miniere urbane (urban mining).

# Ringraziamenti

Vorrei esprimere la mia gratitudine a tutti coloro che mi hanno accompagnata attraverso lo sviluppo di questa ricerca. Un ringraziamento speciale è dedicato ai miei correlatori, Dr. Alessio Miatto, ricercatore presso l'Università di Yale. Dr. Paolo Borin, professore presso l'Università di Brescia. Questa tesi non sarebbe stata possibile senza la loro guida, il loro supporto e la loro passione in materia.

Ringrazio di cuore la mia famiglia, i miei amici e i miei colleghi per il loro innegabile supporto durante tutti questi anni di studio, un ringraziamento particolare va a Giacomo per la sua pazienza e per il suo sostegno nei miei progetti.

# Sommario

<b>Abstract</b> .....	<b>3</b>
<b>Indice delle figure</b> .....	<b>7</b>
<b>Indice delle tabelle</b> .....	<b>9</b>
<b>Introduzione</b> .....	<b>11</b>
1.1 Definizione e obiettivi del progetto.....	11
1.1.1 <i>Struttura della Tesi</i> .....	11
1.2 Materiali nell'edilizia italiana: impatto ambientale e strategie per la creazione di un database .....	12
1.3 Studi precedenti nella letteratura scientifica .....	14
1.3.1 <i>Material Intensity</i> .....	14
1.3.2 <i>Building Information Modeling (BIM) e metodo Monte Carlo (Monte Carlo Analysis)</i> .....	15
<b>Caso studio: l'edilizia residenziale italiana</b> .....	<b>17</b>
2.1 L'edilizia residenziale pubblica italiana nell'ultimo secolo.....	17
2.2 Le zone climatiche in Italia.....	20
2.3 Definizione degli archetipi edilizi .....	21
<b>Metodo</b> .....	<b>25</b>
3.1 Il flusso di lavoro.....	25
3.2 Raccolta dei dati.....	26
3.2.1 <i>Analisi delle volumetrie degli archetipi edilizi</i> .....	26
3.2.2 <i>Definizione delle tecnologie costruttive</i> .....	31
3.3 Nomenclatura degli elementi costruttivi.....	34
3.3.1 <i>Schema di nomenclatura</i> .....	34
3.3.2 <i>Classificazione Uniclass</i> .....	37
3.3.3 <i>Nomenclatura, classificazione e BIM</i> .....	40
3.4 Gli archetipi costruttivi .....	42
3.4.1 <i>Definizione dei modelli costruttivi</i> .....	42
3.4.2 <i>La variabilità dei modelli</i> .....	52
3.5 <i>Material Intensity</i> .....	60
3.5.1 <i>Calcolo dell'indice</i> .....	60
3.5.2 <i>Definizione delle aree lorde degli archetipi</i> .....	62
<b>Risultati</b> .....	<b>65</b>
4.1 Diagrammi a baffi.....	65
4.1.1 <i>Archetipi in calcestruzzo e mattoni</i> .....	66
4.1.2 <i>Archetipi in legno</i> .....	71
4.2 Confronto dei <i>Material Intensity</i> negli archetipi italiani.....	74
4.3 Percentuali <i>Material Intensity</i> per composizione chimica.....	78
4.4 Unità funzionali per il calcolo MI.....	81
4.5 <i>Material Intensity</i> e classificazione Uniclass .....	83

4.5.1 Valori <i>Material Intensity</i> nei sistemi <i>Uniclass</i> .....	83
4.5.2 Percentuale di <i>Material Intensity</i> nei sistemi <i>Uniclass</i> .....	86
<b>Discussione</b> .....	<b>89</b>
5.1 Confronto dei MI nelle tipologie edilizie.....	89
5.1.1 <i>Material Intensity</i> e dimensioni dell'edificio .....	89
5.1.2 <i>Material Intensity</i> e metodo costruttivo .....	89
5.1.3 <i>Material Intensity</i> e unità funzionali.....	90
5.2 Confronto del Database con altri studi .....	91
5.2.1 <i>Material Intensity</i> in Germania e Giappone .....	91
5.2.2 <i>Material Intensity</i> nella città di Vienna.....	91
5.2.3 <i>Material Intensity</i> nei sistemi di classificazione <i>Uniclass</i> .....	92
5.3 Sviluppi futuri.....	92
<b>Conclusione</b> .....	<b>95</b>
<b>Appendice A: analisi delle volumetrie di riferimento degli archetipi</b> .....	<b>97</b>
<b>Appendice B: abachi degli elementi costruttivi</b> .....	<b>101</b>
8.1 Abaco dei materiali.....	101
8.2 Abaco degli elementi strutturali .....	105
8.3 Abaco delle pareti verticali .....	106
8.4 Abaco degli orizzontamenti .....	114
8.5 Abaco delle coperture .....	118
8.6 Abaco delle finestre .....	120
8.7 Abaco delle porte.....	123
<b>Appendice C: tavole architettoniche degli archetipi costruttivi</b> .....	<b>127</b>
<b>Appendice D: valori di <i>Material Intensity</i> per composizione chimica dei materiali</b> .....	<b>139</b>
<b>Appendice E: istogrammi valori di <i>Material Intensity</i> nei sistemi <i>Uniclass</i></b> .....	<b>143</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>149</b>

## Indice delle figure

FIG. 1 - Concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera negli anni in relazione allo sviluppo industriale (Churkina et al. 2020a).....	12
FIG. 2 - Emissioni e assorbimento di CO2 di 1 tonnellata di cemento, acciaio e legno .....	13
FIG. 3 - Regressione lineare dei dati basati sulla tecnologia costruttiva del tetto (Tahmasebinia et al. 2022) .....	15
FIG. 4 - Sensibilità del carbonio incorporato negli edifici in diversi scenari e combinazioni (Teng and Pan 2020b) .....	16
FIG. 5 - Basso livello di dettaglio di un modello Testfit (TestFit Inc. 2021).....	16
FIG. 6 - Casa a schiera ad un piano (Ina Casa 1953) .....	18
FIG. 7 - Esempi di strutture in cemento armato, estratto del Manuale dell'architetto (Mario Ridolfi 1946) .....	19
FIG. 8 - Torino, quartiere Vallette, 1966 (Sestarete.tv.it 2022) .....	19
FIG. 9 - Gradi giorno e zone climatiche in Italia (Fabio Fantoni 2022).....	21
FIG. 10 - "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana, per l'area climatica media, con illustrazione degli edifici tipo (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014).....	22
FIG. 11 - Schema flusso di lavoro.....	25
FIG. 12 - Stratigrafie minime (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014).....	31
FIG. 13 - Diagramma UML per la nomenclatura degli elementi costruttivi .....	35
FIG. 14 - Concetto di classificazione e relazione tra i membri (British Standards Institution 2015).....	38
FIG. 15 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFH.....	43
FIG. 16 - SFH: piante piano terra e piano primo .....	43
FIG. 17 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFHw.....	44
FIG. 18 - SFHw: piante piano terra e piano primo.....	44
FIG. 19 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDH.....	45
FIG. 20 - SDH: piante piano terra e piano primo .....	45
FIG. 21 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDHw .....	46
FIG. 22 - SDHw: piante piano terra e piano primo.....	46
FIG. 23 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria MRB.....	47
FIG. 24 - MRB: pianta piano tipo.....	47
FIG. 25 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBv .....	48
FIG. 26 - LRBv: pianta piano tipo .....	49
FIG. 27 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBo.....	50
FIG. 28 - LRBo: pianta piano tipo, metà Ovest.....	51
FIG. 29 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in laterocemento .....	53

FIG. 30 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in legno.....	56
FIG. 31 - Legenda del diagramma a baffi .....	65
FIG. 32 - Diagramma a baffi calcestruzzo e mattoni.....	66
FIG. 33 - Diagramma a baffi malta e acciaio di armatura .....	67
FIG. 34 - Diagramma a baffi materiali di substrato .....	68
FIG. 35 - Diagramma a baffi isolanti.....	69
FIG. 36 - Diagramma a baffi materiali di finitura.....	70
FIG. 37 - Diagrammi a baffi materiali strutturali casa in legno.....	71
FIG. 38 - Materiali di substrato casa in legno .....	71
FIG. 39 - Materiali isolanti casa in legno.....	72
FIG. 40 - Diagramma a baffi materiali di finitura casa in legno.....	73
FIG. 41 - a) MCIs negli archetipi italiani per materiali costruttivi principali; b) MICs degli altri materiali utilizzati nelle costruzioni .....	76
FIG. 42 - MIs negli archetipi italiani, valori percentuali .....	77
FIG. 43 - Torta nella torta casa singola.....	79
FIG. 44 - Torta nella torta casa singola in legno .....	80
FIG. 45 - Coefficiente di variabilità percentuale in relazione alle unità funzionali.....	82
FIG. 46 - <i>Material Intensity</i> nei sistemi secondo la classificazione Uniclass, casa singola.....	84
FIG. 47 - <i>Material Intensity</i> nei sistemi secondo la classificazione Uniclass, casa singola in legno.....	85
FIG. 48 - percentuale di materiale all'interno dei sistemi Uniclass per SFH tradizionale.....	86
FIG. 49 - percentuale di mattone strutturale nei sistemi della classificazione Uniclass in SFH tradizionale .....	87
FIG. 50-Percentuale di legno strutturale all'interno dei sistemi Uniclass per SFH in legno.....	87
FIG. 51-Diagrammi torta nella torta per archetipi in laterocemento.....	140
FIG. 52-Diagrammi torta nella torta per archetipi in legno .....	141
FIG. 53-Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass casa bifamiliare.....	144
FIG. 54- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio medio.....	145
FIG. 55- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio orizzontale.....	146
FIG. 56- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio verticale.....	147
FIG. 57- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass casa bifamiliare in legno .....	148

## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Numero di fabbricati residenziali totale annuo e volume v/p totale annuo (ISTAT 2020) .	26
Tabella 2 - Numero di abitazioni totale annuo (ISTAT 2020).....	26
Tabella 3 - Superficie utile abitabile totale annua (ISTAT 2022).....	27
Tabella 4 - Numero di fabbricati residenziali nuovi per numero di abitazioni e relativo volume v/p (ISTAT 2020).....	27
Tabella 5 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2014 al 2018 .....	30
Tabella 6 - Numero di abitazioni e superficie utile totale annui, annata dal 2019 al 2021 (ISTAT 2022) .....	30
Tabella 7 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2019 al 2021 .....	31
Tabella 8 - Valori minimi della trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali espressa in $W/m^2K$ . Appendice A (Consiglio dei Ministri 2005) .....	32
Tabella 9 - Valori convenzionali di resistenza superficiale (British Standards Institution 2017) .....	33
Tabella 10 - Definizione degli spessori stratigrafici delle murature in relazione all'isolante utilizzato....	34
Tabella 11 – Esempi di nomenclatura degli elementi costruttivi.....	36
Tabella 12 - Esempio di classificazione Uniclass di un elemento di un hotel (NBS 2022).....	39
Tabella 13 – Esempio di classificazione Uniclass di un muro esterno.....	39
Tabella 14 - Esempio di classificazione Uniclass dei materiali di un muro esterno .....	40
Tabella 15 - Abaco dei sistemi per edifici in laterocemento.....	41
Tabella 16 - Abaco dei sistemi per edifici in legno .....	41
Tabella 17 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature esterne .....	54
Tabella 18 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature interne.....	54
Tabella 19 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici di interpiano.....	54
Tabella 20 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici contro terra.....	55
Tabella 21 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di finestre .....	55
Tabella 22 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali strutturali esterne.....	57
Tabella 23 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali interne.....	57
Tabella 24 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici di interpiano...	57
Tabella 25 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici contro terra.....	57
Tabella 26 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di finestre.....	58
Tabella 27 - Range di variazione dei parametri geometrici degli archetipi edilizi divisi per categoria....	58

Tabella 28 - Confronto tra le volumetrie ricavate dalle analisi e quelle ricavate dal modello medio di ogni archetipo .....	59
Tabella 29 - Dati di input degli archetipi per il calcolo del <i>Material Intensity</i> .....	63
Tabella 30 - Suddivisione dei materiali in 6 famiglie .....	74
Tabella 31 - Valori di <i>Material Intensity</i> per le 6 classi di materiali nelle tipologie abitative.....	75
Tabella 32 - Incidenza <i>Material Intensity</i> in minerali, materiali organici e metalli nella casa singola in laterocemento.....	78
Tabella 33 - Incidenza <i>Material Intensity</i> in minerali, materiali organici e metalli nella casa singola in legno .....	78
Tabella 34 - Sotto classificazione dei materiali per composizione chimica.....	79
Tabella 35 - Unità funzionali negli archetipi .....	81
Tabella 36 - Range di valori del coefficiente di variabilità % del <i>Material Intensity</i> , confronto tra l'Italia e la città di Toronto. ....	90
Tabella 37 - Confronto dei valori di MI totali tra Italia, Giappone e Germania.....	91
Tabella 38 - Confronto percentuali di MI in Italia e nella città di Vienna.....	92
Tabella 39 - Abaco dei materiali (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2018).....	101
Tabella 40 - Abaco degli elementi strutturati in calcestruzzo.....	105
Tabella 41 - Abaco degli elementi strutturali in legno.....	105
Tabella 42 - Abaco delle murature in laterocemento.....	106
Tabella 43 - Abaco delle pareti in legno.....	111
Tabella 44 - Abaco dei solai in laterocemento.....	114
Tabella 45 - Abaco dei solai in legno .....	116
Tabella 46 - Abaco delle coperture in laterocemento .....	118
Tabella 47 - Abaco delle coperture in legno.....	118
Tabella 48 - Abaco delle finestre.....	120
Tabella 49 - Abaco delle porte .....	123



# Introduzione

## 1.1 Definizione e obiettivi del progetto

Questa ricerca viene sviluppata come un progetto interdisciplinare tra l'ingegneria edile-architettura e l'economia sostenibile dei materiali, ed è il risultato di una collaborazione con il collega Ygor Fasanella. Si propone inoltre come continuazione e ampliamento di un progetto già avviato, durante il loro percorso di tesi, dall'ing. Martina Bianchi e dall'ing. Claudia Sartori sullo studio del laterizio in Italia (Bianchi M. 2020; Sartori C. 2020).

L'obiettivo dello studio è fornire un database affidabile delle quantità dei materiali utilizzati nelle abitazioni esistenti. La realtà di riferimento dello studio è l'edilizia residenziale italiana dell'ultimo decennio. Vengono infatti analizzate le cinque tipologie abitative più diffuse sul territorio italiano, considerando la variabilità dei metodi costruttivi e dei materiali utilizzati al fine di riprodurre un'accurata rappresentazione della realtà in ambiente BIM (*Building Information Modeling*). Un ulteriore obiettivo del progetto racchiude la volontà di relazionare la realtà italiana ad altre realtà internazionali, utilizzando il metodo di classificazione inglese Uniclass per ogni elemento degli edifici. Il database ricavato, oltre ad approfondire la conoscenza sulle costruzioni esistenti, è un punto di partenza per ulteriori analisi sui principali materiali utilizzati nell'edilizia. La presente trattazione fornisce un'analisi delle quantità di materiale tra le diverse tipologie abitative analizzate.

### 1.1.1 Struttura della Tesi

Il primo capitolo contiene la definizione e lo scopo della ricerca, un'analisi preliminare sui materiali nell'edilizia italiana e sul loro impatto ambientale e l'interazione tra l'analisi della quantità dei materiali e l'utilizzo del BIM.

Il secondo capitolo presenta la definizione del caso studio, l'edilizia residenziale italiana nell'ultimo decennio, ripercorrendone l'evoluzione e introducendo le diverse tipologie abitative analizzate.

Il terzo capitolo ripercorre inizialmente la fase di ricerca e analisi di dati per la costruzione dei modelli e prosegue con la descrizione tecnica delle tipologie abitative spiegando il metodo e la strategia utilizzati in questo progetto.

Il capitolo quattro contiene i risultati dello studio che saranno poi analizzati e discussi nel capitolo cinque assieme alla proposta di possibili studi futuri.

La conclusione chiude lo studio.

L'appendice contiene dati aggiuntivi sulle planimetrie dei modelli creati in BIM. Viene inoltre allegato un fascicolo contenente parte dei dati ricavati in questo studio (per il database completo si rimanda ai files digitali).

## 1.2 Materiali nell'edilizia italiana: impatto ambientale e strategie per la creazione di un database

Alcuni studi recenti affermano che la popolazione mondiale crescerà fino a raggiungere 9,3 miliardi di persone entro il 2050 (Churkina et al. 2020a). Questo fenomeno porterà conseguenze fondamentali nel settore dell'edilizia: la crescita della domanda di abitazioni, infatti, sarà un fattore direttamente proporzionale ad esso. Già ad oggi il settore delle costruzioni risulta essere il primo consumatore di materiali con un utilizzo stimato pari a quasi il 50% (Hertwich et al. 2019). Uno dei materiali più utilizzati nell'edilizia è il calcestruzzo armato: il 95% dei minerali estratti (Hertwich et al. 2019), infatti, è destinato a questo fine. In questi termini si evidenzia un uso elevato di risorse naturali, discostandosi da comportamenti tipicamente ecosostenibili.

L'accordo di Parigi, stipulato dalle Nazioni Unite nel 2015, pone importanti obiettivi in questo ambito andando a correlare la crescita della popolazione con la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera. Entro il 2030 si punta a ridurre almeno del 55% le emissioni di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990, ed entro il 2050 l'Europa si impegna a diventare la prima economia e società ad impatto climatico zero. Questi due aspetti, apparentemente discordanti, trovano il punto di incontro proprio nel settore edilizio: l'utilizzo di materiali ecosostenibili come il legno, non solo riduce le emissioni di gas serra durante il suo ciclo produttivo, ma è addirittura capace di ridurre la quantità di anidride carbonica già presente nell'atmosfera grazie alle sue proprietà di assorbimento. Alcuni studi evidenziano i vantaggi a livello ambientali nell'uso del legno come materiale da costruzione al posto del calcestruzzo armato e dell'acciaio. Il legno è un materiale bio-based (Churkina et al. 2020a), ovvero un materiale capace di assorbire l'anidride carbonica immagazzinando al suo interno le molecole di carbonio e rilasciando nell'ambiente quelle di ossigeno liberato. L'andamento della concentrazione di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera nel corso degli anni in relazione allo sviluppo industriale è rappresentato nei tre pannelli in FIG. 1.

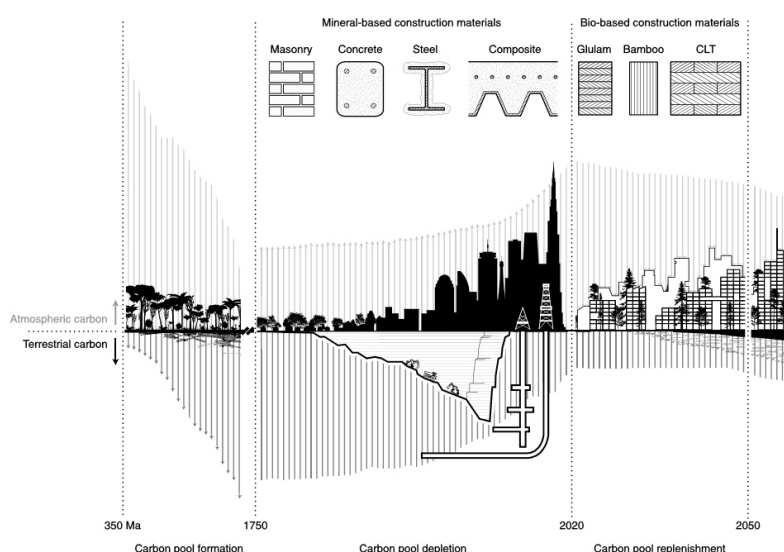


FIG. 1 - Concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera negli anni in relazione allo sviluppo industriale (Churkina et al. 2020a)

Il primo pannello rappresenta il periodo carbonifero, determinato dalla presenza al suolo di molte piante di grandi dimensioni capaci di trasferire in maniera naturale l'anidride carbonica dell'atmosfera al terreno. Il secondo pannello fa riferimento al periodo dagli anni della rivoluzione industriale fino al presente durante il quale si è maggiormente sviluppato l'utilizzo dei materiali da costruzione tradizionali come il calcestruzzo, l'acciaio e il laterizio. Qui si può notare come la presenza di anidride carbonica nell'atmosfera sia in aumento rispetto all'assorbimento del terreno. Il terzo e ultimo pannello raffigura una prospettiva di risultati che si potrebbero ottenere rispettando gli obiettivi prefissati dall'accordo di Parigi grazie all'utilizzo di materiali ecosostenibili.

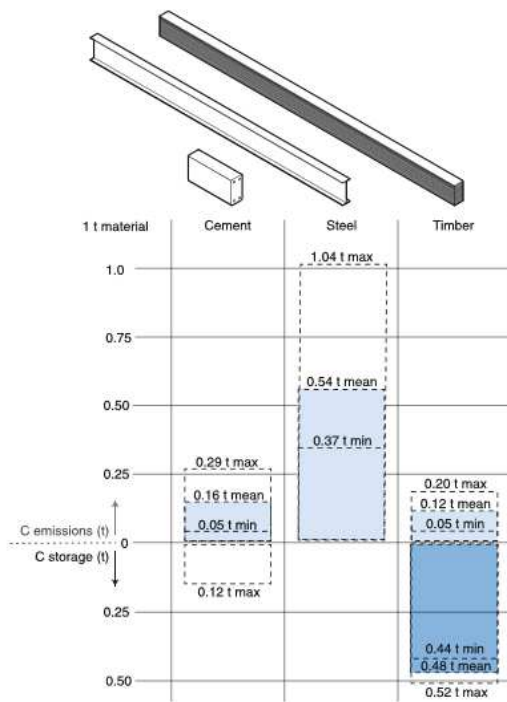


FIG. 2 - Emissioni e assorbimento di CO<sub>2</sub> di 1 tonnellata di cemento, acciaio e legno

Questo studio, inoltre, mette a confronto le capacità di assorbire l'anidride carbonica di legno, cemento (principale costituente del calcestruzzo) e acciaio (FIG. 2). Per produrre 1 tonnellata di cemento si disperdono nell'ambiente 0,29 t di CO<sub>2</sub>, la quale tuttavia viene poi riassorbita, in parte, dal materiale stesso per un massimo di 0,12 t. La produzione dell'acciaio disperde 1,04 t nette, in quanto questo materiale non ha potere di assorbimento. Il legno risulta essere il materiale più ecosostenibile sotto questo punto di vista: la sua produzione infatti costa all'ambiente un'emissione massima di 0,20 t, nello stesso ordine di grandezza del calcestruzzo, ma presenta un assorbimento quasi cinque volte superiore, pari a 0,52 t (Churkina et al. 2020a).

L'interdisciplinarietà di questa tesi si affianca al concetto di sostenibilità nelle sue tre derivazioni del termine: ambientale, sociale ed economica. Inoltre, il concetto di sostenibilità si lega a quello di economia circolare nel senso di uso e riuso delle materie prime. A questo fine si cerca di

utilizzare in maniera efficiente il materiale presente negli edifici e nelle infrastrutture. Utilizzare in maniera efficiente le risorse, scegliere di usare materiali più leggeri oppure sostituire il calcestruzzo armato con il legno porta alla conseguente riduzione di anidride carbonica nell'atmosfera (Hertwich et al. 2019). In questo senso si parla anche di *miniere urbane (urban mining)*: le città infatti sono potenziali fonti di estrazione di materiali da poter essere riutilizzati nell'ottica di un'economia circolare (Marinova et al. 2020a).

Tutti questi ragionamenti tuttavia si fondano sulla conoscenza della quantità di materiale utilizzato presente sul territorio. La definizione di *magazzino urbano (urban stock)* è fondamentale a questo punto: esso rappresenta la quantità di materiale presente in una determinata città o Paese e rappresenta il punto di partenza per conoscere le risorse del territorio e di conseguenza migliorarne la loro gestione. Il calcolo dell'*urban stock* è determinato attraverso il fattore di *Material Intensity* che permette di definire la quantità di un certo materiale per superficie di edificio (Tanikawa and Hashimoto 2009). Proprio per questo

motivo si comprende l'importanza di avere a disposizione un database aggiornato e completo di tutti i materiali utilizzati nell'edilizia, così da poter delineare con precisione i fattori sopra indicati.

Il *Building Information Modeling* è la metodologia a supporto del processo edilizio, ormai affermata, per la modellazione di edifici e infrastrutture, che permette l'integrazione del modello con una multidisciplinarietà di informazioni utili relative a qualsiasi aspetto di un edificio. È facile comprendere come questa metodologia debba essere alla base di questa ricerca e di ogni progetto edilizio con l'obiettivo di una raccolta di dati sui materiali utilizzati (Cheng and Ma 2013). In questa trattazione il BIM viene affiancato dal metodo Monte Carlo nella realizzazione di una simulazione della realtà: partendo da una serie di archetipi di edifici si vuole raccogliere da ognuno di essi la quantità di materiale utilizzata al fine di crearne un database quanto più vicino alla condizione reale.

## 1.3 Studi precedenti nella letteratura scientifica

### 1.3.1 Material Intensity

Il calcolo del *Material Intensity*<sup>1</sup> è un campo di ricerca piuttosto recente, sono pochi infatti i database nella letteratura scientifica che posso essere caratterizzati come completi e specifici. Ad oggi solamente Giappone, Germania, Svezia e Belgio dispongono di un proprio database di questi indici a livello nazionale (Yang et al. 2020a). La ricerca in questo campo risulta tuttavia ancora fervida e in crescita. Primi passi sono stati fatti nell'ottica opensource con la creazione di database, per l'appunto aperti a tutti, che possono essere ampliati con nuovi dati ricavati da ricerche (Heeren and Fishman 2019). Nel caso particolare della Germania, tuttavia, si evidenzia una discrepanza tra i valori calcolati empiricamente e quelli riportati nel database in riferimento ai complessi residenziali si nota la mancanza di dati statistici in grado di rappresentare in maniera adeguata e precisa questa tipologia abitativa (Ortlepp, Gruhler, and Schiller 2018a). Un altro esempio di utilizzo degli indici del *Material Intensity* nel calcolo del *material stock* negli edifici è stato realizzato per la città di Vienna: in questo caso sono disponibili dati specifici sui materiali ricavati da un'analisi a scala urbana sugli edifici esistenti unendo i dati dei sistemi informativi geografici (GIS) da varie autorità comunali (Kleemann et al. 2017a).

Un altro dei limiti principali evidenziato da alcuni studi sull'indice di intensità dei materiali è la difficoltà nel trasferire i valori tra diverse realtà internazionali, a causa delle diverse unità di misura utilizzate nelle ricerche (Schiller et al. 2019a). Nello studio del database svedese (Gontia et al. 2018a) si evidenzia inoltre la difficoltà nel confronto dei *Material Intensity* a causa della diversità di tecnologie costruttive utilizzate nei paesi, anche all'interno della stessa Nazione. Per questo propongono la possibilità di un confronto degli indici solo all'interno di regioni climatiche e culturali simili tra loro.

Tra tutti i vari studi, il *Material Intensity* risulta sempre essere un valore statico, anche per questo quindi difficile da paragonare. Nella realtà cinese è stato condotto uno studio sugli edifici dal 1949 fino al 2015

---

<sup>1</sup> Si utilizza il termine inglese per facilità di comprensione rispetto agli studi in letteratura. Nel seguito ci si potrà riferire al *Material Intensity* con la sigla MI

(Yang et al. 2020a) analizzandone i materiali e calcolando gli indici di intensità dei materiali: ciò che si è evinto è che per poter produrre risultati precisi e attinenti alla realtà è necessario un continuo aggiornamento del database per le nuove costruzioni. Questo sottolinea un altro fattore importante nel calcolo di questi indici, ossia il tempo storico. Affinché i risultati possano essere attendibili, i database da cui traggono le informazioni devono essere costantemente aggiornati con i dati relativi alle nuove edificazioni.

Un'altra questione da affrontare, che spesso porta a confusione e genera dei limiti negli studi, è l'eterogeneità utilizzata nei database esistenti nella definizione dei materiali e delle tecnologie costruttive utilizzate. La soluzione migliore al fine di ovviare a questo problema è quella di utilizzare un linguaggio comune e condiviso all'interno di ogni database (Guven et al. 2022a). Il database di riferimento per avere un'univocità di informazioni potrebbe essere generato da specifiche regole all'interno della metodologia BIM, e in particolare il formato interoperabile IFC. (Miatto et al. 2022)

### 1.3.2 Building Information Modeling (BIM) e metodo Monte Carlo (*Monte Carlo Analysis*)

La letteratura scientifica negli ambiti del Building Information Modeling e del metodo Monte Carlo, se presi singolarmente, risulta ricca, tuttavia la combinazione di essi porta a risultati scarni. Se considerati poi nell'ambito dell'economia circolare, nella creazione di database di materiali o nel calcolo degli indici di intensità dei materiali risulta davvero difficile trovare studi correlati.

Nel mondo delle costruzioni la maggior parte degli studi che utilizzano il metodo Monte Carlo sono realizzati per calcoli previsionali in fase pre-progettuale, oppure nell'analisi di dati ricavati da un numero limitato di strutture esistenti. La previsione delle prestazioni energetiche di un edificio, ad esempio, gioca un ruolo significativo nella progettazione dello stesso, tuttavia, la complessità delle caratteristiche costruttive inficia sulla precisione della previsione. In alcuni studi si parte dalla definizione iniziale di

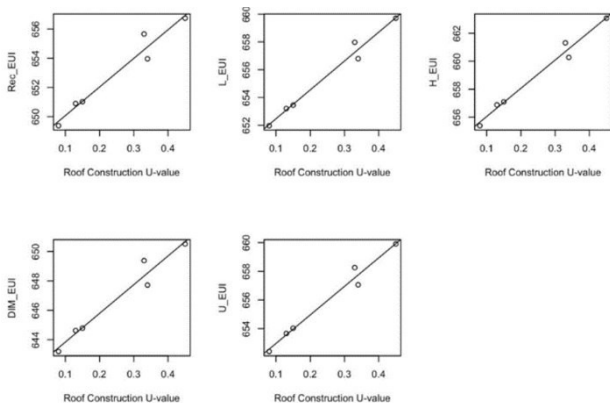


FIG. 3 - Regressione lineare dei dati basati sulla tecnologia costruttiva del tetto (Tahmasebinia et al. 2022)

alcuni parametri (come ad esempio l'area dell'edificio, l'altezza interpiano, le tecnologie costruttive ecc..) e, al loro variare, viene calcolato il relativo consumo energetico di quel singolo caso. Grazie al metodo Monte Carlo poi non è necessario analizzare ogni caso possibile, in quanto interpolando i risultati di un limitato numero di essi è possibile ottenere previsioni affidabili rispetto alla loro totalità. In FIG. 3 si nota che analizzando solo sei casi si è potuta ricavare una regressione lineare che fosse rappresentativa del caso medio (Tahmasebinia et al. 2022). Senza aver prima definito gli interventi da

eseguire, anche la stima dei costi di costruzione, in particolare quelli di riqualificazione energetica, non è semplice. La mancanza di comprensione della variazione dei costi e l'ambiguità delle pratiche ottimali ha impedito l'adozione di pratiche di retrofit energetico a livello globale. Per rispondere a tali lacune di conoscenze, è stato condotto uno studio comparativo sui progetti di riqualificazione energetica di alcuni

edifici residenziali in Finlandia e negli Stati Uniti. Con l'utilizzo del metodo Monte Carlo sono stati determinati coefficienti di variazione per i costi di costruzione grazie ai quali è stato possibile comprendere meglio le potenziali ragioni alla base delle variazioni (Hu et al. 2022).

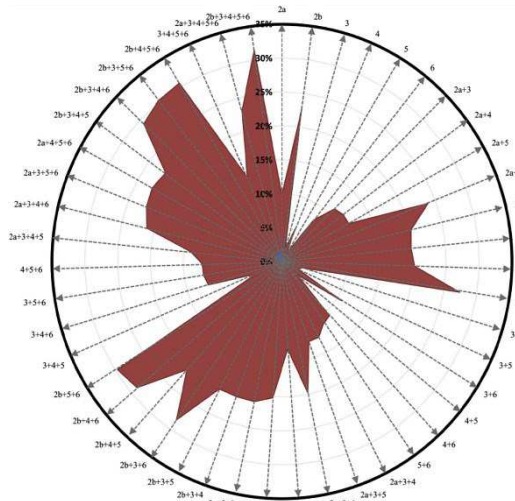


FIG. 4 - Sensibilità del carbonio incorporato negli edifici in diversi scenari e combinazioni (Teng and Pan 2020b)

Uno studio concettualmente simile a quello che viene proposto in questa tesi utilizza il metodo Monte Carlo nell'analisi della quantità di carbonio all'interno dell'acciaio da costruzione di un tipico grattacielo prefabbricato ad Hong Kong (Teng and Pan 2020a): quest'ultimo utilizza una strategia di scelta semi-casuale delle variabilità delle caratteristiche dimensionali e costruttive per la realizzazione di sette scenari, dei quali poi vengono calcolate le volumetrie del materiale richiesto. In FIG. 4 viene riportato un grafico che analizza la quantità di carbonio presente negli edifici in relazione allo scenario scelto corrispondente. Questo studio tuttavia manca dell'integrazione con la tecnologia BIM per il calcolo e l'estrazione automatici dei dati.

Un'ulteriore considerazione deve essere fatta sui software che utilizzano un algoritmo di tipo Testfit (TestFit Inc. 2021). Questi permettono la creazione di un modello architettonico, basandosi sulle preferenze inserite dall'utente, e l'esportazione di informazioni, quali quantità di materiali, costi di progetto, volumetrie dei locali e altri, in pochi minuti. È possibile inoltre generare un'anteprima dell'organizzazione planimetrica di un intero quartiere analizzando tutte le possibili configurazioni secondo le proprie esigenze al fine di utilizzarla come punto di partenza del progetto vero e proprio.

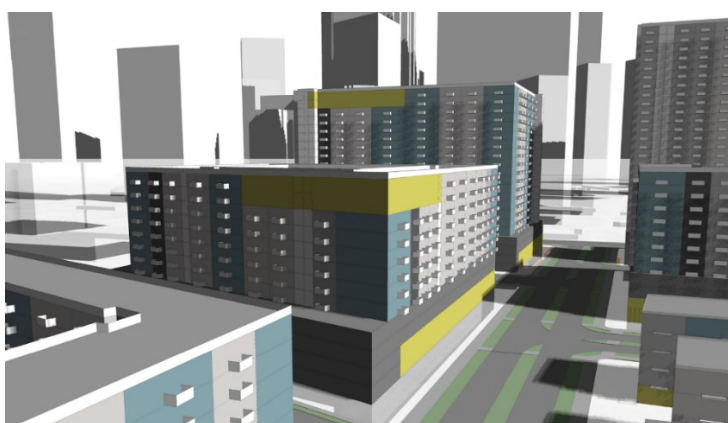


FIG. 5 - Basso livello di dettaglio di un modello Testfit (TestFit Inc. 2021)

Tuttavia si tratta di algoritmi finalizzati ad una fase preliminare del progetto per aiutare progettisti e committenti nelle scelte progettuali iniziali, non dispongono quindi del livello di dettaglio (FIG. 5) e precisione delle informazioni forniti da un modello BIM completo.

Un altro esempio di software che utilizza l'AI è Finch3D (Finch 2022). Questo programma, a differenza dei precedenti, lavora a livello architettonico sulla disposizione planimetrica dei locali, e del loro arredamento, che compongono gli edifici, ne analizza tutti i possibili casi e produce grafici per confrontare le potenzialità di ciascuno. Per le finalità di questa ricerca Finch3D sarebbe stato uno strumento certamente utile, tuttavia non è stato possibile acquisire la disponibilità del software, vincolata dai produttori stessi attraverso una richiesta di accesso molto restrittiva.

## Caso studio: l'edilizia residenziale italiana

Nel seguente capitolo vengono definiti gli ambiti della ricerca. Lo studio si focalizza sull'ambito residenziale italiano, considerando i metodi costruttivi tipici della zona climatica media per definire degli archetipi costruttivi con la volumetria tipica dell'abitazione residenziale italiana. Nella trattazione si parte dallo studio dell'edilizia residenziale pubblica in quanto l'impatto che questa ha avuto, nel secondo dopoguerra, sulla tradizione architettonica italiana ha segnato permanentemente la cultura di progettazione contemporanea. Al giorno d'oggi, infatti, le nuove costruzioni di edilizia pubblica sono notevolmente diminuite rispetto a quegli anni, ma la metodologia di costruzione degli edifici ad uso residenziale, anche privato, risente fortemente della sua influenza. Al fine di ricavare i modelli medi degli edifici residenziali italiani progettati nell'ultimo decennio è doveroso prima studiare il processo storico che ha portato alla definizione delle loro caratteristiche progettuali.

### 2.1 L'edilizia residenziale pubblica italiana nell'ultimo secolo

*“Sono considerati alloggi di edilizia residenziale pubblica gli alloggi costruiti o da costruirsi da parte di enti pubblici a totale carico o con il concorso o con il contributo dello Stato”.*

La definizione di Edilizia Residenziale Pubblica (E.R.P.) data dal Decreto del Presidente della Repubblica n. 1035 – 30 dicembre 1972, è il punto di partenza per delineare gli archetipi di edifici utilizzati in questo studio. Gli interventi di edilizia residenziale pubblica in Italia hanno delineato l'idea della *“città pubblica”* (Frate Maria Carmela 2017a). Gli edifici progettati a questo fine, infatti, sono diventati, ad oggi, tipici della realtà edilizia italiana (Frate Maria Carmela 2017a).

Per maggiore chiarezza di seguito vengono riportate le definizioni utili per delineare gli ambienti abitativi relativi al tema della residenza.

- Si definisce alloggio il *“luogo dove si alloggia; abitazione, dimora abituale o temporanea”* (Enciclopedia Treccani 2022c)
- Si definisce complesso residenziale il *“complesso di edifici di abitazione formanti un gruppo omogeneo per caratteristiche di comfort e architettoniche, spesso fornito di attrezzature sportive, e spazi verdi propri”* (Enciclopedia Treccani 2022)
- Si definisce condominio *“istituto giuridico per cui più soggetti, accanto alla proprietà spettante singolarmente a ciascuno sul proprio piano o sulla propria porzione di piano, hanno la comproprietà su alcune parti comuni dell'edificio, quali il suolo, le fondamenta, i muri maestri, i tetti, le scale, i cortili, i locali per la portineria”* (Enciclopedia Treccani 2022)



Ripercorrendo le vicende storiche dell'edilizia pubblica italiana dell'ultimo secolo, superata la fase dei villaggi operai nati tra il 1850 e il 1900, il primo evento degno di nota è la Legge Luzzati del 1903. Questa legge istituiva ai Comuni la facoltà di costruire alloggi per i più bisognosi, delegando allo Stato la disciplina della concessione di prestiti finanziari, mentre ad istituti autonomi la gestione della costruzione. In questa realtà si inserisce il periodo di forte devastazione portato dalle due Guerre Mondiali che causano la completa distruzione di 190.000 alloggi e il danneggiamento di altri 5 milioni (Fratale Maria Carmela 2017a).

È interessante a questo punto sottolineare la ripartizione cronologica delle tre ondate della domanda edilizia italiana che caratterizzano la seconda metà del XX secolo (Sinopoli Nicola and Tatano Valeria 2016):

- *Domanda quantitativa*, fine anni '40 – inizio anni '70: ricostruzione post-bellica a livello emergenziale;
- *Domanda qualitativa*, metà anni '70 – fine anni '80: crisi energetica, attuazione delle Regioni a statuto ordinario, istituzione dei primi piani organici di edilizia economica e popolare (Peep);
- *Domanda sostenibile*, fine anni '80 – metà anni '90: coniugazione di ambiente e sviluppo e calo della crescita urbana.

Durante questo mezzo secolo il territorio vede la creazione di comparti sia costruiti in maniera omogenea ed unitaria per tipologia abitativa, sia eterogenei: l'intimità della casa singola e bifamiliare si contrappongono a sperimentazioni architettoniche come il condominio, soluzione invece capace di soddisfare la previsione di spazi e funzioni comuni.

Il 1949 è stato un anno di svolta per l'edilizia italiana. Vengono infatti istituiti due importanti enti, il Genio Civile e Ina Casa, e vengono redatti il Piano Fanfani e la Legge Tupini. Si attiva così un sistema di intervento per la costruzione di case per lavoratori, basato su un finanziamento che coinvolge i lavoratori dipendenti, i datori di lavoro e lo Stato, con un programma istituito su due cicli settennali. L'ufficio Architettura, istituito all'interno dell'ente Ina Casa, redasse nel primo settennio (1949-1956) due fascicoli tecnici per definire le linee operative omogenee e unitarie per la costruzione degli alloggi. Il primo fascicolo, intitolato "Suggerimenti, norme e schemi per l'elaborazione e presentazione dei progetti. Bandi dei concorsi", conteneva i criteri architettonici circa le dimensioni degli alloggi: superficie minima pari a 30, 45, 60, 75 o 90 mq (al netto di

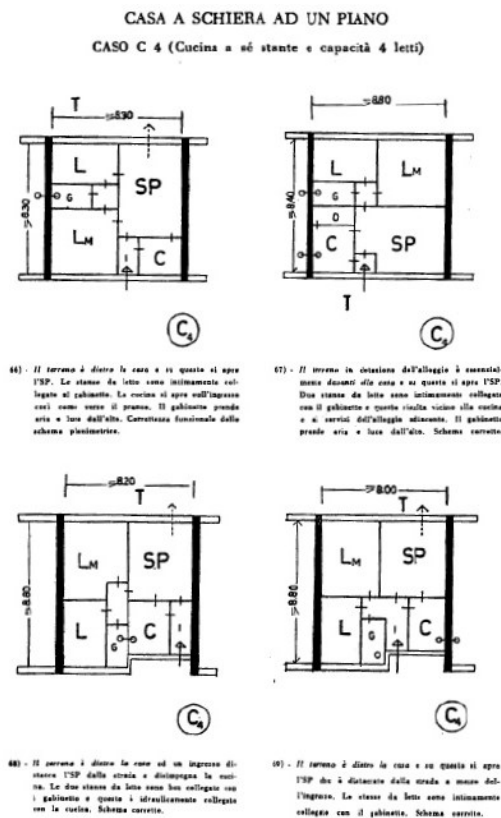


FIG. 6 - Casa a schiera ad un piano (Ina Casa 1953)



muri, tramezze, logge e balconi) rispettivamente per abitazioni con 1, 2, 3, 4, o 5 vani utili i cui schemi distributivi spesso privilegiavano la separazione fra zona giorno e zona notte (Frate Maria Carmela 2017). La maggior parte di questi alloggi era composta da un soggiorno sul quale si affacciavano la cucina e la sala da pranzo, due stanze per le camere da letto e un piccolo spazio di servizio esterno come logge o balconi, per un totale compreso tra i 50 e i 60 mq. Nel fascicolo vengono anche definite per la prima volta alcune tipologie aggregative per le abitazioni: casa multipiano in linea isolata o in linea continua e casa a schiera ad uno (FIG. 6) o due piani. Tra gli architetti che operano in questo campo ricordiamo Mario Ridolfi, il quale definisce nel Manuale dell'architetto il metodo costruttivo tradizionale con telaio in calcestruzzo e tamponamento in laterizio (Mario Ridolfi 1946).

Durante il secondo settennio di lavoro di Ina Casa (1956-1963) iniziarono ad essere costruiti complessi edilizi di grandi dimensioni, sia in linea che a torre. Nel primo caso il modulo tipologico della casa multipiano in linea viene replicato per formare blocchi edilizi più estesi, con un numero di appartamenti per piano che può arrivare fino alle 20 unità e un'altezza superiore ai quattro piani, rendendo necessaria l'installazione di un ascensore per ogni vano scala. Nel secondo caso, invece, gli edifici sono più alti e, essendo più liberi su tutti i lati, godono di ampie visuali, il cui godimento è spesso apprezzabile grazie alla realizzazione di balconi. Gli appartamenti vengono aggregati tipicamente 4 o 5 per piano, planimetricamente attorno al corpo delle scale, e sovrapposti fino a formare edifici tra i 6 e i 14 piani di altezza. Anche in questo caso è prevista la dotazione di un ascensore.

Durante gli anni degli interventi gestiti dall'ente GESCAL (Gestione Case Lavoratori), dal 1963 al 1971, si dà molto impulso all'utilizzo delle tipologie del condominio in linea o verticale rispetto alla casa a

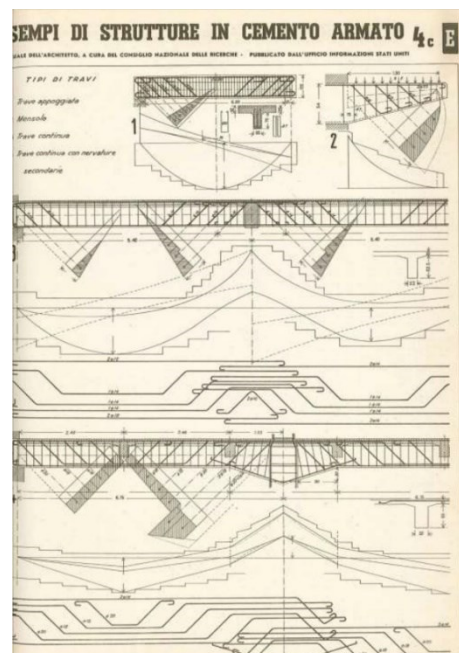


FIG. 7 - Esempi di strutture in cemento armato, estratto del Manuale dell'architetto (Mario Ridolfi 1946)



FIG. 8 - Torino, quartiere Vallette, 1966 (Sestarete.tv.it 2022)

schiera, in quanto questi garantiscono un numero più elevato di appartamenti con un minore utilizzo di territorio, come ad esempio nel quartiere Vallette a Torino (FIG. 8). Inoltre vengono implementate e sviluppate tecniche di costruzione con elementi prefabbricati, capaci di abbattere i costi (Frate Maria Carmela 2017).

Nei 30 anni successivi il concetto di edilizia residenziale pubblica muta notevolmente. Inizialmente la volontà di continuare nel percorso di regolamentazione a livello nazionale era predominante, con l'inserimento di numerose leggi e riforme finalizzate alla disciplina di questo settore. Con l'avvento del nuovo millennio, tuttavia, l'approvazione del Decreto Legge 112/1998 e successivamente la Legge 21/2001 conferiscono alle Regioni il pieno potere in materia di regolamentazione dell'E.R.P.. Questo porta alla fine del tentativo di uniformare i fabbricati a livello nazionale sotto il punto di vista della programmazione, del finanziamento e dei livelli prestazionali, portando a discrepanze in base all'area geografica. Tuttavia i decenni precedenti hanno causato un'influenza molto forte sulla storia architettonica del Paese creando una base solida che non ha permesso una vera e propria rivoluzione dal punto di vista progettuale, nonostante la maggiore variabilità costruttiva generatasi, dovuta sia alla nuova regolamentazione sia al normale processo evolutivo tecnologico.

## 2.2 Le zone climatiche in Italia

Le tipologie edilizie nazionali sono raccolte in sei zone climatiche secondo il Decreto del Presidente della Repubblica 412/1993 (Consiglio dei Ministri 1993). La suddivisione di queste zone climatiche si basa sulla definizione del concetto di gradi-giorno (GG). Questo valore viene calcolato attraverso la differenza tra la temperatura di 20 °C che si ha in casa di norma e la temperatura esterna per tutto il periodo invernale. Viene considerata solamente la differenza di temperatura positiva, tralasciando i valori negativi. Un basso valore di GG indica che la zona è più calda, cioè che quindi la temperatura esterna media si avvicina ai 20 °C di quella interna, mentre le aree con un valore di GG più alto sono caratterizzate da climi più rigidi.

Il territorio nazionale è suddiviso nelle seguenti sei zone climatiche in funzione dei gradi-giorno, indipendentemente dall'ubicazione geografica:

- Zona A: comuni che presentano un numero di gradi-giorno non superiore a 600;
- Zona B: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 600 e non superiore a 900;
- Zona C: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1.400;
- Zona D: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 1.400 e non superiore a 2.100;
- Zona E: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 2.100 e non superiore a 3.000;
- Zona F: comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 3.000.

In questi termini si identifica l'area climatica media coincidente con la zona "E", l'area climatica alpina con la zona "F" e le aree climatiche mediterranee costiere con le zone "A", "B", "C" e "D". La visione d'insieme del territorio italiano e della suddivisione in zone climatiche è apprezzabile in FIG. 9. Come si può notare dall'immagine e dalle tabelle sui gradi-giorno, la zona climatica maggiormente presente in

Italia è proprio la zona “E”, che comprende il 52% dei Comuni italiani. Per questo motivo gli studi effettuati in questa ricerca si configurano in questa zona climatica.

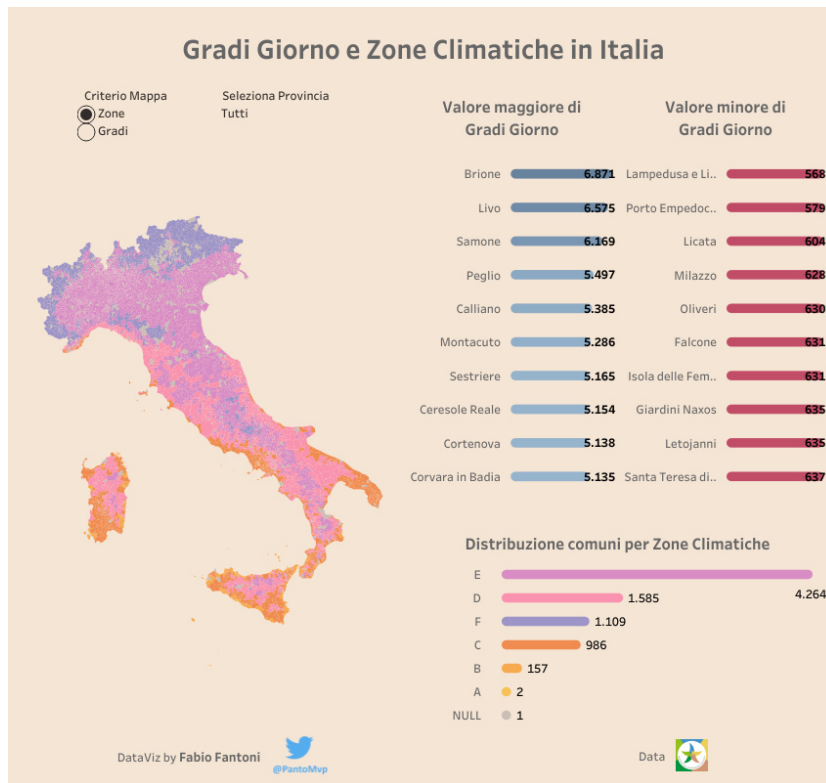


FIG. 9 - Gradi giorno e zone climatiche in Italia (Fabio Fantoni 2022)

### 2.3 Definizione degli archetipi edilizi

La rappresentazione delle tipologie italiane a seconda delle zone climatiche è ben fornita dal progetto TABULA (Typology Approach for Building Stock Energy Assessment), una ricerca a livello europeo che coinvolge 13 Paesi, tra cui l'Italia (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014). Questo progetto si prodiga di catalogare gli edifici residenziali italiani per tipologia abitativa, zona climatica e periodo storico di costruzione; fornisce inoltre uno studio sulle tecnologie costruttive utilizzate, al fine di condurre anche un'indagine delle prestazioni energetiche.

La definizione delle tipologie edilizie si basa sulla costruzione della *Matrice della Tipologia Edilizia* (FIG. 10) definita in ambito italiano per l'area climatica media. Questa matrice è stata costruita utilizzando l'incrocio di due approcci differenti: il primo “Real Average Building” (ReAv) utilizza i dati statistici delle abitazioni, il secondo “Real Example Building” (ReEx) si basa sulla definizione dell'edificio in base all'esperienza. Questi due approcci vengono utilizzati per determinare l'area di appartamenti ed edifici nel primo caso e planimetria, forma geometrica e disposizione dei corpi di fabbrica nel secondo.

La rappresentazione del panorama edilizio italiano è inoltre definita dal periodo storico di costruzione dell'edificio, suddividendolo in 8 classi (la più recente per edifici costruiti dal 2005 al 2012, anno di redazione del progetto Tabula).

Le tipologie evidenziate da questo progetto sono:

- *Casa monofamiliare*: unità immobiliare unica su uno o due piani, di tipo isolato;
- *Casa a schiera*: unità immobiliare unica su uno o due piani, confinante con altre unità abitative della stessa tipologia;
- *Casa multifamiliare*: fabbricato composto da più unità abitative disposte su 3 o 4 piani e non superiori ad un totale di 20;
- *Blocco di appartamenti*: fabbricato composto da almeno 20 unità abitative disposte su più di 4 piani.

**CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA**














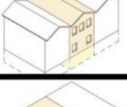


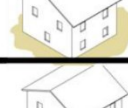
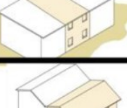


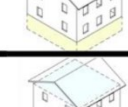
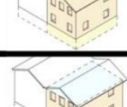


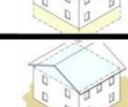
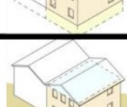


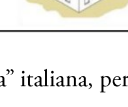
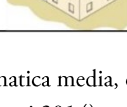
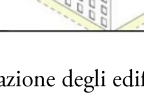
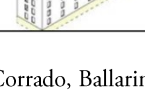
<i>Area climatica media</i>		<b>CASE MONOFAMILIARI</b>	<b>CASE A SCHIERA</b>	<b>EDIFICI MULTIFAMILIARI</b>	<b>BLOCCHI DI APPARTAMENTI</b>
<b>CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE</b>	<b>1 Fino al 1900</b>				
	<b>2 1901-1920</b>				
	<b>3 1921-1945</b>				
	<b>4 1946-1960</b>				
	<b>5 1961-1975</b>				
	<b>6 1976-1990</b>				
	<b>7 1991-2005</b>				
	<b>8 Dopo il 2005</b>				

FIG. 10 - "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana, per l'area climatica media, con illustrazione degli edifici tipo (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014)

Il risultato del progetto Tabula è uno studio sul fabbisogno energetico degli edifici-tipo fino al 2005 a seguito di due tipologie differenti di riqualificazioni energetiche: standard ed avanzata. Si confronta il caso base con i due casi analizzati: viene effettuato rispetto ai fabbisogni annuali netti di energia termica

per il riscaldamento degli edifici tipo. Si evince come con l'intervento di riqualificazione standard si determina una riduzione di energia negli edifici di classe 7 pari al 44% contro l'83% per le classi di epoca di costruzione da 1 a 3. L'intervento di riqualificazione avanzata, invece, determina una riduzione del fabbisogno di energia che varia dall'84% all'89% rispetto al caso base.

Le analisi del progetto Tabula sono state utilizzate in questa tesi come punto di partenza per la definizione degli archetipi di edifici e delle tecnologie costruttive considerate. Sono stati integrati e aggiornati con dati statistici più recenti e ricerche sulle nuove tecnologie, in particolare riferendosi alle annate dal 2014 al 2021. Queste saranno illustrate nel capitolo 3.2 Raccolta dei dati



## Metodo

La ricerca è finalizzata a produrre un dataset estimativo delle volumetrie dei materiali presenti negli edifici dell'edilizia residenziale italiana, attraverso l'ausilio del Building Information Modeling, al fine di produrre un'analisi di *Material Intensity* sui dati ricavati.

### 3.1 Il flusso di lavoro

Il metodo utilizzato in questo studio viene schematizzato in FIG. 11. Si evidenziano tre fasi: la fase iniziale di raccolta dati basata su database statistici e norme legislative del panorama italiano; la seconda fase dove vengono realizzati i modelli BIM degli archetipi edilizi italiani tipici, con l'integrazione della variabilità costruttiva e geometrica, redatti con i requisiti informativi della classificazione Uniclass e di altri dati di input come la densità dei materiali; ed infine l'ultima fase di raccolta ed analisi dei dati esportati dai modelli al fine del calcolo e del confronto degli indici della *Material Intensity*. I singoli processi verranno illustrati nel dettaglio nei seguenti capitoli <sup>2</sup>.

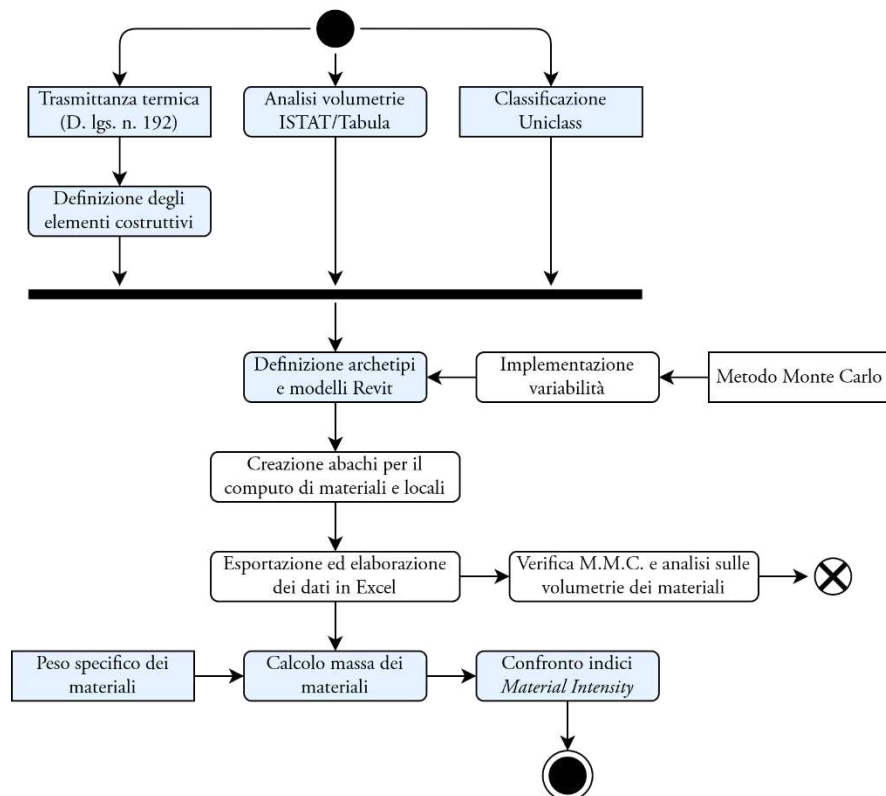


FIG. 11 - Schema flusso di lavoro

<sup>2</sup> È opportuno sottolineare che solamente i processi evidenziati in azzurro saranno descritti in questo singolo trattato in quanto l'intero lavoro è frutto di una stretta e continua collaborazione con il collega Ygor Fasanella. Per la completa comprensione del lavoro, in particolare per quanto riguarda le ultime fasi del metodo, si rimanda all'elaborato di tesi del collega.



## 3.2 Raccolta dei dati

### 3.2.1 Analisi delle volumetrie degli archetipi edilizi

La prima analisi condotta per poter definire la geometria degli archetipi edilizi è stata quella relativa alle volumetrie di ciascuno di essi. La fonte primaria utilizzata in questa fase è il database fornito dall'Istituto Nazionale di Statistica (ISTAT), essendo il più recente e rappresentativo del territorio italiano. I dati per le annate dal 2014 al 2018 sono stati ricavati dal portale web (ISTAT 2022) e incrociati con quelli ricavati dall'annuario statistico italiano al capitolo 18 "Costruzioni" (ISTAT 2020). Per le annate dal 2019 al 2021 invece, non disponendo del dettaglio fornito dall'annuario statistico sulle singole abitazioni, sono stati utilizzati i dati totali ricavati esclusivamente dal portale web dell'ISTAT. Partendo da analisi statistiche sui dati delle annate precedenti sono state condotte delle stime al fine di calcolare anche per il periodo più recente le volumetrie delle singole abitazioni. Così facendo viene dato seguito al trend statistico in riferimento alle annate precedenti.

Di seguito si riportano un estratto delle tabelle dell'ISTAT contenenti i dati disponibili per le annate 2014-2018.

In Tabella 1 sono riportati il numero totale di fabbricati residenziali costruiti nell'anno corrispondente e il totale della somma delle volumetrie vuoto per pieno di ciascuno di essi.

Tabella 1 - Numero di fabbricati residenziali totale annuo e volume v/p totale annuo (ISTAT 2020)

Anno	Numero fabbricati residenziali totale annuo	Volume v/p totale annuo [m <sup>3</sup> ]
2014	16.947	21.022.000
2015	15.737	19.233.000
2016	16.225	20.134.000
2017	17.243	22.665.000
2018	17.794	23.724.000

In Tabella 2 è riportato il numero totale di nuove abitazioni realizzate nell'anno corrispondente. Il numero di abitazioni è ovviamente superiore a quello dei fabbricati, in quanto in un fabbricato possono essere presenti più abitazioni (ad esempio di un condominio sono presenti più appartamenti).

Tabella 2 - Numero di abitazioni totale annuo (ISTAT 2020)

Anno	Numero abitazioni totale annuo
2014	46.796
2015	42.920
2016	44.583
2017	51.859
2018	54.664



In Tabella 3 viene riportato il totale della somma delle superfici utili abitabili di tutte le abitazioni costruite in quell'anno.

Tabella 3 - Superficie utile abitabile totale annua (ISTAT 2022)

Anno	Superficie utile abitabile totale annua [m <sup>2</sup> ]
2014	4.019.992
2015	3.713.778
2016	3.913.107
2017	4.470.781
2018	4.731.306

La Tabella 4 è una delle più significative in questo studio in quanto divide il numero totale dei fabbricati e la relativa volumetria della Tabella 1 secondo il numero di abitazioni presenti in ciascuno di essi. Si nota come il numero di fabbricati diminuisce notevolmente con l'aumentare delle abitazioni al suo interno. Il numero di nuove case singole, ad esempio, è 5 volte superiore a quello delle case bifamiliari e addirittura circa 20 volte superiore rispetto a quello dei grandi condomini. Tuttavia grazie al dato sulle volumetrie, armonizzato appunto rispetto al volume totale delle abitazioni nei fabbricati, si nota che in realtà non è presente una differenza così marcata: ciò significa che i fabbricati ospitano al loro interno un considerevole numero di abitazioni.

Tabella 4 - Numero di fabbricati residenziali nuovi per numero di abitazioni e relativo volume v/p (ISTAT 2020)

Categoria	Anno	Numero fabbricati	Volume v/p [m <sup>3</sup> ]
1 abitazione	2014	10.959	6.815.000
	2015	10.112	6.327.000
	2016	10.221	6.346.000
	2017	10.474	6.436.000
	2018	10.983	6.745.000
2 abitazioni	2014	2.423	2.553.000
	2015	2.330	2.426.000
	2016	2.447	2.529.000
	2017	2.584	2.691.000
	2018	2.483	2.538.000
3-15 abitazioni	2014	3.160	7.422.000
	2015	2.931	6.882.000
	2016	3.193	7.560.000
	2017	3.723	8.619.000
	2018	4.013	9.198.000
16+ abitazioni	2014	405	4.232.000
	2015	364	3.598.000
	2016	364	3.699.000
	2017	462	4.909.000
	2018	495	5.243.000

Nuovamente dalla Tabella 4 è osservabile un differente andamento annuo del volume tra le diverse categorie: i fabbricati con 1 o 2 abitazioni presentano un andamento quasi costante nei cinque anni presi in considerazione, mentre quelli con più abitazioni sono più variabili. Si nota inoltre che l'ISTAT esegue una suddivisione degli edifici per categoria, in base al numero di abitazioni presenti in ogni fabbricato (ISTAT 2020). Questa stessa suddivisione è stata mantenuta anche nelle analisi effettuate in questa ricerca, ovvero:

- Fabbricati con 1 abitazione;
- Fabbricati con 2 abitazioni;
- Fabbricati con un numero di abitazioni tra 3 e 15;
- Fabbricati con un numero di abitazioni superiore a 16.

Prima di entrare nel dettaglio della spiegazione dell'analisi dei dati è utile dare le seguenti definizioni in riferimento agli edifici:

- *Fabbricato*: costruzione coperta, isolata da vie o spazi vuoti, oppure da altre costruzioni mediante muri maestri che si elevano, senza soluzione di continuità, dalle fondamenta al tetto, che disponga di uno o più liberi accessi sulla via e abbia, eventualmente, una o più scale autonome (ISTAT 2020);
- *Abitazione*: uno o più vani utili, destinati all'abitare, con un ingresso indipendente su strada, pianerottolo, cortile, terrazza, ballatoio e simili (ISTAT 2020);
- *Volume v/p*: volume vuoto per pieno calcolato tra le murature esterne, il pavimento inferiore e la parte esterna della copertura (ISTAT 2020);
- *Area (o superficie) utile*: superficie interna calpestabile di pavimento al netto di murature, pilastri, tramezzi, sguinci, vani di porte e finestre, scale interne, logge, balconi (ISTAT 2020);
- *Volume utile*: prodotto tra l'area utile e l'altezza media utile
- *Area v/p*: area vuoto per pieno definita come il rapporto tra il volume v/p e l'altezza media v/p
- *Altezza utile*: definita come l'altezza minima per un'abitazione residenziale dal D.M. 5 luglio 1975, pari a 2,7 m (Consiglio dei Ministri 1975);
- *Altezza v/p*<sup>3</sup>: altezza vuoto per pieno considerata tra l'estradosso di due solai consecutivi, pari a 3 m.

Si definiscono poi i seguenti termini utilizzati in fase di calcolo:

- *Rapporto volumi*: è il rapporto tra il volume utile e il volume v/p, serve per capire in percentuale la presenza di materiale rispetto al volume utile abitabile;
- *Impatto numero abitazioni*: definito come il prodotto tra il numero di fabbricati di un determinato anno e il numero di abitazioni di una determinata categoria diviso il numero di abitazioni totali di quell'anno. È utile per poter dividere il numero totale di abitazioni delle annate dal 2019 al

---

<sup>3</sup> Calcolata come la somma tra l'altezza utile definita al punto precedente e lo spessore di un solaio latero cementizio medio dato da 20 cm di strato strutturale (travetti, pignatte e cappa in calcestruzzo); e 10 cm di strato architettonico (massetto impiantistico, massetto di allettamento e pavimentazione).

2021 basandosi sui dati delle annate dal 2014 al 2018, per le quali sono disponibili sia i dati del numero di abitazioni per ogni categoria sia il numero totale di fabbricati;

- *Impatto volume v/p*: è definito come il rapporto tra il volume v/p di una determinata categoria rispetto al volume totale di quell'anno. Serve per capire la percentuale di volume di quella categoria rispetto al totale di quell'anno. È utile in quanto per le annate dal 2019 al 2021 si dispone solamente del dato relativo al volume totale e non di quello diviso per categoria, come per le annate precedenti.

Tutti i calcoli vengono spiegati per una singola annata e una singola categoria, vengono poi ripetuti per tutte le categorie e le annate successive. In riferimento ai valori annui si utilizza il termine *totale annuo*, mentre se si fa riferimento alla singola categoria si utilizza solamente il termine *totale*. I calcoli per le annate dal 2014 al 2018 sono stati svolti secondo i seguenti passaggi:

1. Calcolo del *volume utile totale annuo*: prodotto tra superficie utile totale annua e altezza utile;
2. Calcolo del rapporto volumi già definito in precedenza;
3. Calcolo dell'impatto del numero di abitazioni sul totale annuo;
4. Calcolo del *numero abitazioni*: prodotto tra il numero totale annuo di abitazioni per l'impatto del numero di abitazioni precedentemente calcolato;
5. Calcolo del volume v/p di una singola abitazione: volume v/p totale diviso il prodotto tra il numero di fabbricati e il numero di abitazioni;
6. Calcolo area v/p singola abitazione: rapporto tra il volume v/p singola abitazione e l'altezza v/p;
7. Calcolo dell'impatto del volume v/p: rapporto tra il volume v/p totale e il volume v/p totale annuo;
8. Calcolo del volume utile totale: prodotto tra il volume utile totale annuo e l'impatto del volume v/p precedentemente calcolato;
9. Calcolo dell'area utile totale: rapporto tra il volume utile totale e l'altezza utile;
10. Calcolo del volume utile singola abitazione: rapporto tra il volume utile totale e il numero di abitazioni;
11. Calcolo della superficie utile singola abitazione: rapporto tra l'area utile totale e il numero di abitazioni.

Dopo aver ripetuto i passaggi per tutte le annate si calcolano i valori medi di volume v/p, volume utile e superficie utile in riferimento ad una singola abitazione per ogni categoria.

Per le categoria di abitazioni 3-15 e 16+ al fine dei calcoli è necessario prima determinare un numero medio di abitazioni per ciascuna categoria. Il punto di partenza è dato dal numero di abitazioni totali annue. Da esso si sottrae il numero di abitazioni delle categorie con 1 e 2 abitazioni per fabbricato. A questo punto, conoscendo il numero di fabbricati totale delle categorie 3-15 e 16+ grazie alla banca dati ISTAT, si possono ricavare infinite combinazioni tali per cui la somma del numero di abitazioni totale di queste due categorie sia uguale alla somma dei prodotti tra il numero di fabbricati e il numero medio di abitazioni (incognito) per ciascuna categoria. Per poter determinare quale sia la combinazione migliore è necessario fare una verifica sulla superficie utile delle singole abitazioni: presupponendo infatti che la superficie utile media sia decrescente al crescere del numero di abitazioni per fabbricato, si evince che la

combinazione migliore è quella di un numero medio di 6 abitazioni per la categoria 3-15 e 30 abitazioni per la categoria 16+.

Viene qui riportato un estratto dei risultati dell'analisi svolta finora. Per i dati completi si rimanda all' "Appendice A: analisi delle volumetrie di riferimento degli archetipi".

Tabella 5 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2014 al 2018

Categoria	Numero abitazioni	Volume v/p [m <sup>3</sup> ]	Volume utile [m <sup>3</sup> ]	Superficie utile [m <sup>2</sup> ]
1 abitazione	1	619,41	326,24	120,83
2 abitazioni	2	519,19	273,45	101,28
3-15 abitazioni	6	389,05	204,90	75,89
16+ abitazioni	30	344,76	181,64	67,27

A questo punto è necessario calcolare gli stessi risultati per le annate dal 2019 al 2021, disponendo però di un database in input meno accurato. Vengono di seguito riportate le tabelle contenenti i dati disponibili.

Tabella 6 - Numero di abitazioni e superficie utile totale annui, annata dal 2019 al 2021 (ISTAT 2022)

Anno	Numero abitazioni totale annuo	Superficie utile abitabile totale annua [m <sup>2</sup> ]
2019	55.104	4.859.707
2020	49.100	4.301.256
2021	61.241	5.379.689

In linea con il procedimento per le annate 2014-2018 vengono di seguito riportati i passaggi per calcolare volume v/p, volume utile e superficie utile di ogni singola abitazione anche per il periodo 2019-2021, ricordando che i seguenti calcoli sono stime basate sui valori medi calcolati in precedenza:

1. Calcolo volume utile totale annuo: prodotto tra la superficie utile totale annua e l'altezza utile;
2. Calcolo volume v/p totale annuo: rapporto tra volume utile totale annuo diviso il rapporto volumi medio per le annate '14-'18;
3. Calcolo numero di abitazioni totale: prodotto tra il numero di abitazioni totale annuo e l'impatto medio di abitazioni per le annate '14-'18;
4. Calcolo volume v/p singola abitazione: rapporto tra il volume v/p totale e il numero di abitazioni totale;
5. Calcolo area v/p singola abitazione: rapporto tra il volume calcolato al punto 4 e l'altezza v/p;
6. Calcolo volume utile totale: prodotto tra il volume utile totale annuo e l'impatto di volume medio per le annate '14-'18;
7. Calcolo area utile totale: rapporto tra il volume utile totale e l'altezza utile;
8. Calcolo volume utile singola abitazione: rapporto tra il volume utile totale e il numero di abitazioni totale;
9. Calcolo superficie utile singola abitazione: rapporto tra l'area utile totale e il numero di abitazioni totale;

Dopo aver ripetuto i passaggi per tutte le annate si calcolano i valori medi di volume v/p, volume utile e superficie utile in riferimento ad una singola abitazione per ogni categoria.

Viene qui riportato un estratto dei risultati dell'analisi svolta finora. Per i dati completi si rimanda al materiale presente in appendice (Appendice A: analisi delle volumetrie di riferimento degli archetipi).

Tabella 7 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2019 al 2021

Categoria	Numero abitazioni	Volume v/p [m <sup>3</sup> ]	Volume utile [m <sup>3</sup> ]	Superficie utile [m <sup>2</sup> ]
1 abitazione	1	628,20	330,90	122,55
2 abitazioni	2	526,54	277,35	102,72
3-15 abitazioni	6	394,82	207,97	77,03
16+ abitazioni	30	350,46	184,60	68,37

Quest'ultima tabella rappresenta i dati finali utilizzati per la costruzione in BIM degli archetipi medi per ognuna delle 4 categorie considerate.

### 3.2.2 Definizione delle tecnologie costruttive

La definizione delle stratigrafie costruttive si basa in primo luogo sullo studio fornito dal progetto Tabula riportate in FIG. 12 - Stratigrafie minime (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014). Come si può notare le murature considerate sono in laterizio o calcestruzzo con isolamento dato dal solo cappotto esterno, mentre solai di copertura e interpiano entrambi in laterocemento.

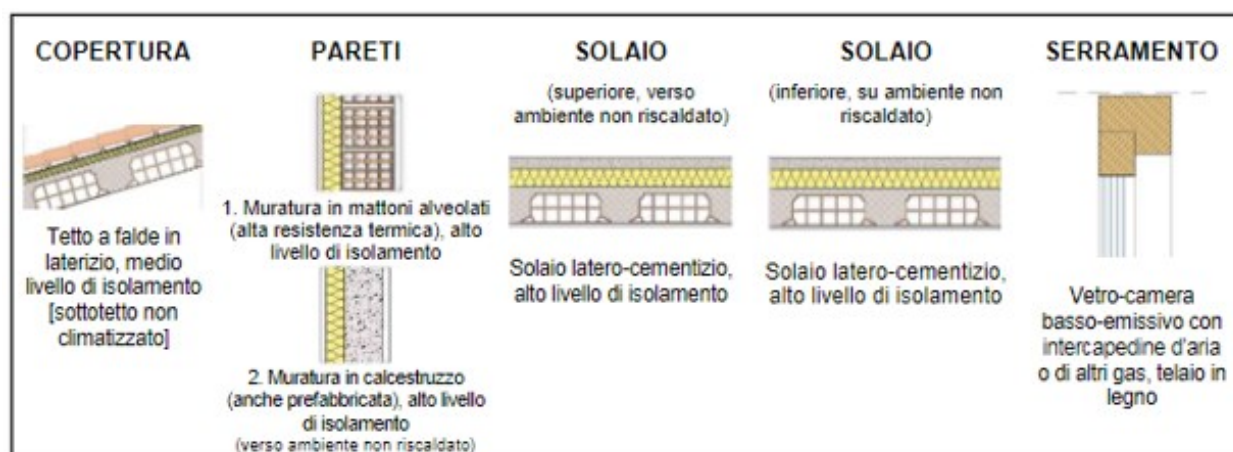


FIG. 12 - Stratigrafie minime (Corrado, Ballarini, and Corgnati 2014)

In questa ricerca si è scelto di non utilizzare la stratigrafia muraria completamente in calcestruzzo, poco usata in ambito residenziale – anche se recentemente si rileva l'uso di questa tecnologia anche nella parte residenziale -, e di aggiungere due tipologie di isolamento per le murature esterne in laterizio: le murature con rifodera interna e quelle con rifodera esterna. Di conseguenza le tecnologie costruttive utilizzate sono le seguenti:

- Telaio in calcestruzzo armato;

- Pareti di tamponamenti in muratura con isolamento a cappotto esterno, rifodera esterna oppure rifodera interna;
- Solai, sia di interpiano che di copertura, in laterocemento.

I valori per gli spessori degli strati di isolamento termico utilizzati vengono calcolati per la zona climatica “E”.

La norma italiana di riferimento per questi calcoli è il Decreto Legislativo 192/2005 riguardante i requisiti minimi del consumo energetico. In questa norma viene definita la trasmittanza termica (U), detta anche conducibilità termica, come *flusso di calore che passa attraverso una parete per metro quadro di superficie della parete e per grado Kelvin di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo* (Consiglio dei Ministri 2005).

Secondo l’articolo 3 del DPR 412/93 gli edifici sono classificati a seconda della loro destinazione d’uso. Gli edifici residenziale appartengono alla classe E.1 e vengono così definiti: *“E.1(1): abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena e caserme.”* (Consiglio dei Ministri 1993).

I valori di trasmittanza termica per la categoria di edifici E.1, in zona climatica “E”, sono riportati in Tabella 8. Di conseguenza il valore di trasmittanza termica utilizzato per il calcolo delle stratigrafie delle strutture opache verticali è di 0,34 W/m<sup>2</sup>K.

Tabella 8 - Valori minimi della trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali espressa in W/m<sup>2</sup>K. Appendice A (Consiglio dei Ministri 2005)

Zona climatica	Dall’1 gennaio 2006 U [W/m <sup>2</sup> K]	Dall’1 gennaio 2008 U [W/m <sup>2</sup> K]	Dall’1 gennaio 2010 U [W/m <sup>2</sup> K]
E	0,46	0,37	0,34

Il valore della trasmittanza termica sopra ricavato viene utilizzato per determinare il valore di resistenza termica totale massimo (R<sub>TOT</sub>) secondo l’equazione 1. 1 definita nella norma ISO 6946:2017. La resistenza termica è definita come la capacità di un materiale di opporsi al flusso di calore.

$$U = \frac{1}{R_{TOT}}$$

1. 1

Dove:

U è la trasmittanza termica [W/m<sup>2</sup>K]

R<sub>TOT</sub> è la resistenza termica totale [m<sup>2</sup>K/W] (British Standards Institution 2018)

Il valore della resistenza termica totale per ogni elemento costruttivo e il valore della resistenza termica di ogni singolo strato di essa sono definiti rispettivamente nelle equazioni 1. 2 e 1. 3 (British Standards Institution 2018). Con il termine *strato* si intende una porzione di spessore dell’elemento costruttivo con

caratteristiche omogenee. È opportuno evidenziare questo aspetto in quanto uno strato può essere composto da più materiali: ad esempio lo strato comunemente associato ai mattoni è in realtà composto dal laterizio, dalla malta e dall'aria i cui singoli valori di resistenza termica combinati tra loro vanno ad inficiare sulla resistenza totale dello strato.

$$R_{TOT} = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se}$$

1. 2

Dove:

$R_{Si}$  è la resistenza superficiale interna [ $m^2K/W$ ]

$R_1, R_2 \dots R_n$  sono i valori della resistenza termica di ogni strato [ $m^2K/W$ ]

$R_{Se}$  è il valore di resistenza superficiale esterna [ $m^2K/W$ ]

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

1. 3

Dove:

R è la resistenza termica dello strato [ $m^2K/W$ ]

d è lo spessore dello strato [m]

$\lambda$  è la conducibilità termica dello strato [ $W/mK$ ]

I valori di resistenza termica superficiale interna ed esterna sono riportati in Tabella 9. Per il caso di pareti verticali si considera il flusso di calore orizzontale.

Tabella 9 - Valori convenzionali di resistenza superficiale (British Standards Institution 2017)

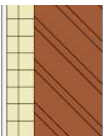
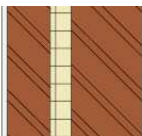
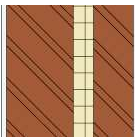
Direzione del flusso di calore orizzontale	Resistenza superficiale [ $m^2K/W$ ]
$R_{Si}$	0,13
$R_{Se}$	0,04

I valori di conducibilità termica per i materiali utilizzati sono riportati nelle tabelle dedicate nella norma di riferimento EN:12524 (British Standards Institution 2000).

Il procedimento appena descritto è stato applicato per il calcolo dello spessore delle tre tipologie di muratura sopra citate (con cappotto esterno, con rifodera esterna o interna), e per tre materiali di isolamento di diversa natura: sintetica, minerale e vegetale. In particolare i materiali scelti sono

rispettivamente: pannelli di polietilene estruso (XPS), lana di roccia e fibra di legno. Lo spessore di ogni elemento è riportato in Tabella 10.

Tabella 10 - Definizione degli spessori stratigrafici delle murature in relazione all'isolante utilizzato

		XPS	LANA DI ROCCIA	FIBRA DI LEGNO
		Spessore [m]	Spessore [m]	Spessore [m]
<b>CAPPOTTO ESTERNO</b>  EXT INT	intonaco interno	0,015	0,015	0,015
	mattoni alveolati	0,2	0,2	0,2
	isolante	0,08	0,09	0,15
	intonaco esterno	0,015	0,015	0,015
<b>RIFODERA ESTERNA</b>  EXT INT	intonaco interno	0,015	0,015	0,015
	mattoni alveolati	0,2	0,2	0,2
	isolante	0,06	0,07	0,13
	rifoderia	0,12	0,12	0,12
	intonaco esterno	0,015	0,015	0,015
<b>RIFODERA INTERNA</b>  EXT INT	intonaco interno	0,015	0,015	0,015
	rifoderia	0,12	0,2	0,2
	isolante	0,06	0,07	0,13
	mattoni alveolati	0,2	0,12	0,12
	intonaco esterno	0,015	0,015	0,015

### 3.3 Nomenclatura degli elementi costruttivi

I dati raccolti sono la base per la creazione dei modelli costruttivi degli archetipi italiani. Questi dati sono stati processati in modo da creare uno schema rigoroso per definire il nome di ogni elemento costruttivo utilizzato. Lo schema della nomenclatura comprende tutti gli elementi utilizzati per la modellazione degli archetipi: dai materiali fino ad ogni elemento stratificato e non stratificato utilizzati nei modelli BIM. La nomenclatura di ciascuno di essi viene poi associata alla classificazione Uniclass per gli scopi già citati.

#### 3.3.1 Schema di nomenclatura

In questo capitolo si spiega come è stato realizzato lo schema che rappresenta il nesso logico tra gli elementi costruttivi di un edificio evidenziando le relazioni di appartenenza tra di essi. In questi termini il metodo di nomenclatura ha come punto di partenza la nomenclatura dei materiali in quanto parte più piccola del



sistema, essendo presenti in tutti gli elementi, come rappresentato in FIG. 13. Il nome dei materiali e degli elementi sono espressi in inglese per avere coerenza nel linguaggio della classificazione.

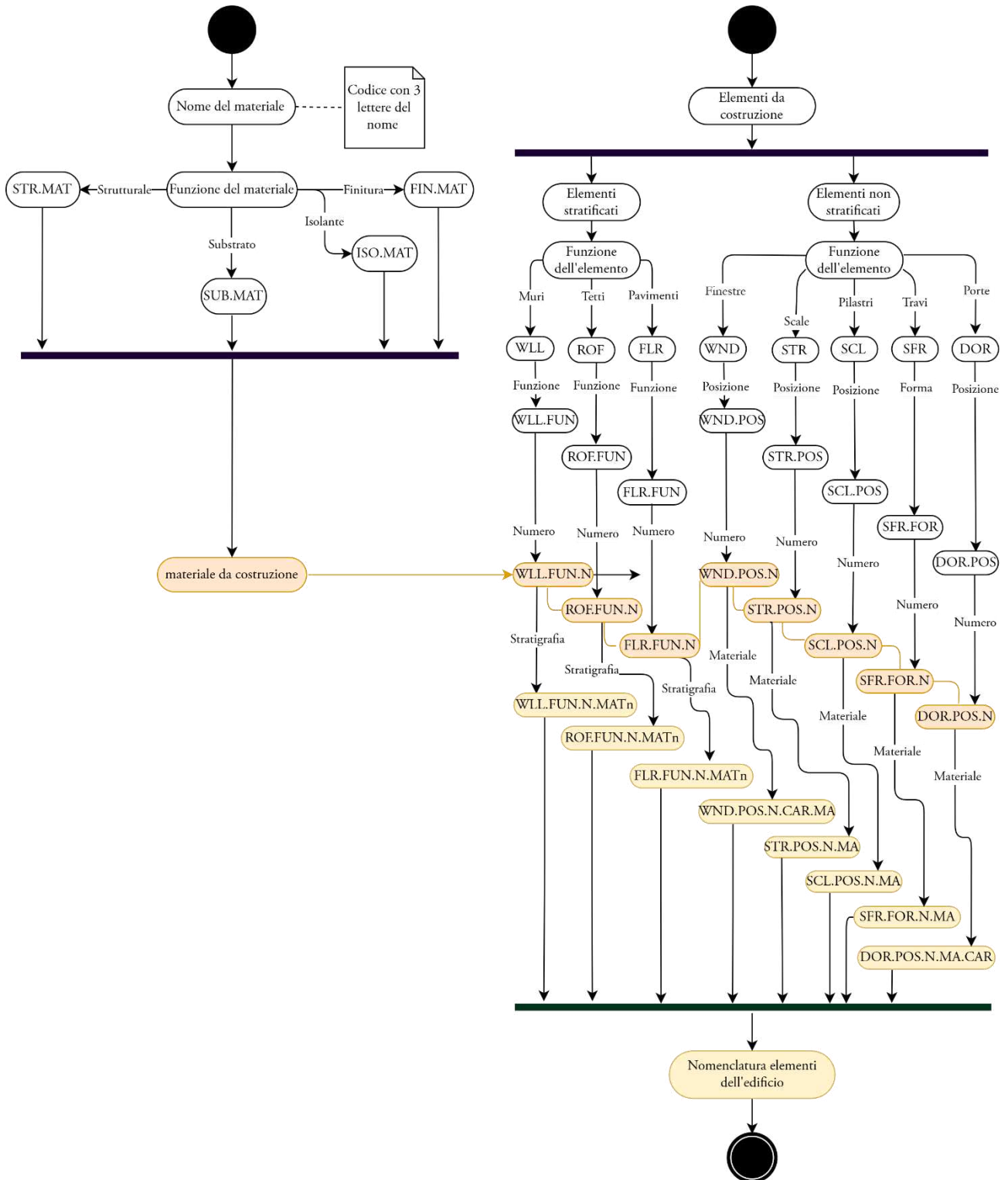


FIG. 13 - Diagramma UML per la nomenclatura degli elementi costruttivi

La suddivisione per funzione di un materiale vede i materiali strutturali impiegati in elementi strutturali, solitamente travi, pilastri, solette di fondazione ed elementi portanti. I materiali di substrato sono utilizzati per elementi non strutturali ma funzionali come mattoni di rifodera e massetti impiantistici, i materiali con funzione di isolamento sono presenti soprattutto in rifodere esterne ed interne, nel cappotto e nei solai. I materiali di finitura comprendono le piastrelle, i rivestimenti esterni ed interni degli elementi costruttivi.

Gli elementi stratificati, come muri, solai e tetti, sono composti da più strati, ognuno dei quali è composto da un materiale diverso. Ogni elemento, all'interno del suo nome, vede la definizione dei materiali in esso utilizzati tramite un codice di due o tre lettere, come esplicitato in FIG. 13. Nello specifico: con FUN si intende la funzione dell'elemento (interna o esterna per le murature, strutturale o architettonica per solai e tetti), N il numero dell'elemento, MAT il materiale, CAR la caratteristica tecnologica dell'elemento. In questi termini si costruiscono i nomi di ogni elemento presente nell'edificio. Nella Tabella 11 si riportano degli esempi di nomenclatura per ogni tipologia di elemento costruttivo utilizzato nella modellazione degli archetipi.

Tabella 11 – Esempi di nomenclatura degli elementi costruttivi

Elemento costruttivo	Nome	Descrizione
Muro	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	Tipologia di muro esterno numero 1 composto da intonaco, mattoni, XPS, intonaco
Solaio	FLR.STR.1.CNC	Pavimento strutturale numero 1 in calcestruzzo (soletta di fondazione)
Tetto	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	Tetto strutturale numero 1 composto da intonaco, mattone, calcestruzzo
Porte	DOR.EXW.1.W.EDR	Porta numero 1, posizionata su muro esterno, in legno con funzione di porta di ingresso
Finestre	WND.EXW.1.SLW	Finestra numero 1, su muro esterno, con apertura singola
Travi strutturali	SFR.RBM.1.CC	Trave strutturale numero 1 di forma rettangolare in calcestruzzo
Pilastri strutturali	SCL.EXT.1.CC	Pilastro strutturale esterno numero 1 in calcestruzzo
Scale	STR.INS.1.CC	Scala interna numero 1 con struttura portante in calcestruzzo

Per la completa rappresentazione stratigrafica e descrittiva, con le relative nomenclature e classificazione Uniclass associate, di tutti gli elementi costruttivi si rimanda agli abachi presenti in “Appendice B: abachi degli elementi costruttivi”

Il calcolo del *Material Intensity*, inoltre, è fortemente legato alla densità del materiale da costruzione. La sua interazione con il valore del volume determina la massa utile del materiale, per questo, a parità di volume, la densità è il valore discriminante per la determinazione della massa di ogni materiale. In questa trattazione si utilizzano i valori dei pesi specifici dei materiali, in accordo con le Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti. Per i materiali non riportati in tale normativa si fa riferimento ai valori ricavati da ricerche web (Studio Petrillo n.d.). Per l'isolante in lana di roccia si fa riferimento alle caratteristiche dichiarate da un produttore in particolare (Rockwool n.d.), così come per i pannelli in fibra di legno (Beton Wood n.d.). Il peso specifico dei mattoni forati fa riferimento al solo materiale laterizio e non all'intero strato di muratura composto da laterizio e malta: a causa di limiti posti dal software Revit, infatti, non è possibile scindere al suo interno la volumetria dei due materiali, rendendo necessario effettuare dei calcoli a posteriori esterni al programma. Analogamente avviene per il calcestruzzo strutturale e l'acciaio di armatura in esso contenuto.

### **3.3.2 Classificazione Uniclass**

I sistemi di classificazione degli elementi nel settore edilizio si basano sullo schema generale fornito dalla norma ISO 12006 parte 2 e parte 3 (Ekholm 2005). La norma descrive i caratteri generali che dovrebbero avere i metodi di classificazione per creare le tabelle necessarie a catalogare gli elementi costruttivi. Per ogni tabella vengono definiti i titoli per catalogare le informazioni riguardanti gli oggetti in base a particolari viste, ad esempio per forma o funzione, con relative definizioni. Viene spiegata inoltre la correlazione tra gli oggetti nelle diverse tabelle, sfruttando la suddivisione in sistemi e sottosistemi. Infine sono forniti degli esempi di classificazione cosicché enti ed associazioni possano variare i dettagli della classificazione in sé per soddisfare le esigenze locali. L'applicazione di questa norma a livello generale aiuta ad armonizzare in maniera efficace ed omogenea le informazioni, in particolare con l'utilizzo di software BIM.

Ogni classificazione ha lo scopo di distinguere gli oggetti di una collezione. In primo luogo è quindi importante definire lo scopo della classificazione che si vuole realizzare, successivamente si definiscono le proprietà di interesse ed infine si applicano i criteri scelti agli oggetti interessati. Questo procedimento logico è rappresentato in FIG. 14. Si evidenzia come gli oggetti sono raggruppati in classi diverse le quali sono l'insieme di membri con proprietà rilevanti per la classificazione. La definizione delle classi dovrebbe essere, preferibilmente, espressa sotto forma testuale al fine di riuscire ad attribuire un oggetto ad una sola classe e non avere ambiguità nella sua definizione.

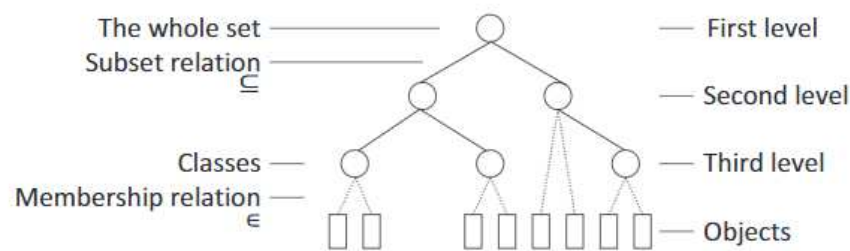


FIG. 14 - Concetto di classificazione e relazione tra i membri (British Standards Institution 2015)

Il metodo di classificazione *Unified Classification for the Construction Industry* (Uniclass) è un metodo di classificazione inglese sviluppato in risposta alla norma ISO 12006-2:2015. Questo metodo è stato sviluppato dal *National Institute of Standards and Technology* (NBS) e promosso dal *Construction Industry Project Information Committee* (CPIC), che rappresenta quattro organizzazioni: la *Construction Confederation*, il *Royal Institute of British Architects*, la *Royal Institution of Chartered Surveyors* e la *Chartered Institution of Building Services Engineers*. Il sistema adottato si concretizza in una serie di tabelle utilizzabili per classificare tutti gli elementi facenti parte del sistema delle costruzioni, dal grande grattacielo al singolo mattone.

Le tabelle Uniclass non sono semplicemente un set di classificazione realizzato secondo la logica atta a distinguere gli oggetti usati nella costruzione vera e propria, ma definiscono anche il flusso di dati necessario alla progettazione stessa. Nel dettaglio sono presenti le seguenti categorie (NBS 2022):

- Activities (Ac)
- Complexes (Co)
- Entities (En)
- Spaces/locations (SL)
- Elements/functions (EF)
- Systems (Ss)
- Products (Pr)
- Tools and equipment (TE)
- Project Management (PM)
- Form of Information (FI)
- Roles (Ro)
- CAD and modelling content (Zz)

In questa ricerca sono stati utilizzati i titoli di:

- Complexes per la definizione dell'edificio nel suo insieme;
- Spaces/locations per la catalogazione dei locali presenti in ogni edificio;
- Elements per rappresentare gli elementi costruttivi;

- Systems per l'insieme dei prodotti che concorrono a creare un elemento costruttivo;
- Products per definire le singole parti che compongono un sistema

Il sito NBS fornisce degli esempi utili per comprendere al meglio il funzionamento della classificazione Uniclass. Ad esempio viene fornita la classificazione di un hotel: la struttura del resort è indicata come complex. All'interno dell'hotel si definiscono come entities i ristoranti, bar e le palestre. Alcuni spaces and location sono destinate a diverse activities (divertimento o incontri lavorativi). La costruzione dell'hotel è formata da elements come muri e solai. All'interno degli elements ci sono centinaia di systems come ad esempio il sistema di facciata continua in vetro, ogni systems vede l'utilizzo dei products che ne definiscono l'unità più piccola come ad esempio un montante della facciata continua in vetro (NBS 2022).

I codici Uniclass utilizzati per la classificazione degli elementi sono composti da lettere e numeri, separati tra loro da un trattino basso: e.g. Ss\_45\_40\_47\_28 (NBS 2022). Le prime due lettere identificano la classe, i numeri in successione invece indicano rispettivamente il gruppo, il sottogruppo, la sezione e l'oggetto. Viene riportata di seguito un esempio per la definizione del codice Uniclass di un elemento costruttivo (NBS 2022).

Tabella 12 - Esempio di classificazione Uniclass di un elemento di un hotel (NBS 2022)

Categoria	Codice	Descrizione (inglese)	Descrizione (traduzione in italiano)
Class	Ss	Systems	Sistema
Group	Ss_30	Roof, floor and paving systems	Sistema dei tetti, solai e pavimenti
Subgroup	Ss_30_10	Roof structure systems	Sistema della struttura del tetto
Section	Ss_30_10_30	Framed roof structure systems	Sistema della struttura a telaio del tetto
Object	Ss_30_10_30_25	Heavy steel roof framing systems	Sistemi di intelaiatura del tetto in acciaio pesante

In Tabella 14 è riportata l'esemplificazione della classificazione Uniclass del muro esterno numero 1, utilizzato nella modellazione degli archetipi, la cui nomenclatura è già stata descritta nella precedente Tabella 11. Al fine di una comprensione più esaustiva viene anche riportata una proposta di traduzione in italiano delle descrizioni utilizzate dalla classificazione Uniclass.

Tabella 13 – Esempio di classificazione Uniclass di un muro esterno

		Traduzione
<b>Nome</b>	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	
<b>EF.Number</b>	EF_25_10_25	
<b>EF.Description</b>	External walls	Muro esterno
<b>Ss.Number</b>	Ss_25_13_50_51	
<b>Ss.Description</b>	Masonry wall leaf systems	Sistema di muratura stratificata

L'elemento muro ricade nella tipologia degli elementi costruttivi stratificati: al suo interno infatti sono presenti più materiali, anch'essi prima nomenclati come descritto in FIG. 13, e poi classificati come descritto da Uniclass, come riportato in Tabella 14.

Tabella 14 - Esempio di classificazione Uniclass dei materiali di un muro esterno

Materiali	Parametro	Classificazione	Traduzione
PLS	<i>Pr.Number</i>	Pr_35_31_64_01	
	<i>Pr.Description</i>	Acrylic plasters	Intonaco acrilico
BRC	<i>Pr.Number</i>	Pr_20_93_52_15	
	<i>Pr.Description</i>	Clay bricks	Mattoni di argilla
XPS	<i>Pr.Number</i>	Pr_25_71_63_29	
	<i>Pr.Description</i>	Extruded polystyrene (XPS) boards	Pannelli di polistirene estruso

L'interazione tra la classificazione Uniclass e la nomenclatura degli elementi costruttivi si configura in due famiglie separate. In questo senso, infatti, i materiali sono classificati come meri prodotti da costruzione e non contengono informazioni riguardo la funzione che acquisiscono all'interno dell'elemento costruttivo in cui saranno poi effettivamente utilizzati. Ad esempio il mattone utilizzato nella muratura di tamponamento e il mattone utilizzato come rifodera hanno due nomenclature distinte (rispettivamente STR.BRC e SUB.BRC). Tuttavia, presi singolarmente, sono lo stesso materiale per cui presentano la medesima classificazione Uniclass (vedi abaco 0 in appendice B).

La classificazione dei materiali è fondamentale per le analisi dei *Material Intensity* nei diversi Paesi, il fine di utilizzare una classificazione è quello di definire un linguaggio comune per lo studio degli indici. La potenzialità della classificazione Uniclass è la struttura gerarchica dove le caratteristiche degli oggetti appartenenti ad una classe definiscono la classe stessa (Pupeikis et al. 2022). I prodotti si identificano infatti come materiali da costruzione con le annesse proprietà, e non sono materiali puri.

### 3.3.3 Nomenclatura, classificazione e BIM

La nomenclatura e la classificazione Uniclass sono state implementate in questa ricerca all'interno dei modelli BIM degli archetipi residenziali. Il rapporto tra la classificazione e l'ambiente BIM è un tema molto dibattuto nella letteratura scientifica contemporanea (Gelder 2015). Il potenziale della classificazione Uniclass è riconosciuto nella sua neutralità espressiva ed efficacia nell'utilizzo all'interno di ambienti BIM, sottolineando inoltre la facilità di accesso online delle tabelle (Gelder 2015).

In questo progetto il software BIM utilizzato è Revit 2022. La classificazione Uniclass è stata implementata facilmente grazie al plug-in *Bim Interoperability Tools*, come indicato dalle risorse online del plug-in stesso (Autodesk 2022).

Di seguito viene riportato un elenco di tutti i sistemi utilizzati per la classificazione di tutti gli elementi costruttivi dei modelli. L'utilizzo di questi sistemi è fondamentale per poter categorizzare ogni materiale per elemento costruttivo di appartenenza, aumentando così il dettaglio dei database finali e il numero di analisi da poter condurre grazie ad essi. È opportuno sottolineare che ogni materiale può essere presente in più sistemi e viceversa, cioè anche ogni sistema può essere composto da più materiali. Per questo per

ogni edificio verrà prodotta una matrice  $N \times M$ , dove  $N$  è il numero totale dei materiali e  $M$  il numero totale dei sistemi.

Tabella 15 - Abaco dei sistemi per edifici in laterocemento

Classificazione Uniclass	
<i>Ss.Description</i>	<i>Ss.Number</i>
Beam and block floor systems	Ss_30_12_05
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22
Floor tiling systems	Ss_30_42_32
Ground bearing external ramp systems	Ss_35_10_25_34
Gypsum board wall lining systems	Ss_25_25_45_35
Interlocking tile roofing systems	Ss_30_40_95_40
Internal stair systems	Ss_35_10_40_42
Masonry internal partition systems	Ss_25_13_50_56
Masonry wall leaf systems	Ss_25_13_50_51
Masonry wall systems	Ss_25_13_50
Reinforced concrete beam systems	Ss_20_20_75_70
Reinforced concrete column systems	Ss_20_30_75_70
Reinforced concrete deck systems	Ss_30_12_85_70
Reinforced concrete pad and strip foundation systems	Ss_20_05_15_70
Reinforced concrete wall structure systems	Ss_25_11_16_70
Window system	Ss_25_30_95_95

Tabella 16 - Abaco dei sistemi per edifici in legno

Classificazione Uniclass	
<i>Ss.Description</i>	<i>Ss.Number</i>
Beam and block floor systems	Ss_30_12_05
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22
Floor tiling systems	Ss_30_42_32
Gypsum board wall lining systems	Ss_25_25_45_35
Internal stair systems	Ss_35_10_40_42
Reinforced concrete pad and strip foundation systems	Ss_20_05_15_70
Timber deck systems	Ss_20_20_75_85
Timber beam systems	Ss_30_12_85_90
Timber roof framing systems	Ss_30_10_80_85
Timber wall systems	Ss_25_11_90
Window system	Ss_25_30_95_95
Wood and composite unit flooring systems	Ss_30_20_90

## **3.4 Gli archetipi costruttivi**

In questo capitolo verranno descritti tutti gli archetipi di edifici residenziali modellati in BIM. Verranno proposti un 3D e delle planimetrie esemplificative dei modelli medi. Le tavole architettoniche complete sono consultabili in “Appendice C: tavole architettoniche degli archetipi costruttivi”.

Verrà poi spiegata la variabilità degli elementi costruttivi e dei parametri geometrici utilizzata nella realizzazione dei 1000 modelli per ogni archetipo.

### **3.4.1 Definizione dei modelli costruttivi**

Le analisi descritte ai capitoli precedenti e le tecnologie costruttive ricavate hanno portato alla definizione dei seguenti archetipi di edifici. La geometria, e di conseguenza i valori dei parametri geometrici sono stati ricavati in modo tale che la superficie utile fosse quanto più uguale possibile al valore trovato nella fase di analisi (vedi Tabella 7).

Viene qui riportata la classificazione utilizzata con una breve descrizione, un'immagine rappresentativa dei tre modelli con parametri geometrici minimi, medi e massimi e le planimetrie fuori scala delle singole abitazioni. Per la rappresentazione tecnica di ognuno dei modelli base di partenza (corrispondenti come già detto ai modelli medi di ogni archetipo) si rimanda alle tavole presenti in “Appendice C: tavole architettoniche degli archetipi costruttivi”.



### 3.4.1.1 Single Family House (SFH)

Categoria rappresentativa della casa monofamiliare, corrispondente agli edifici definiti dall'ISTAT come "edifici con 1 abitazione". Edificio isolato a 2 piani con cucina, salotto, 2 bagni, 3 camere da letto, garage, ripostiglio, 2 terrazzini e sottotetto.

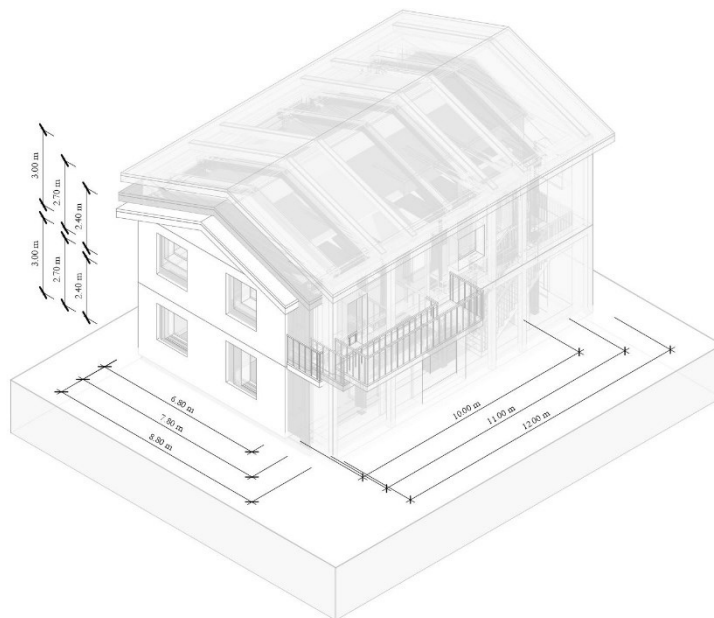


FIG. 15 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFH

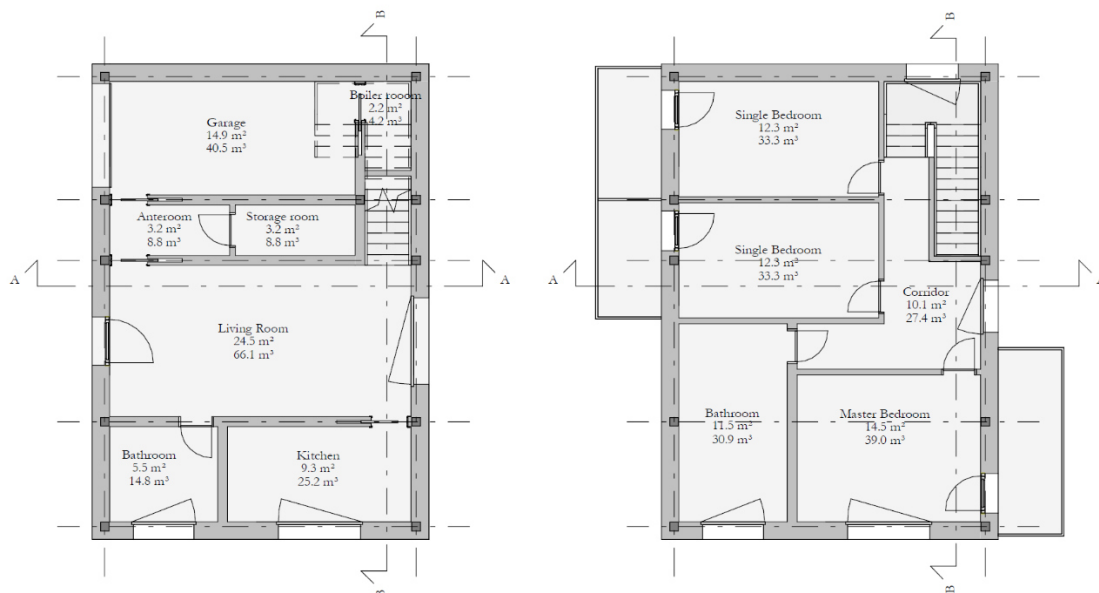


FIG. 16 - SFH: piante piano terra e piano primo

### 3.4.1.2 Single Family House Wood (SFHw)

Categoria rappresentativa della casa monofamiliare in legno. Edificio isolato a 2 piani con cucina, salotto, 2 bagni, 3 camere da letto, garage, ripostiglio e 2 terrazzini. Non disponendo di dati sulle volumetrie degli edifici in legno questo modello è stato realizzato partendo dal corrispondente in laterocemento sostituendone gli elementi costruttivi ed adattandolo alla tecnologia costruttiva per gli edifici in legno. Le altezze indicate in figura sono relative all'altezza minima del secondo piano.

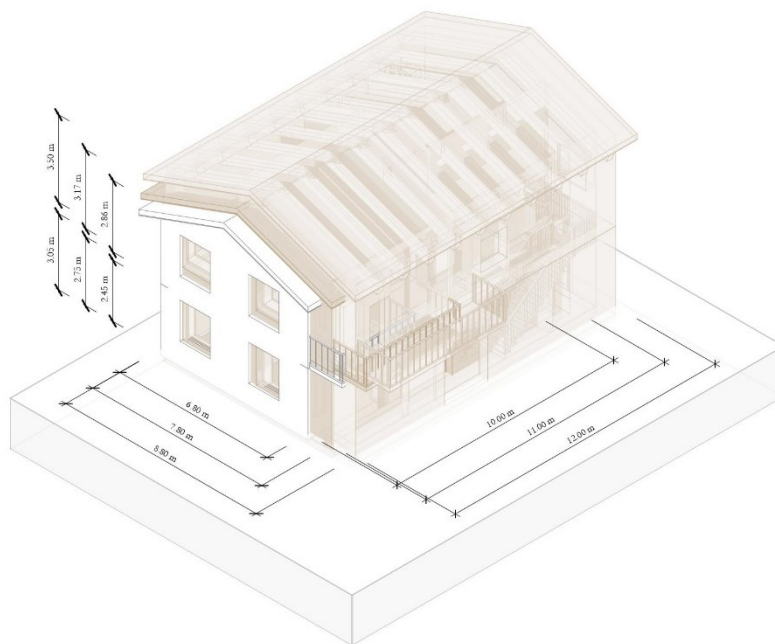


FIG. 17 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFHw

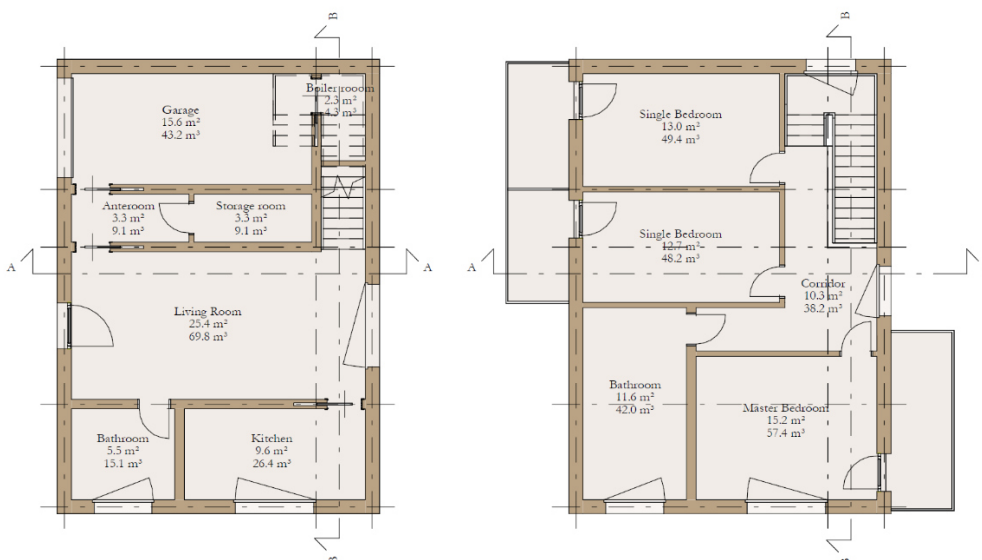


FIG. 18 - SFHw: piante piano terra e piano primo

### 3.4.1.3 Semi Detached House (SDH)

Categoria per le case bifamiliari, corrispondente agli “edifici con 2 abitazioni”. Edificio comprendente 2 abitazioni monofamiliari abbinata, ciascuna con le stesse caratteristiche della casa monofamiliare.

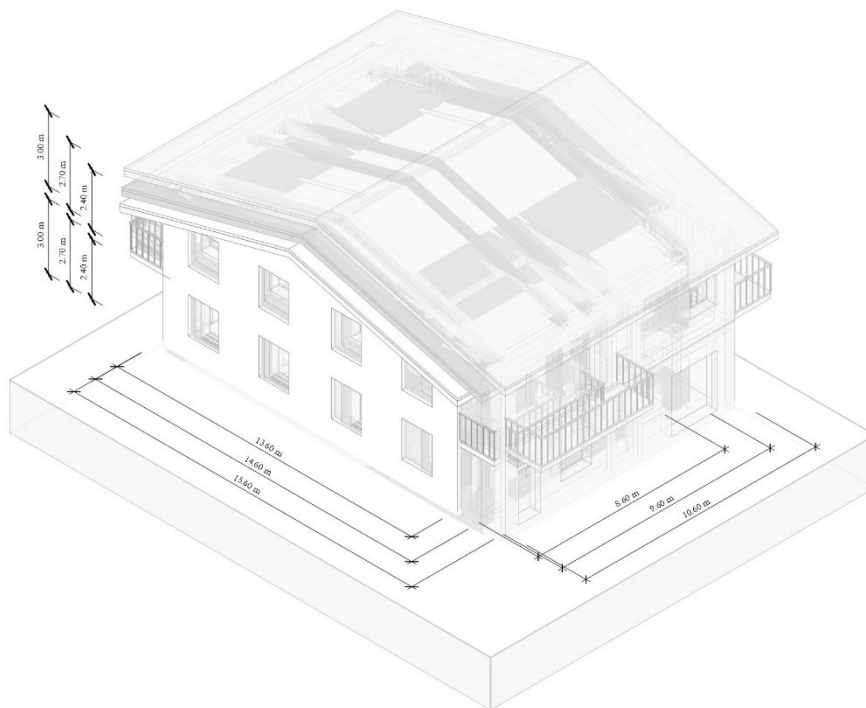


FIG. 19 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDH

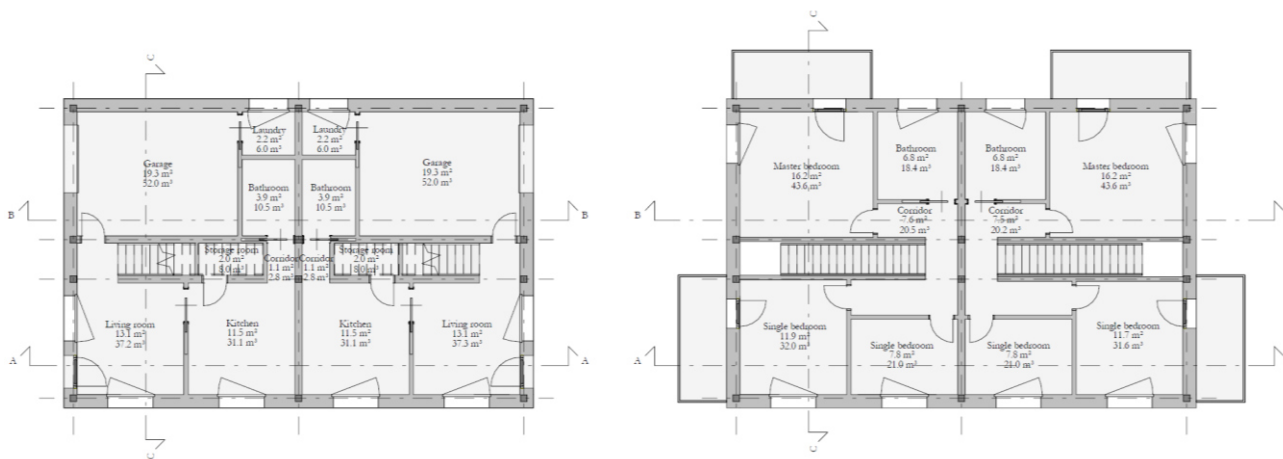


FIG. 20 - SDH: piante piano terra e piano primo

### 3.4.1.4 Semi Detached House Wood (SDHw)

Categoria corrispondente alla casa bifamiliare in legno. Edificio comprendente 2 abitazioni monofamiliari abbinata, ciascuna con le stesse caratteristiche della casa monofamiliare. La tecnologia costruttiva della copertura è unica. Così come per la casa singola in legno anche per questo archetipo, non disponendo di dati sulle volumetrie degli edifici in legno, è stato realizzato partendo dal corrispondente in laterocemento sostituendone gli elementi costruttivi ed adattandolo alla tecnologia costruttiva per gli edifici in legno. a differenza della casa singola però in questo caso le altezze indicate in figura sono relative all'altezza media del secondo piano.

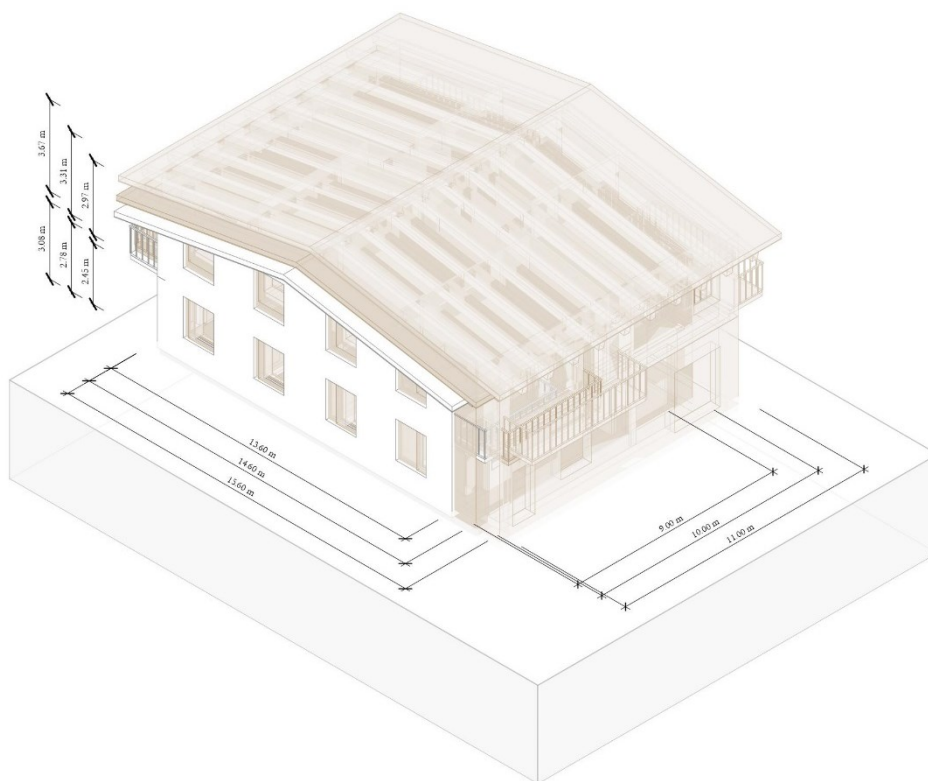


FIG. 21 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDHw

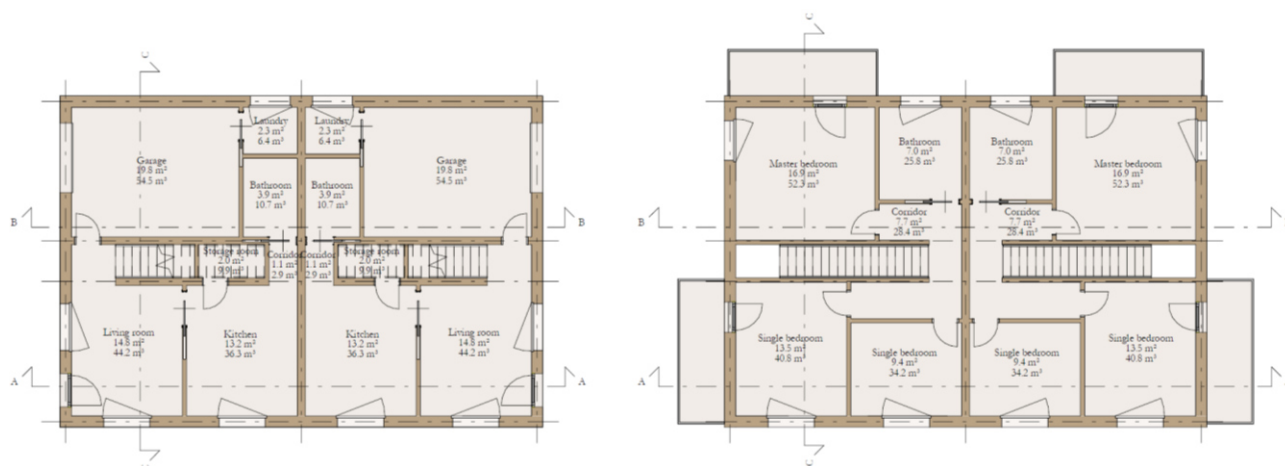


FIG. 22 - SDHw: piante piano terra e piano primo

### 3.4.1.5 Medium Residential Building (MRB)

Condominio con 6 appartamenti, corrispondente alla classe di “edifici con 3-15 abitazioni”. Fabbricato residenziale con 3 piani fuori terra, ciascuno con 2 appartamenti, il piano interrato è dedicato ai garage, vano scala e ascensore in ambiente comune e sottotetto. Ogni appartamento dispone di 2 camere da letto, un bagno e un *open space* in cui sono presenti cucina, sala da pranzo e salotto.

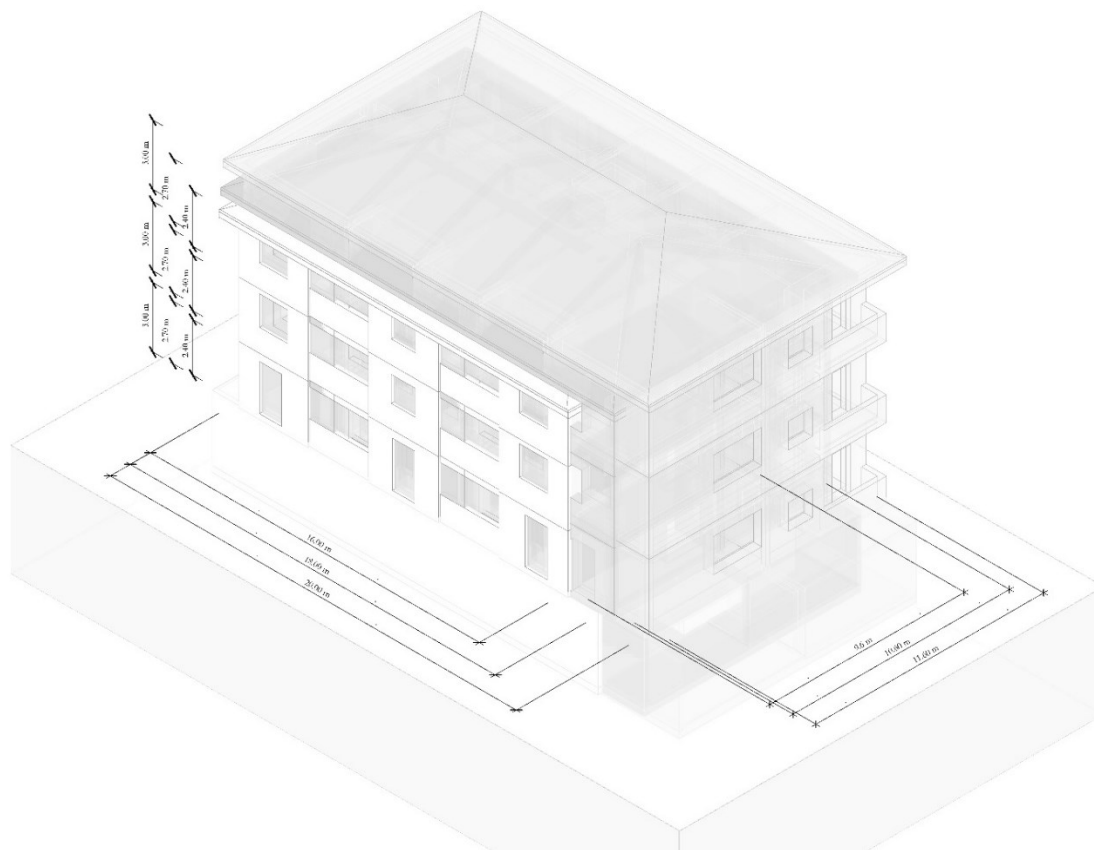


FIG. 23 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria MRB

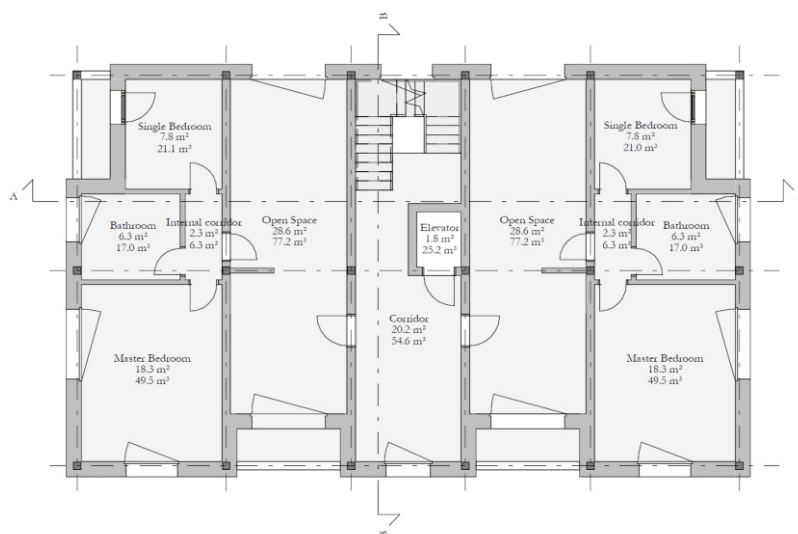


FIG. 24 - MRB: pianta piano tipo



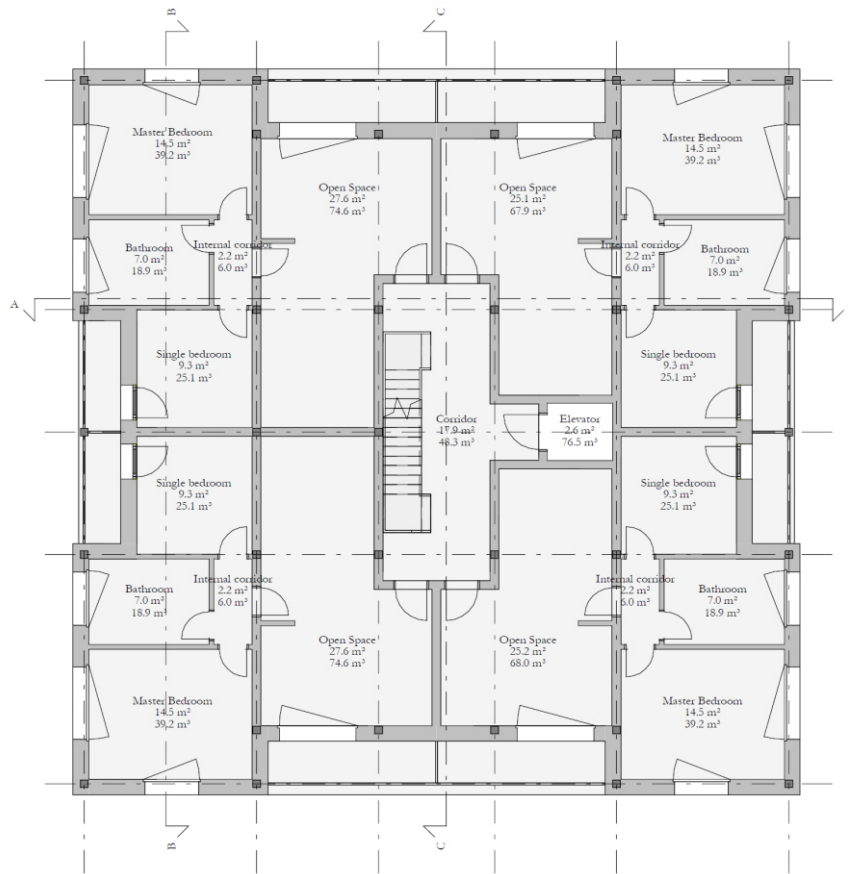


FIG. 26 - LRBv: pianta piano tipo



### 3.4.1.7 Large Residential Building Horizontal (LRBo)

Condominio con 30 appartamenti, corrispondente alla classe di “edifici con 16+ abitazioni”. Fabbricato residenziale con 4 piani fuori terra, ciascuno quindi con 8 appartamenti, ad eccezione dell’ultimo piano che ospita 6 appartamenti e locali tecnici vari, piano interrato dedicato ai garage, 2 vani scala e 2 ascensori in 2 ambienti comuni separati e sottotetto. Ogni appartamento dispone di 2 camere da letto, un bagno e un *open space* in cui sono presenti cucina, sala da pranzo e salotto.

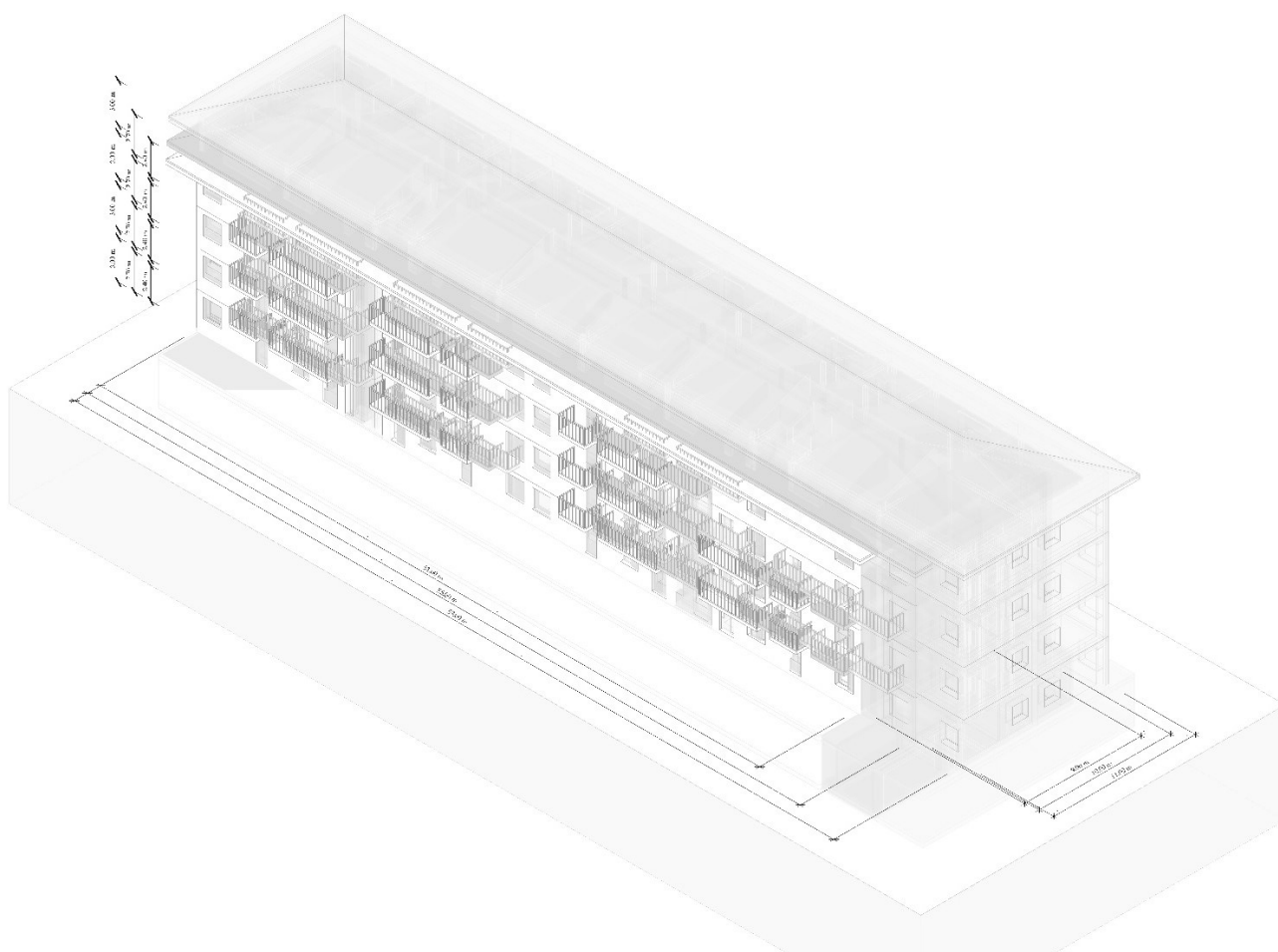


FIG. 27 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBo



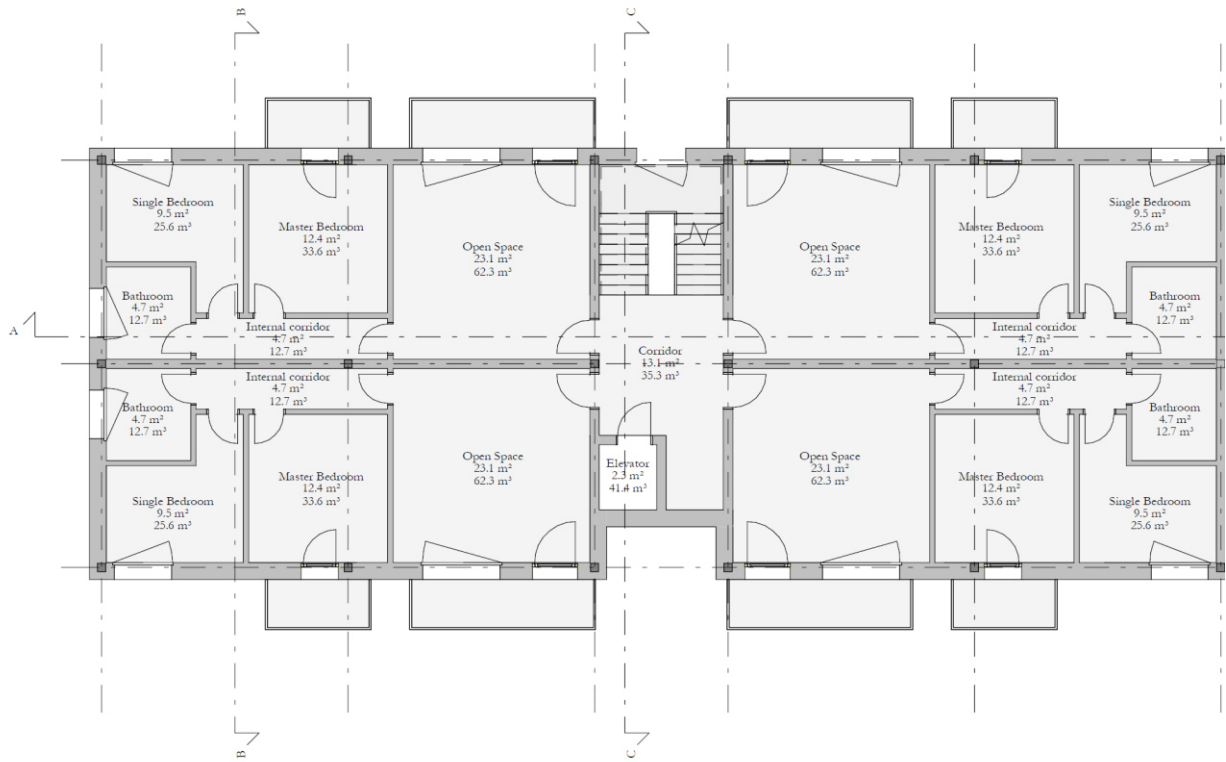


FIG. 28 - LRBo: pianta piano tipo, metà Ovest

### 3.4.2 La variabilità dei modelli

Lo scopo principale della tesi è quello di creare un dataset a partire da un database di modelli BIM che riporta la quantità di materiali presenti nel settore edilizio residenziale italiano relativo alle nuove costruzioni dell'ultimo decennio. Per questo, partendo dai modelli cosiddetti base di ogni archetipo sopra descritti, si è deciso di creare una simulazione della realtà attraverso la realizzazione di una serie di modelli tutti diversi tra loro. La diversità fra essi viene data dalla scelta di determinate tecnologie costruttive tra quelle descritte negli abachi. Di seguito si riporta un elenco completo dei soli elementi soggetti a variabilità, con tutte le relative possibilità di scelta. La variabilità di questi elementi è comune per tutti i modelli, fatta eccezione per i singoli valori dei parametri geometrici, i quali sono precisati singolarmente in Tabella 27

### 3.4.2.1 Archetipi in laterocemento

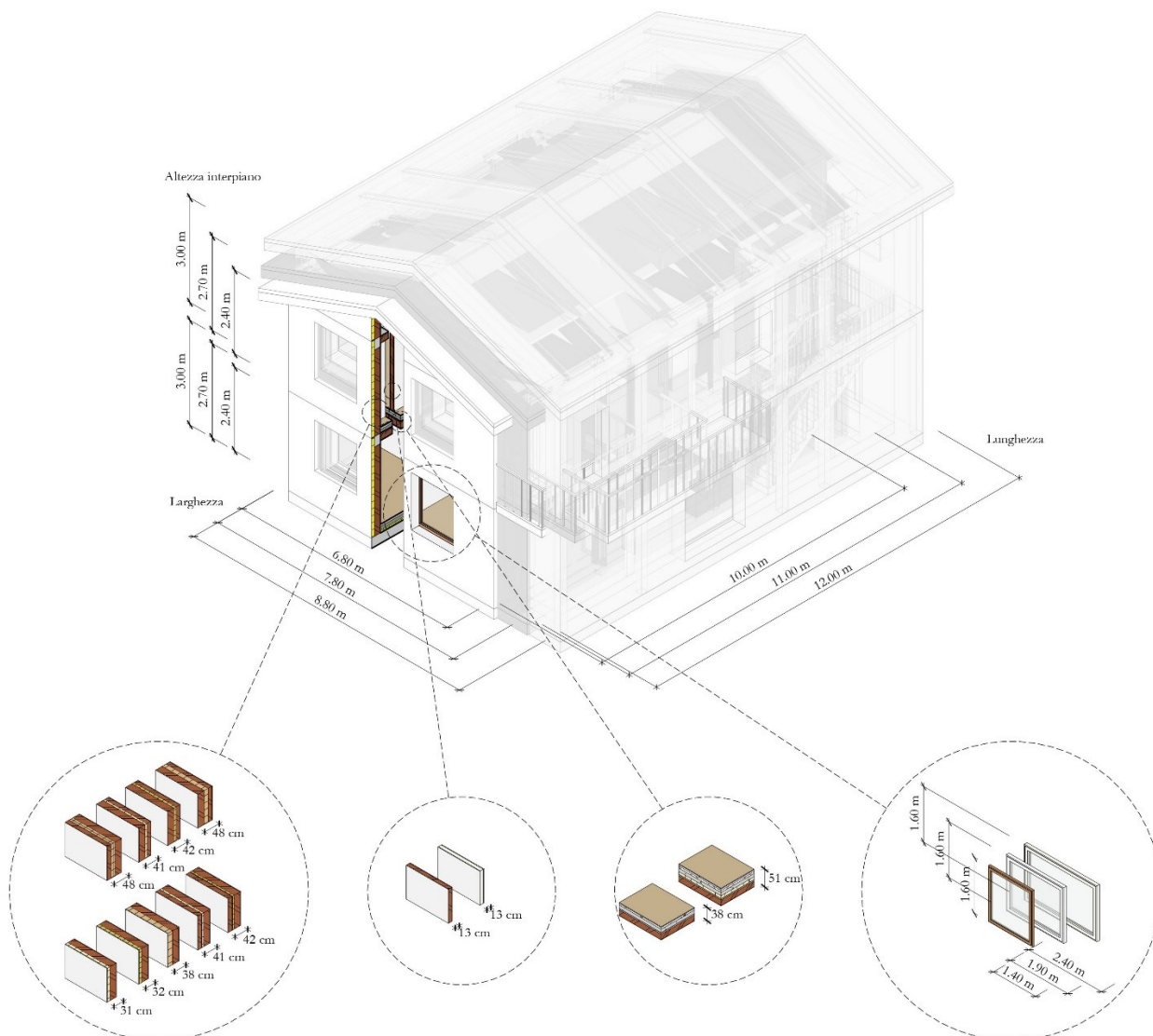


FIG. 29 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in laterocemento

#### Variabilità dimensionale

- Parametri geometrici:
  - Altezza interpiano
  - Larghezza
  - Lunghezza

## Variabilità tecnologica

- Tipi di murature esterne:

Tabella 17 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature esterne

Nome del tipo	Descrizione
WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in XPS
WLL.EXT.2.PLS.BRC.MWL.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in lana di roccia
WLL.EXT.3.PLS.BRC.WFB.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in fibra di legno
WLL.EXT.4.PLS.BRC.XPS.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in XPS
WLL.EXT.5.PLS.BRC.MWL.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in lana di roccia
WLL.EXT.6.PLS.BRC.WFB.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in fibra di legno
WLL.EXT.7.PLS.BRC.XPS.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in XPS
WLL.EXT.8.PLS.BRC.MWL.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in lana di roccia
WLL.EXT.9.PLS.BRC.WFB.BRC.PLS	Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in fibra di legno

- Tipi di murature interne

Tabella 18 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature interne

Nome del tipo	Descrizione
WLL.INT.2.PLS.BRC.PLS	Parete divisoria interna semplice in muratura
WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	Parete divisoria interna semplice in cartongesso

- Tipi di pavimenti architettonici di interpiano:

Tabella 19 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici di interpiano

Nome del tipo	Descrizione
FLR.ARC.2.CNC.CNC.CRM	Pavimento architettonico di interpiano semplice
FLR.ARC.4.XPS.CNC.GRP.CNC.CRM	Pavimento architettonico contro terra o di interpiano con sistema radiante e isolamento in XPS

- Tipi di pavimenti architettonici contro terra:

Tabella 20 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici contro terra

Nome del tipo	Descrizione
FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	Pavimento architettonico contro terra con isolamento in XPS
FLR.ARC.4.XPS.CNC.GRP.CNC.CRM	Pavimento architettonico contro terra o di interpiano con sistema radiante e isolamento in XPS

- Tipi di finestre:

Tabella 21 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di finestre

Nome del tipo	Descrizione	Dimensioni
WND.EXW.1.SLW.WD	Finestra in legno ad una anta. Sezione del telaio piena	140x160 cm 190x160 cm 240x160 cm
WND.EXW.2.SLW.ALM	Finestra in alluminio ad una anta. Sezione del telaio cava	140x160 cm 190x160 cm 240x160 cm
WND.EXW.3.SLW.PVC	Finestra in PVC ad una anta. Sezione del telaio cava	140x160 cm 190x160 cm 240x160 cm

### 3.4.2.2 Archetipi in legno

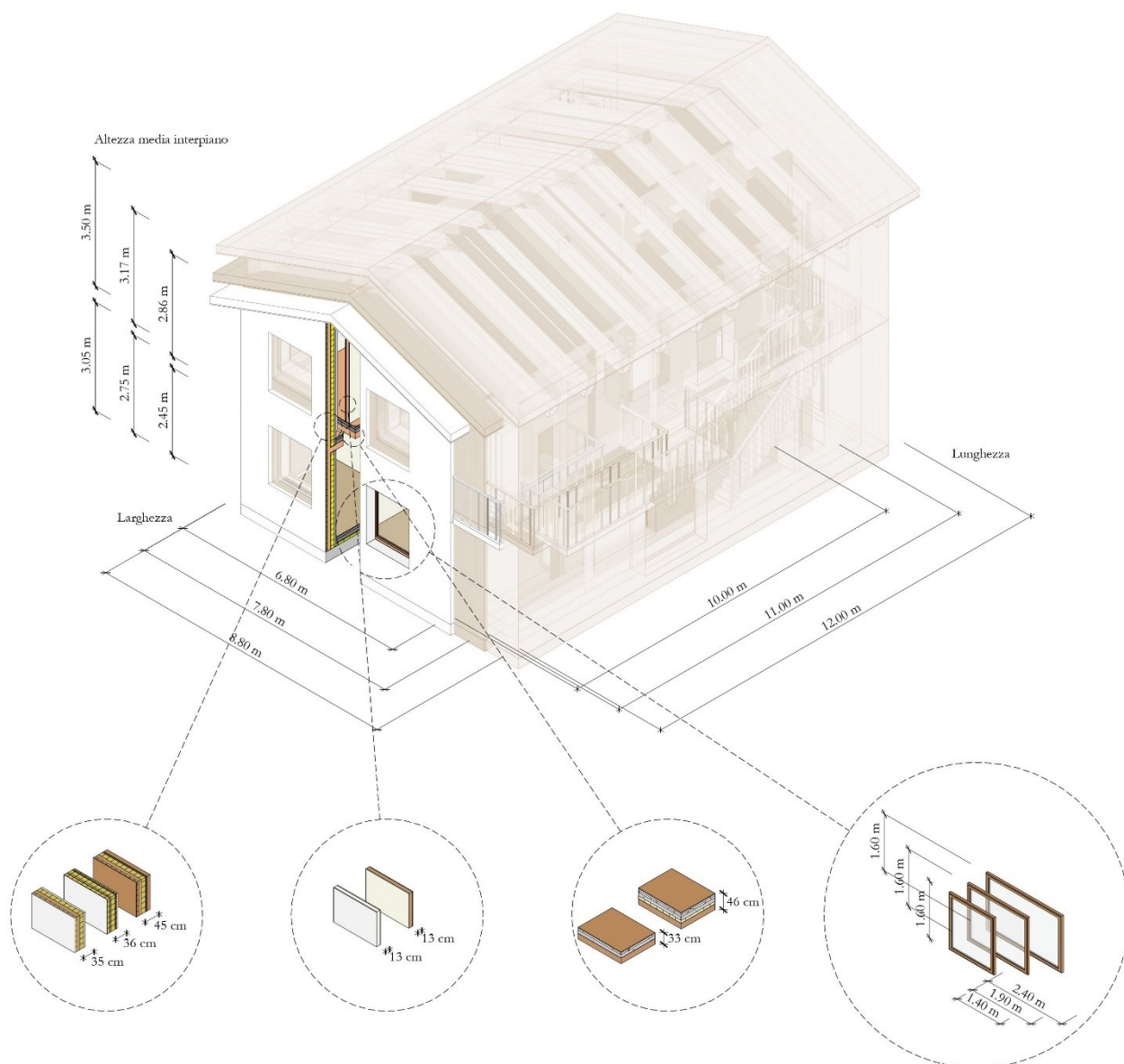


FIG. 30 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in legno

#### Variabilità dimensionale

- Parametri geometrici:
  - Altezza interpiano
  - Larghezza
  - Lunghezza

#### Variabilità tecnologica

- Tipi di pareti verticali strutturali esterne:

Tabella 22 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali strutturali esterne

Nome del tipo	Descrizione
WLL.EXT.11.DRW.MWL.WD.MWL.PLS	Parete strutturale perimetrale in pannelli X-lam con isolamento in lana di roccia
WLL.EXT.12.DRW.MWL.WD.MWL.WD.MWL.PLS	Parete strutturale perimetrale a telaio in legno con isolamento in lana di roccia
WLL.EXT.13.WD.MWL.WD.MWL.WD.WD.WD	Parete strutturale perimetrale ventilata in pannelli X-lam con isolamento in lana di roccia e rivestimento esterno in doghe di legno

- Tipi di pareti verticali interne:

Tabella 23 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali interne

Nome del tipo	Descrizione
WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	Parete divisoria interna semplice in cartongesso
WLL.INT.6.DRW.WD.DRW	Parete divisoria interna semplice in pannelli X-lam

- Tipi di pavimenti architettonici di interpiano

Tabella 24 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici di interpiano

Nome del tipo	Descrizione
FLR.ARC.5.CNC.CNC.WD	Pavimento architettonico di interpiano semplice con finitura in legno
FLR.ARC.6.XPS.CNC.GRP.CNC.WD	Pavimento architettonico di interpiano con sistema radiante, isolamento in XPS e finitura in legno

- Tipi di pavimenti architettonici contro terra

Tabella 25 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici contro terra

Nome del tipo	Descrizione
FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	Pavimento architettonico contro terra con isolamento in XPS
FLR.ARC.4.XPS.CNC.GRP.CNC.CRM	Pavimento architettonico contro terra o di interpiano con sistema radiante e isolamento in XPS

- Tipi di finestre:

Tabella 26 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di finestre

Nome del tipo	Descrizione	Dimensioni
WND.EXW.1.SLW.WD	Finestra in legno ad una anta. Sezione del telaio piena	140x160 cm 190x160 cm 240x160 cm

### 3.4.2.3 Parametri geometrici e volumetrie medie

Viene qui riportata una tabella riassuntiva dei range di variazione dei parametri geometrici, che definiscono la planimetria dei modelli degli archetipi, già illustrati graficamente al capitolo 0. Si è scelta una variazione per i valori massimi e minimi pari circa al 10 % rispetto al valore medio.

Tabella 27 - Range di variazione dei parametri geometrici degli archetipi edilizi divisi per categoria

Categoria	Parametri	Minimo [m]	Medio [m]	Massimo [m]
SFH	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	6.8	7.8	8.8
	<i>Lunghezza</i>	10	11	12
SFHw	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	6.8	7.8	8.8
	<i>Lunghezza</i>	10	11	12
SDH	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	13.6	14.6	15.6
	<i>Lunghezza</i>	8.6	9.6	10.6
SDHw	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	13.6	14.6	15.6
	<i>Lunghezza</i>	8.6	9.6	10.6
MRB	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	16	18	20
	<i>Lunghezza</i>	9.6	10.6	11.6
LRBv	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	16.4	18.4	20.4
	<i>Lunghezza</i>	17.4	18.4	19.4
LRBo	<i>Altezza interpiano</i>	2.4	2.7	3.0
	<i>Larghezza</i>	51	55	59
	<i>Lunghezza</i>	9	10	11



Nella Tabella 28 sottostante viene proposto un confronto tra le volumetrie effettive dei modelli realizzati e le volumetrie calcolate in fase di analisi al fine di comprendere la corretta rappresentazione BIM degli archetipi sopra descritti. I dati sono rapportati in riferimento ad una singola abitazione per categoria.

Tabella 28 - Confronto tra le volumetrie ricavate dalle analisi e quelle ricavate dal modello medio di ogni archetipo

Categoria		Dati analisi	Dati modelli	Errore %
SFH	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	122,55	123,59	0,81
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	330,90	332,31	0,42
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	628,20	608,30	- 3,21
SDH	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	102,72	103,92	1,15
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	277,35	280,77	1,21
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	526,54	531,40	0,91
MRB	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	77,03	77,41	0,49
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	207,97	210,13	1,02
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	394,82	462,52	14,6
LRBv	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	68,37	67,92	0,66
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	184,60	184,07	0,29
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	350,46	329,91	- 6,22
LRBo	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	68,37	68,38	0,01
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	184,60	185,73	0,61
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	350,46	360,94	2,90

Come si può notare superficie e volume utili hanno un errore trascurabile rispetto ai dati ricavati in fase di analisi, inferiore al 1,5%. Per quanto riguarda il volume v/p invece si notano errori maggiori, fino ad un massimo del 15% (vedi Tabella 28). Questo, in particolare per le categorie con più abitazioni, è dovuto alla progettazione degli spazi comuni, per i quali si dispone di meno dati di confronto e la progettazione è meno vincolata (FIG. 24).

### 3.5 *Material Intensity*

Il *Material Intensity* rappresenta la relazione tra massa del materiale e area costruita negli edifici, a livello più ampio si può calcolare la massa totale utilizzata nel settore delle costruzioni.

L'implementazione della variabilità fornisce un dataset di volumi dei materiali per ogni archetipo studiato. Per l'analisi e la visione di questi volumi si rimanda al fascicolo allegato alla trattazione, mentre per analizzare il procedimento utilizzato per il loro calcolo si rimanda alla ricerca già citata di Ygor Fasanella. L'elaborazione dei volumi per calcolare i valori di *Material Intensity* produce a sua volta il database relativo alle tipologie edilizie tipiche del territorio italiano. Questi dati al fine di essere consultati, confrontati ed implementati con altri studi in materia sono riportati nel fascicolo allegato alla ricerca.

#### 3.5.1 Calcolo dell'indice

Di seguito si riportano le principali equazioni utilizzate per il calcolo del *Material Intensity* partendo dal volume di materiale.

I metri cubi di volume vengono moltiplicati per i rispettivi valori di peso specifico a seconda del materiale attraverso l'equazione 3. 1 al fine di ottenerne il valore della massa. (Gontia et al. 2018)

$$M_{i,l} = V_{i,l} \times PS_i$$

3. 1

Dove:

$M_{i,l}$ : massa totale del materiale  $i$  per la tipologia abitativa  $l$  (kg)

$V_{i,l}$ : volume del materiale  $i$  ( $m^3$ )

$PS_i$ : peso specifico del materiale  $i$  ( $kN/m^3$ )

Il valore di *Material Intensity* si configura come rapporto tra massa del materiale e metro quadro di area lorda costruita, come delineato dall'equazione 3. 2

$$MI_{i,m} = \frac{M_{i,m}}{GFA_m}$$

3. 2

Dove:

$i$ : materiale (cls, mattoni...)

$m$ : edificio (casa singola, bifamiliare...)

$M$ : massa (kg)

$GFA$ : area lorda ( $m^2$ )

Si fa riferimento all'equazione 3. 3 per il calcolo del *Material Intensity* di ogni materiale all'interno di ciascuna categoria abitativa. In questi termini si ottiene la media dei valori di indici calcolati per il singolo archetipo.

$$MI_i = \frac{1}{n} \sum_m MI_{i,m}$$

3. 3

Dove:

$n$ : numero di edifici tipici. (Yang et al. 2020).

Gli studi presenti in letteratura scientifica sul tema determinano il valore del *Material Intensity* di un determinato edificio o per la tipologia abitativa con specificità di periodo temporale (Kleemann et al. 2017). L'equazione 3. 4 che descrive la relazione esposta è utilizzata per calcolare la massa del materiale per una tipologia abitativa.<sup>4</sup>

$$M_{m,i,j} = GFA_i \times MI_{m,i}$$

3. 4

Dove:

$M_{m,i}$ : massa del materiale m costruito nella tipologia abitativa i (kg)

$GFA_i$ : area lorda della categoria dell'edificio i (m<sup>3</sup>)

$MI_{m,i}$ : valore specifico di Material Intensity per il materiale m per la categoria abitativa i (kg/m<sup>2</sup>)

Sommando tutti i valori delle masse per ogni tipologia abitativa si ottiene il valore di Material Stock relativo ad un'area geografica e ad un periodo temporale mediante l'equazione 3. 5.

$$M = \sum_{i=1, m=1}^{k,l,m} M_{m,i}$$

3. 5

Il calcolo del material Stock con il procedimento esposto si configura come l'applicazione dell'approccio bottom-up, questo metodo divide i materiali per categoria di prodotti e stima lo stock presente per uno stato attraverso il valore di *Material Intensity*

La domanda di materiale è fondamentale per l'impatto ambientale, ai fini di implementare questa ricerca il material Stock viene calcolato per condurre successivamente delle analisi sul *Life Cycle Assessment* (LCA), ovvero ciclo di vita per i materiali utilizzati nell'edilizia, considerando tutte le fasi che concorrono alla sua esistenza stessa (Marinova et al. 2020).

---

<sup>4</sup> In questa trattazione si utilizza l'area lorda mentre nello studio citato si utilizza il valore di volume lordo.

### 3.5.2 Definizione delle aree lorde degli archetipi

Nella letteratura scientifica molti database di *Material Intensity* sono calcolati considerando come unità funzionale di riferimento 1 m<sup>2</sup> di area lorda costruita. Il dataset calcolato per gli archetipi italiani si allinea alle realtà internazionali armonizzando i dati al valore dell'area lorda riferito all'edificio medio. La scelta è giustificata dai valori della variabilità in pianta delle abitazioni, i quali rientrano in un range assimilabile ai valori medi del parametro. L'assunzione decade se si considera come unità funzionale il volume lordo dell'abitazione, in quanto l'implementazione della variabilità fornisce una distribuzione di valori che si allontana dalla distribuzione media rappresentativa.

Di seguito alcune brevi considerazioni sulle dimensioni rappresentative delle abitazioni. Il volume lordo è più rappresentativo dello spazio dell'abitazione e più specifico per quanto riguarda la quantità del materiale utilizzato nel modello. L'area netta è meno precisa quindi non utilizzata nel calcolo dell'indice di intensità del materiale. L'area lorda risulta più facile da reperire e più documentata nei diversi database che si occupano della materia. (Ortlepp, Gruhler, and Schiller 2018b).

Per queste ragioni si è deciso di armonizzare la ricerca alla letteratura scientifica in modo da poter creare un confronto tra i database di MI esistenti oppure per implementarli con i dati calcolati.

I valori delle aree lorde di ogni tipologia abitativa utilizzati nella ricerca sono riportati in Tabella 29. Inoltre, sono riassunti i dati identificativi quali il codice Uniclass, il numero di piani fuori terra, e l'altezza di interpiano. I dati sono riferiti all'edificio medio.

Tabella 29 - Dati di input degli archetipi per il calcolo del *Material Intensity*

Tipologia Residenziale	Codice Uniclass	Metodo costruttivo	Numero di Piani fuori terra	Area Lorda	Altezza di piano
Casa singola	Ac_45_45	Calcestruzzo e mattoni	2	170	2,7
		Legno	2	170	2,7
Casa bifamiliare	Ac_45_45	Calcestruzzo e mattoni	2	280	2,7
		Legno	2	280	
Piccolo condominio	Ac_45_45	Calcestruzzo e mattoni	3	808	2,7
Condominio verticale	Ac_45_45	Calcestruzzo e mattoni	8	3028	2,7
Condominio orizzontale	Ac_45_45	Calcestruzzo e mattoni	4	3176	2,7



## Risultati

Il capitolo rappresenta i valori di *Material Intensity* calcolati attraverso l'ausilio di grafici adatti. In prima battuta si considerano i dati relativi alla variabilità evidenziandone l'andamento. Questi valori vengono poi considerati con il loro valore medio al fine di condurre dei confronti fra tipologie abitative e materiali. Altri due aspetti analizzati sono la variazione dell'unità funzionale utilizzata per il calcolo del *Material Intensity* e i valori degli indici presenti all'interno dei systems appartenenti alla classificazione Uniclass.

### 4.1 Diagrammi a baffi

Il diagramma a baffi o a scatola è stato costruito ed utilizzato per evidenziare l'andamento dei volumi dato dalla variabilità dei modelli. Ogni scatola è il risultato di mille valori, questi considerati poi per ogni tipologia edilizia, il totale è di 7000 valori per tutte le tipologie costruttive ed abitative analizzate.

Il diagramma a baffi o a scatole (FIG. 31) è composto da una scatola centrale di forma rettangolare, all'interno della quale sono racchiusi i valori compresi tra il 25° e il 75° percentile, il valore medio è rappresentato all'interno della scatola, la linea mediana se posta al centro determina dei valori simmetrici nella distribuzione. I baffi si configurano come le due linee verticali che fuoriescono dalla scatola e rappresentano i valori di minimo e massimo all'interno della distribuzione. Gli elementi rappresentati come puntuali al di fuori del grafico sono denominati outliers in quanto si discostano dalla distribuzione tipica dei dati.

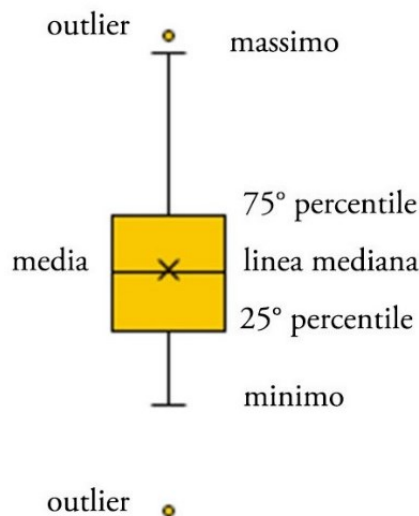


FIG. 31 - Legenda del diagramma a baffi

I diagrammi a baffi sono un punto di partenza per la lettura del database di dati. Infatti, se la scatola del diagramma presenta un valore di mediana basso e una distribuzione percentile verso il basso significa che i valori alti di *Material Intensity* presenti nel database sono valori lontani dalla distribuzione tipica per quella tipologia abitativa.

#### 4.1.1 Archetipi in calcestruzzo e mattoni

I materiali sono stati suddivisi in materiali strutturali, materiali di substrato, isolanti e materiali di finitura. I grafici di ogni famiglia di materiale rappresentano il confronto dei valori per ogni tipologia abitativa. In FIG. 32 è rappresentato il diagramma a scatole relativo ai materiali strutturali, in particolare al calcestruzzo e ai mattoni, si evidenzia come in linea generale i dati risultino simmetrici nella loro distribuzione. I range di valori di *Material Intensity* per il calcestruzzo strutturale sono compresi in un intervallo 700-1300 kg/m<sup>2</sup>. I valori sono minori per i mattoni strutturali, infatti l'intervallo è 100-500 kg/m<sup>2</sup>.

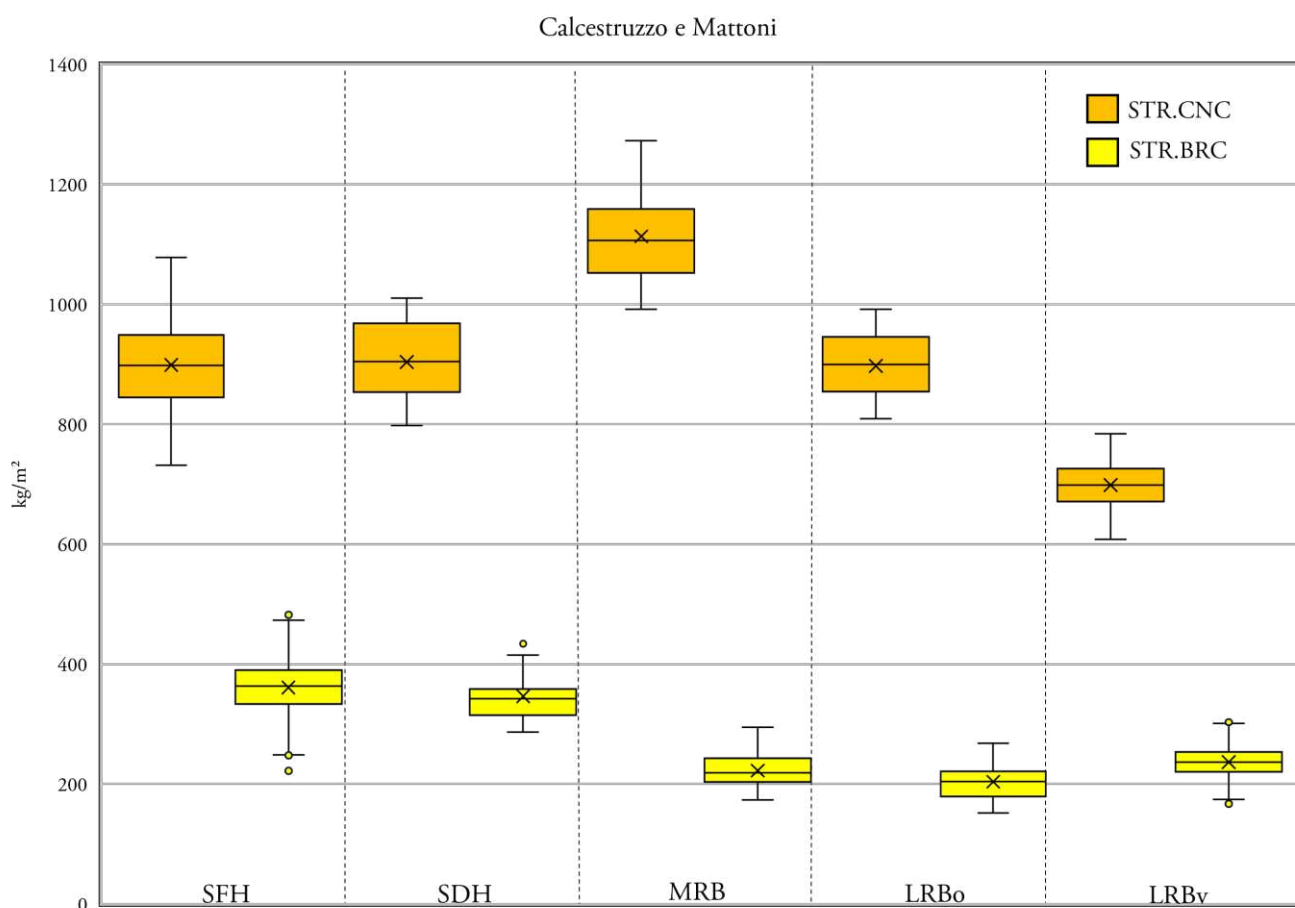


FIG. 32 - Diagramma a baffi calcestruzzo e mattoni



I materiali che si configurano come percentuale di calcestruzzo e mattone sono rispettivamente acciaio di armatura e malta.

La loro distribuzione di dati riportata in FIG. 33 evidenzia un range di valori con intervalli minori. Per la malta l'intervallo è tra 25 kg/m<sup>2</sup> e 119 kg/m<sup>2</sup>, per l'acciaio l'intervallo risulta essere 30 kg/m<sup>2</sup> e 65 kg/m<sup>2</sup>. La simmetria dei dati in alcuni casi viene meno soprattutto nel caso della malta per la casa singola. Si evidenzia come la variabilità della malta sia maggiore, si considerano valori più ampi nella sua distribuzione rispetto all'acciaio che presenta delle scatole più corte.

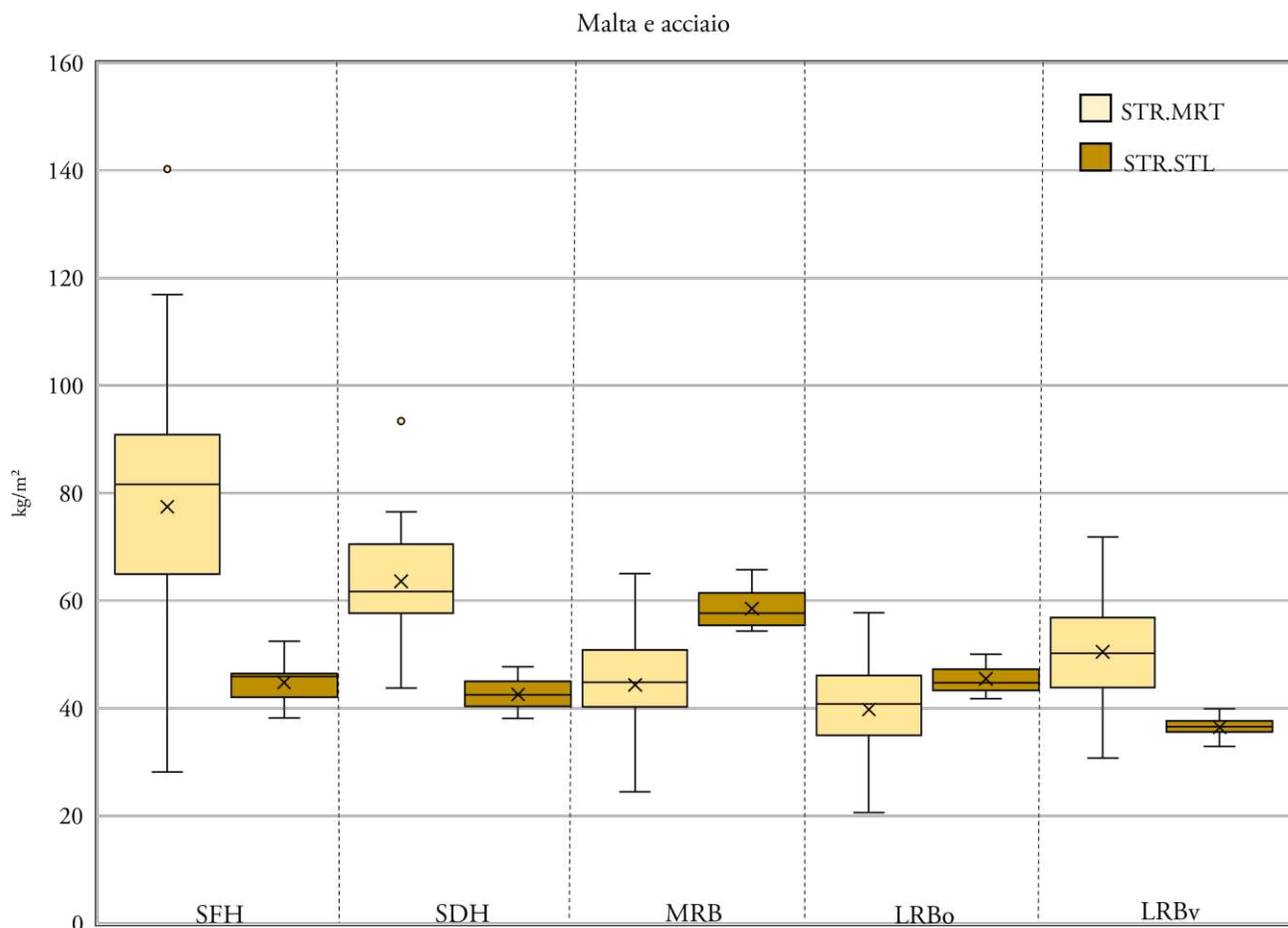


FIG. 33 - Diagramma a baffi malta e acciaio di armatura

I materiali di substrato (FIG. 34) presentano dei valori minori di *Material Intensity* rispetto ai materiali strutturali. Si evidenzia come nella rappresentazione del grafico sono stati trascurati dei materiali quali il pannello del riscaldamento a pavimento in graffite (SUB.GRP) e il cartongesso utilizzato per le tramezze interne (SUB.DRW), infatti, i due hanno dei valori molto bassi di *Material Intensity* rispetto agli altri materiali utilizzati. I mattoni utilizzati per il substrato hanno un intervallo tra 30 kg/m<sup>2</sup> e 170kg/m<sup>2</sup>. Il calcestruzzo vede l'intervallo da 120 kg/m<sup>2</sup> fino a 230 kg/m<sup>2</sup>.

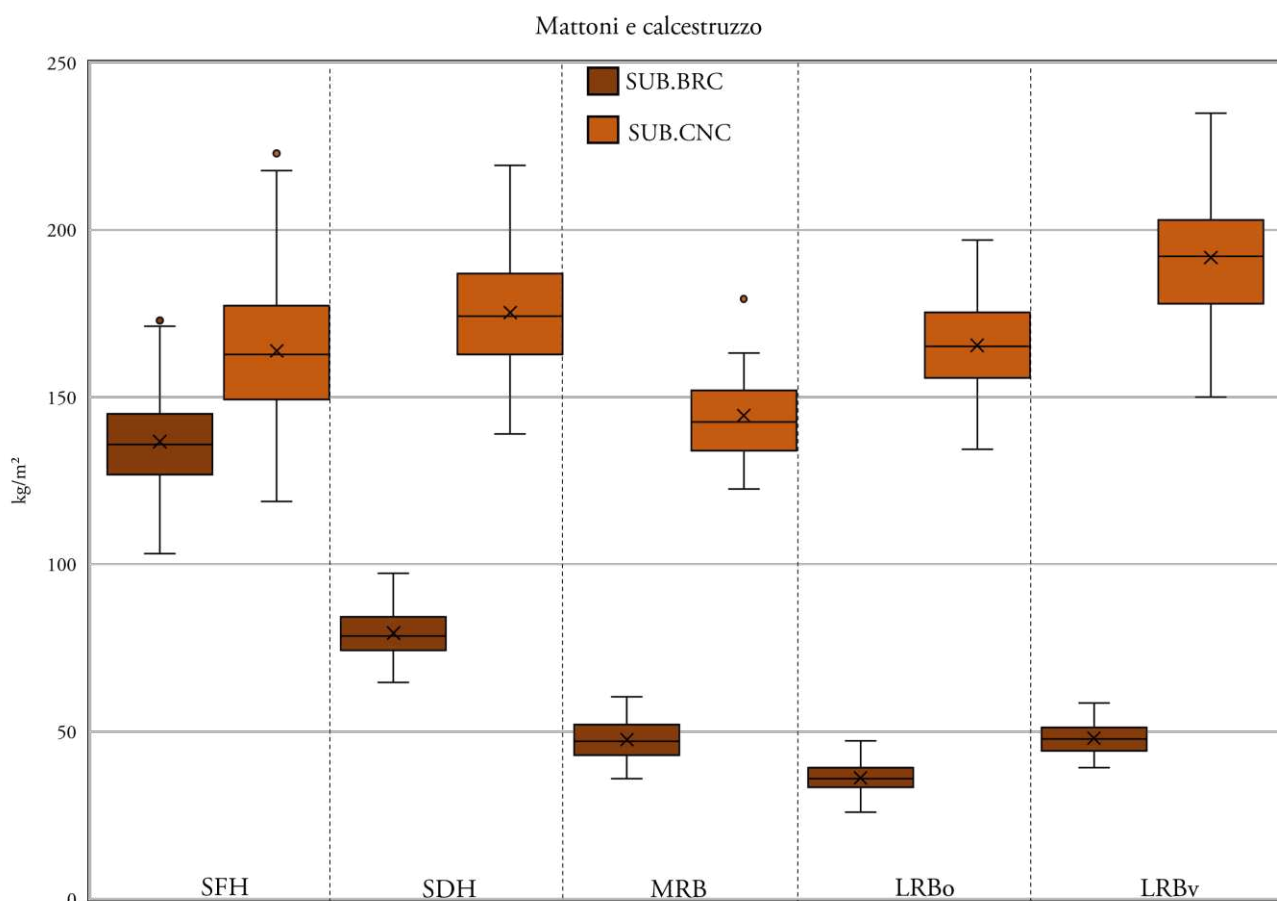


FIG. 34 - Diagramma a baffi materiali di substrato

La rappresentazione della distribuzione dei valori per i materiali isolanti rappresentata in FIG. 35 rispecchia il calcolo condotto per determinare lo spessore minimo di isolante.

Risulta infatti che il materiale utilizzato con uno strato minore è appunto l'isolamento in XPS ( 2 kg/m<sup>2</sup>- 7 kg/m<sup>2</sup>) mentre l'isolante fatto con fibra di legno ha uno spessore maggiore e i valori di *Material Intensity* sono maggiori (6 kg/m<sup>2</sup>-36 kg/m<sup>2</sup>). I valori centrali dell'indice sono rappresentati dall'isolamento in lana di roccia che presenta infatti uno spessore intermedio tra i tre materiali analizzati (4 kg/m<sup>2</sup>-7 kg/m<sup>2</sup>)

La rappresentazione risulta essere molto utile ed efficace per una scelta del miglior isolante a parità di prestazione energetica. Infatti, considerando la zona climatica E si può determinare quale sia l'isolante che sfrutta la quantità di materiale minore

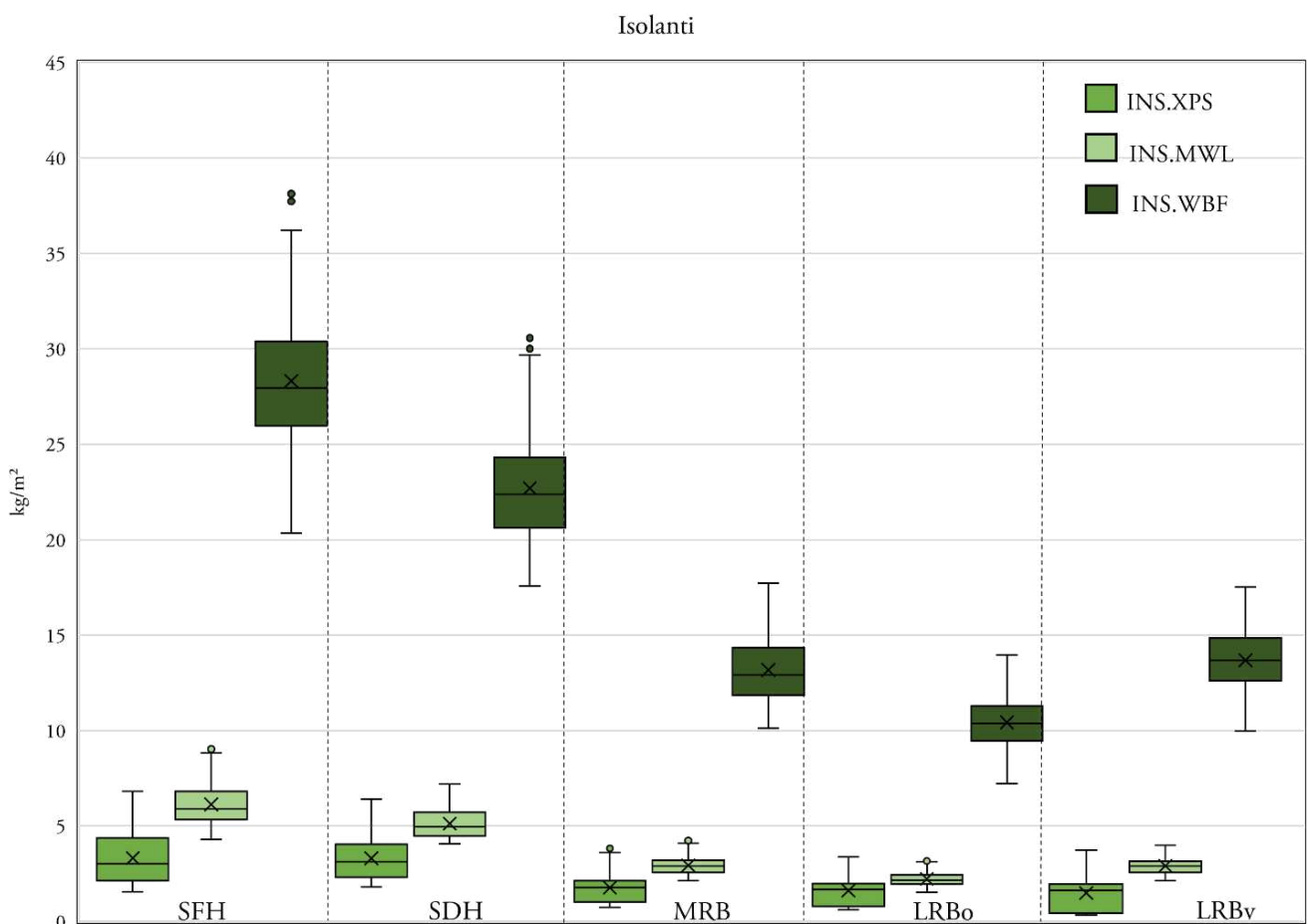


FIG. 35 - Diagramma a baffi isolanti

I materiali di finitura (FIG. 36) vedono i valori maggiori di *Material Intensity* per il calcestruzzo di finitura e l'intonaco; infatti, i valori di minimo tra i due sono  $50 \text{ kg/m}^2$  e i valori di massimo sono  $120 \text{ kg/m}^2$ . Il materiale PVC utilizzato nella rifinitura delle finestre non è stato inserito nella rappresentazione del grafico a causa dei piccoli valori di *Material Intensity* che rappresenta. Dal grafico si evidenzia come i materiali presentano una distribuzione simmetrica nella maggioranza dei casi, tranne per il vetro di finitura che presenta una linea mediana tendente verso valori molto alti.

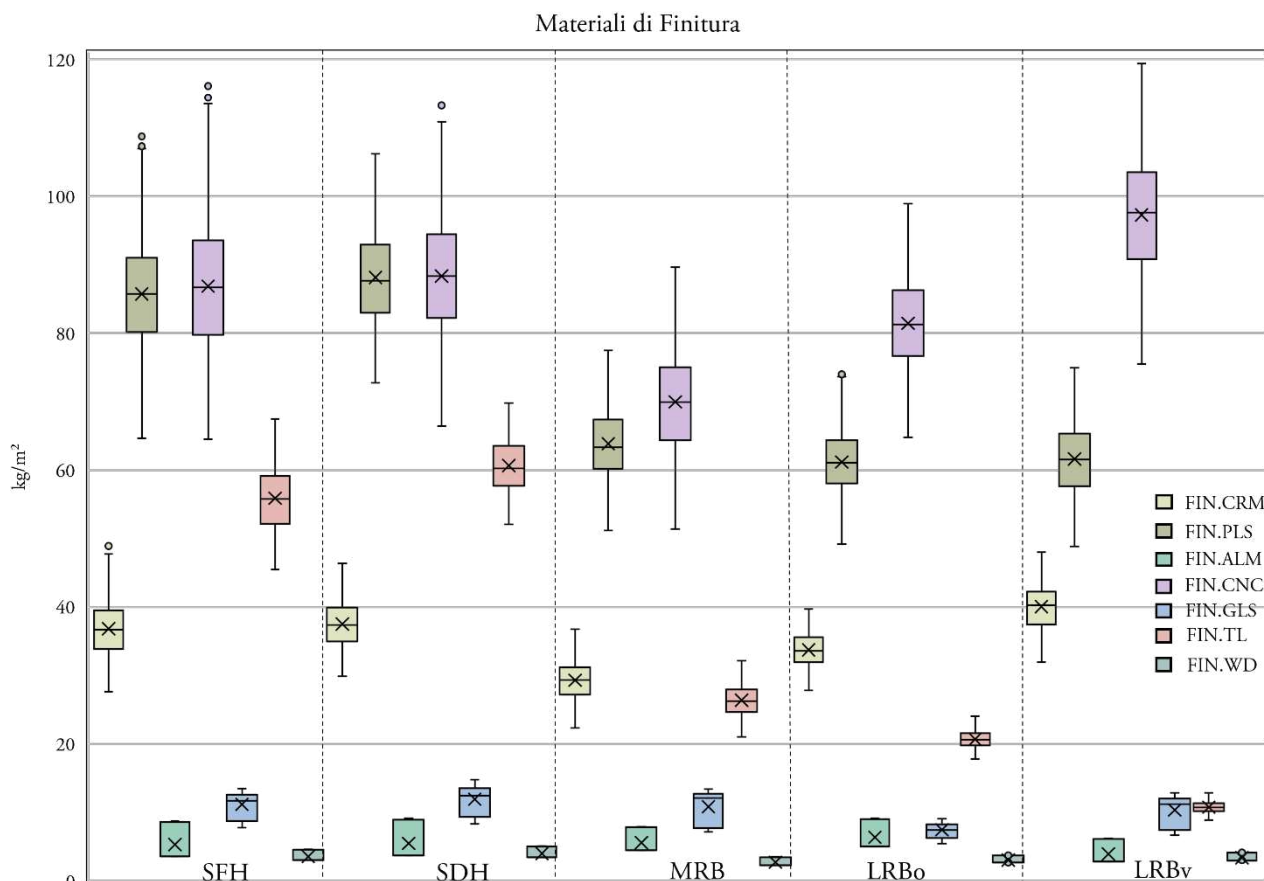


FIG. 36 - Diagramma a baffi materiali di finitura

### 4.1.2 Archetipi in legno

Con il metodo costruttivo in legno (FIG. 37) si evidenzia come i range di *Material Intensity* diminuiscono per il calcestruzzo strutturale, l'intervallo risulta essere 240 kg/m<sup>2</sup>-450 kg/m<sup>2</sup>. I mattoni strutturali non vengono utilizzati mentre si rappresenta l'andamento dei valori in legno. Questi, anche essendo il materiale principale per la tipologia costruttiva, delincono dei range minori (130-270 kg/m<sup>2</sup>) in quanto il peso specifico del legno rispetto al calcestruzzo è molto minore. Per i materiali di substrato la tipologia costruttiva in legno utilizza solamente il calcestruzzo alleggerito come rappresentato in FIG. 38, l'intervallo di valori risulta essere 120-220 kg/m<sup>2</sup>.

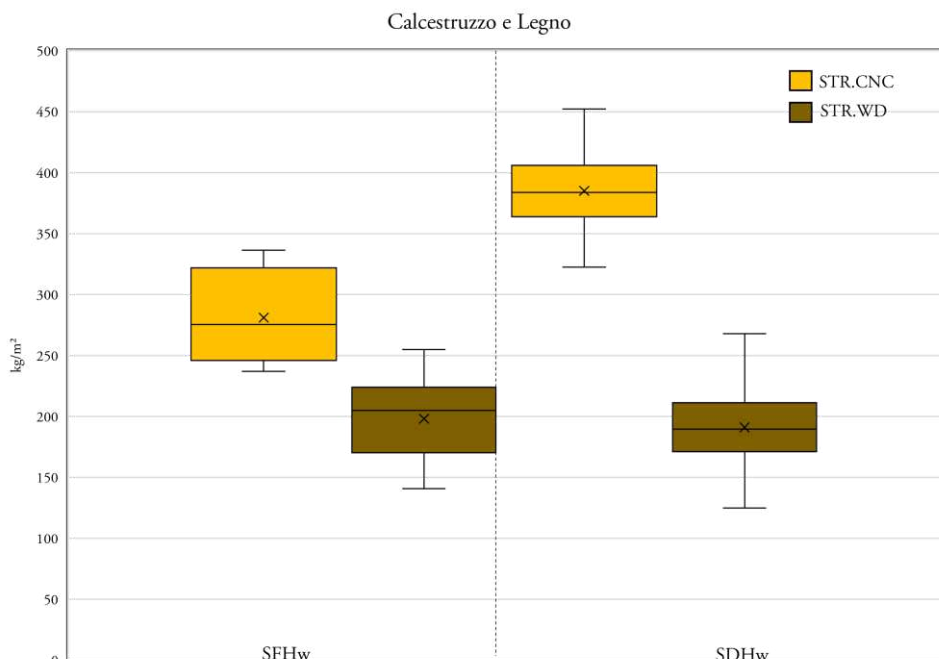


FIG. 37 - Diagrammi a baffi materiali strutturali casa in legno

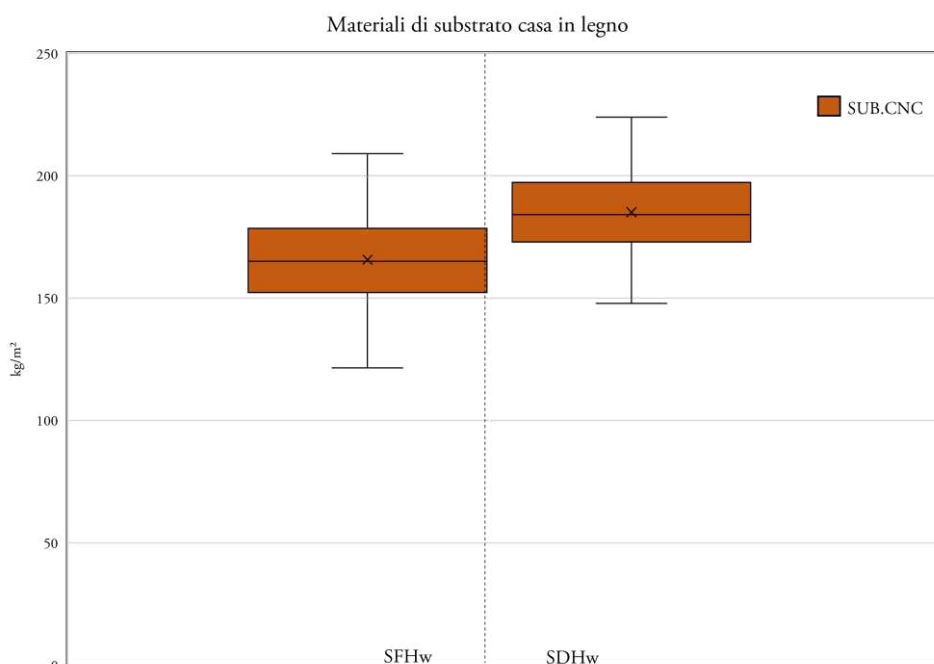


FIG. 38 - Materiali di substrato casa in legno

I materiali isolanti (FIG. 39) vedono un aumento di valori per l'isolamento in lana di roccia, (15-28 kg/m<sup>2</sup>) questo è dovuto alla definizione dei dettagli costruttivi per la casa in legno, che utilizza il materiale non solo ai fini di isolamento ma anche come substrato strutturale combinato al materiale legno.

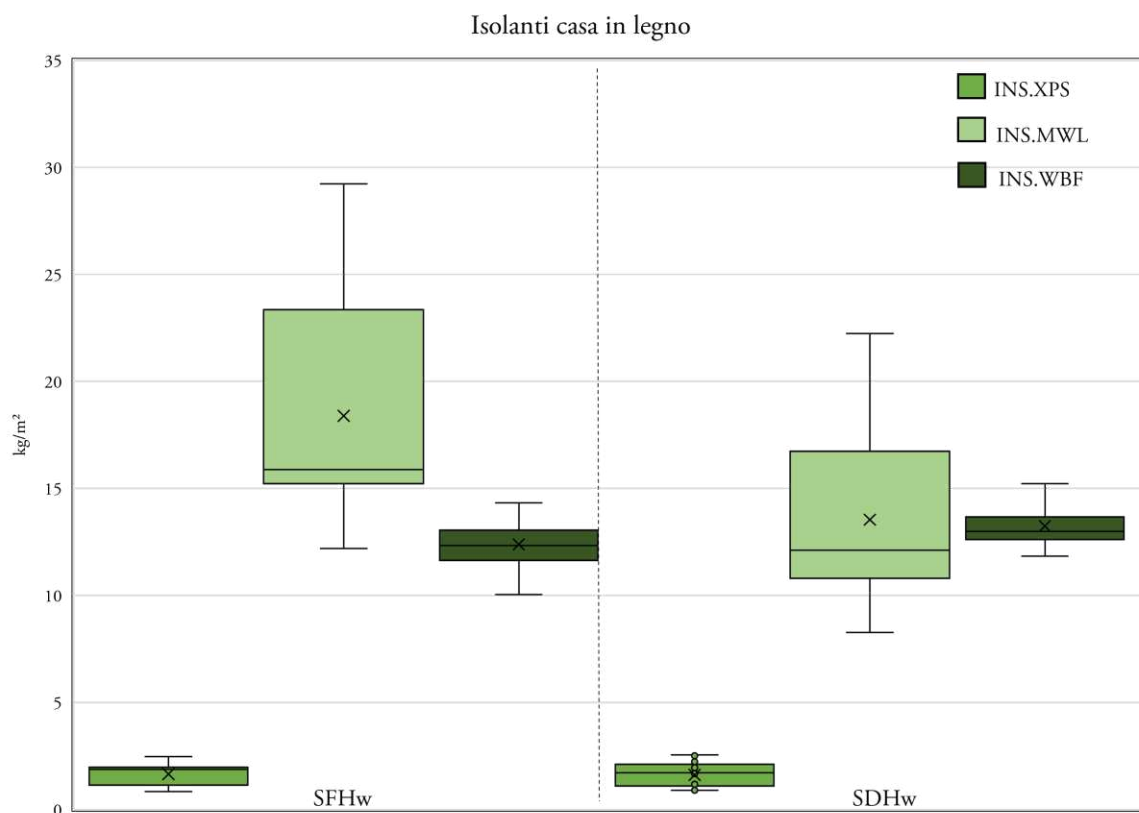


FIG. 39 - Materiali isolanti casa in legno

I materiali di finitura (FIG. 40) vedono una forte asimmetria della distribuzione per il materiale intonaco, questo è dovuto all'utilizzo di una copertura esterna in perline. Infatti, dall'altra parte il materiale legno di finitura ha dei range molto grandi di valori e fortemente asimmetrici (19-150 kg/m<sup>2</sup>), con un valore mediano molto basso. La variabilità generata dei modelli e l'utilizzo o meno delle perline porta a questa conformazione di dati.

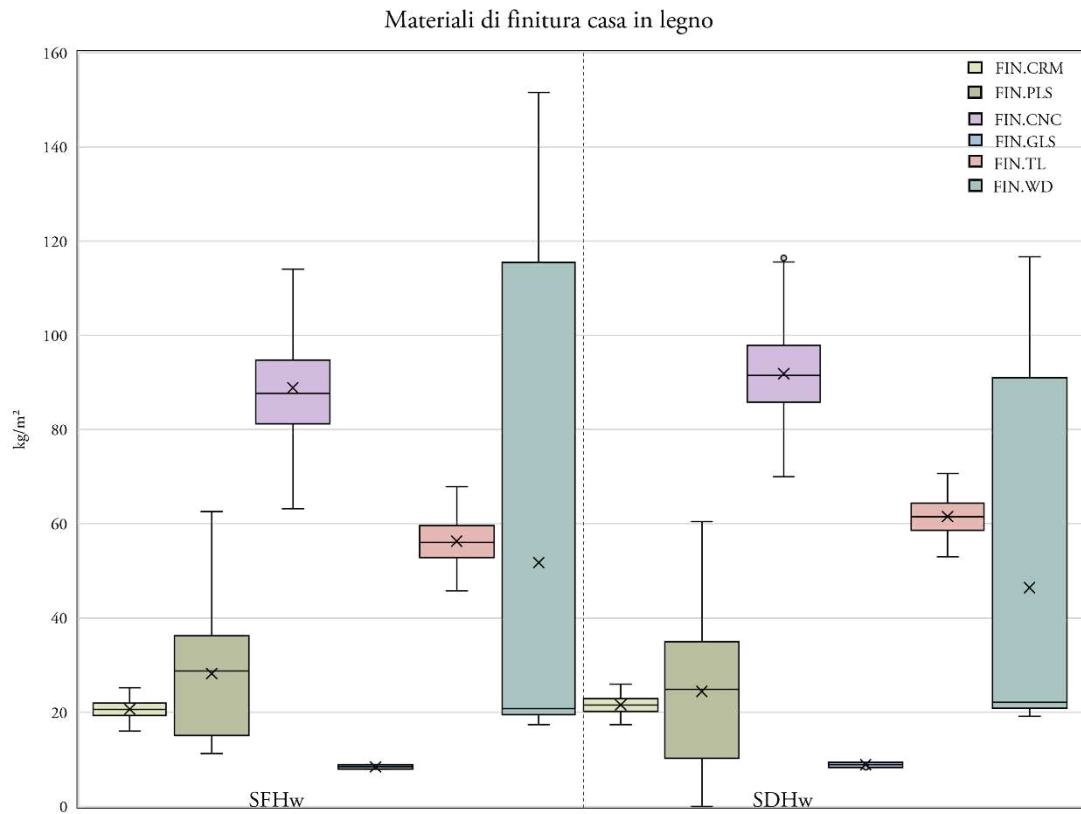


FIG. 40 - Diagramma a baffi materiali di finitura casa in legno

## 4.2 Confronto dei *Material Intensity* negli archetipi italiani

I materiali sono stati divisi in 6 classi al fine di analizzare al meglio gli indici di intensità dei materiali in relazione agli archetipi analizzati. I valori di *Material Intensity* considerati sono valori medi rispetto alla distribuzione analizzata nel paragrafo precedente, si è considerato quindi il valore medio di volume ricavato dall'analisi Montecarlo per condurre quest'analisi qualitativa.

La suddivisione dei materiali in famiglie è rappresentata in Tabella 30, la sua struttura è molto utile per condurre un confronto di valore totale di *Material Intensity* analizzando i valori degli stessi per materiali simili presenti all'interno della tipologia abitativa, (Schiller et al. 2019).

Tabella 30 - Suddivisione dei materiali in 6 famiglie

Famiglia	Materiale
Metalli	FIN.ALM, STR.STL
Altri materiali	FIN.CRM, FIN.GLS, FIN.PVC, INS.WFB, INS.XPS, INS.MWL, SUB.DRW, SUB.GRP
Mattoni e malta	FIN.TL, STR.BRC, SUB.BRC, FIN.PLS, STR.MRT
Legno	FIN.WD
Calcestruzzo	STR.CNC
Aggregati	SUB.CNC, FIN.CNC

I calcoli relativi alle quantità di *Material Intensity* per le famiglie appena descritte sono riportati in Tabella 31. Il calcolo viene ripetuto per ogni archetipo edilizio analizzato, nell'ultima colonna viene calcolato il valore totale di *Material Intensity* per ogni tipologia edilizia.



Tabella 31 - Valori di *Material Intensity* per le 6 classi di materiali nelle tipologie abitative

Tipologie abitative	kg/m <sup>2</sup>						Totale
	Aggregati	Calcestruzzo	Mattoni e malta	Legno	Metalli	Altri materiali	
SFH	264,30	898,94	646,32	3,56	49,21	64,08	1926,40
SFHw	267,09	378,14	80,09	246,14	21,27	69,28	1062,01
SDH	268,55	884,99	609,23	3,97	47,43	62,23	1876,41
SDHw	281,99	384,88	86,06	237,42	22,12	68,03	1080,50
MRB	218,92	1116,90	346,03	2,67	63,67	46,52	1794,71
LRBo	253,13	897,38	344,02	3,01	52,03	48,23	1597,79
LRBv	283,74	283,74	387,86	3,38	39,90	58,20	1056,807

In FIG. 41 viene rappresentato un istogramma per confrontare i valori di *Material Intensity* nelle diverse tipologie abitative. Si evidenzia come al crescere della grandezza dell'edificio il valore dell'indice diminuisce. La casa singola ha il valore più alto di *Material Intensity*, mentre il condominio verticale ha il valore più basso. Si evidenzia come l'utilizzo della tipologia costruttiva in legno faccia diminuire molto il totale della somma degli indici di material intensity.

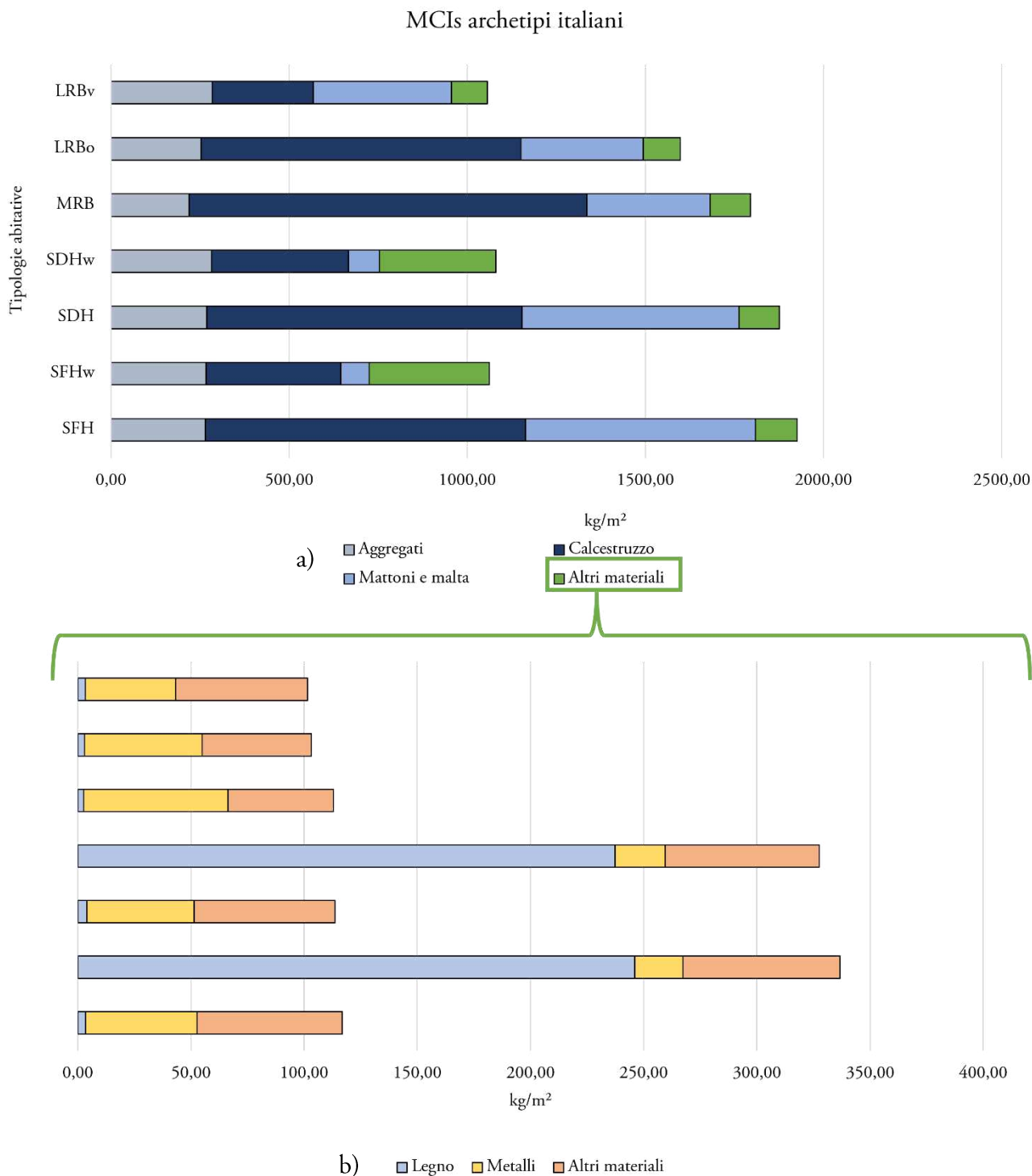


FIG. 41 - a) MCIs negli archetipi italiani per materiali costruttivi principali; b) MICs degli altri materiali utilizzati nelle costruzioni

A livello percentuale si evidenzia quale siano i materiali che incidono di più sul totale del calcolo del *Material Intensity*. In figura FIG. 42 si evidenzia come la frazione maggiore sia dovuta a causa dell'uso di mattoni e malta, seguiti dal calcestruzzo strutturale. I valori dei mattoni e della malta sono molto inferiori rispetto al metodo costruttivo tradizionale, questi infatti fanno riferimento solamente ai coppi di finitura e all'intonaco.

Nella casa in legno i valori sono minori per il calcestruzzo, aumentano i valori degli aggregati questo perché la densità è molto alta rispetto al legno.

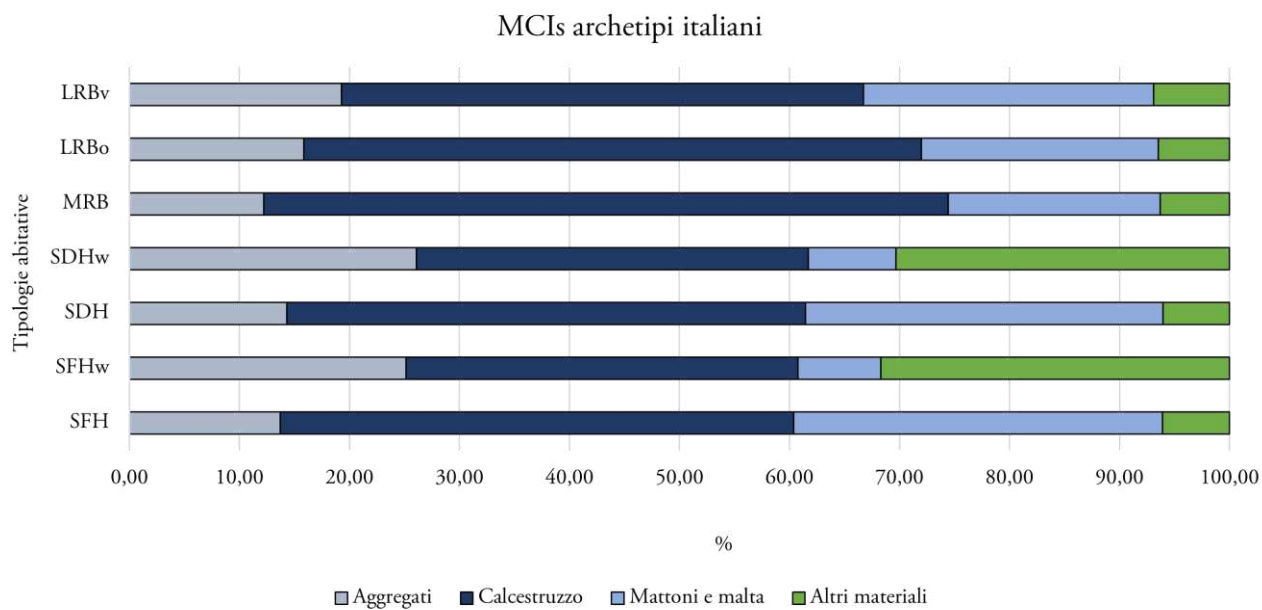


FIG. 42 - MIs negli archetipi italiani, valori percentuali

### 4.3 Percentuali *Material Intensity* per composizione chimica

I materiali utilizzati negli archetipi edilizi sono stati raggruppati e studiati a seconda della composizione chimica, sono stati suddivisi infatti per materiali organici, minerali e metalli (Kleemann et al. 2017). Quest'analisi può essere utile per determinare il riciclo del materiale stesso e per comprendere la percentuale d'uso di materiale organico nelle abitazioni costruite con un metodo costruttivo tradizionale rispetto alle abitazioni in legno.

I risultati calcolati per le tre grandi famiglie appena definite sono riportati in Tabella 32 si evidenzia come i minerali rappresentano una grande percentuale sul totale. Il calcolo riguarda la tipologia della casa singola, per le altre tipologie i valori risultano gli stessi. Analizzando il metodo costruttivo in legno per la casa singola si ottengono i valori indicati in Tabella 33 e si evidenzia come l'incidenza del materiale minerale si abbassa al 72% a favore di materiale organico che passa dall'1% al 26%.

Tabella 32 - Incidenza *Material Intensity* in minerali, materiali organici e metalli nella casa singola in laterocemento

	<i>Material Intensity</i> (kg/m <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
Minerali non-metallici	1858,87	96
Metalli	49,21	3
Organici	18,32	1
Totale	1926,40	100

Tabella 33 - Incidenza *Material Intensity* in minerali, materiali organici e metalli nella casa singola in legno

	<i>Material Intensity</i> (kg/m <sup>2</sup> )	Percentuale (%)
Minerali non-metallici	761,63	72
Metalli	21,27	2
Organici	279,11	26
Totale	1062,007	100

Si opera un'ulteriore suddivisione per analizzare meglio le percentuali di materiali a livello grafico, la classificazione attuata è riportata in Tabella 34 come sotto classificazione di metalli, minerali e materiali organici.

Tabella 34 - Sotto classificazione dei materiali per composizione chimica

METALLI	MINERALI NON-METALLICI: Calcestruzzo, Mattoni, Malta e intonaco, Altri minerali			ORGANICI	
FIN.ALM STR.STL	STR.CNC FIN.CNC SUB.CNC	STR.BRC SUB.BRC	STR.MRT FIN.PLS	FIN.CRM FIN.GLS FIN.TL SUB.DRW FIN.DRW SUB.GRP	INS.XPS INS.WFB INS.MWL STR.WD FIN.PVC FIN.WD

In questo paragrafo si riportano i dati dell'analisi per la casa singola (FIG. 43) in quanto le percentuali sono le stesse per le altre tipologie abitative. I grafici nel loro insieme sono riportati e rappresentati in Appendice D: valori di *Material Intensity* per composizione chimica dei materiali.

Il diagramma torta nella torta rappresenta la ripartizione dei materiali organici. Questa demarcazione viene utilizzata per confrontare i valori di materiali organici per la casa costruita con mattoni e calcestruzzo rispetto alla casa costruita in legno rappresentati in FIG. 44.

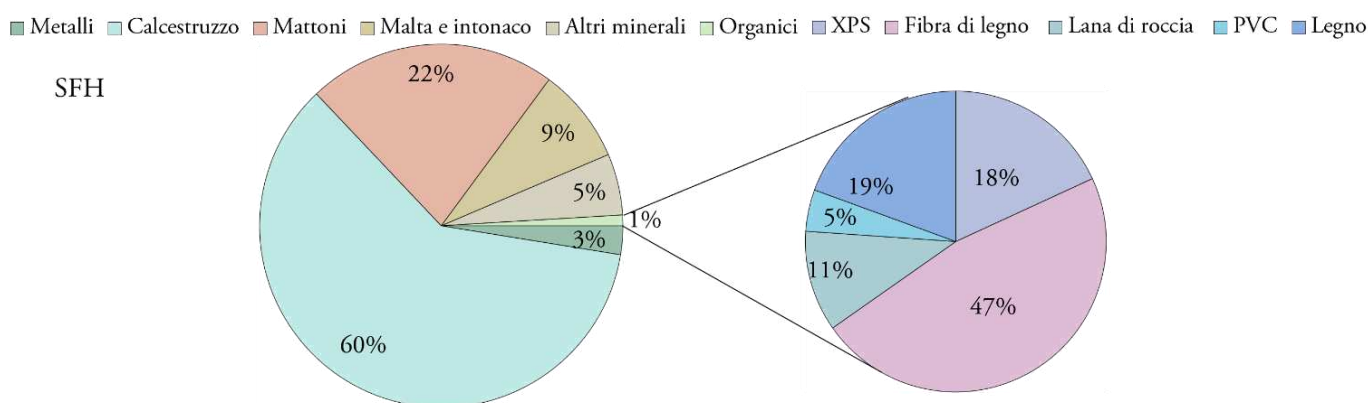


FIG. 43 - Torta nella torta casa singola

La casa singola in laterocemento utilizza circa 1% di materiali organici, i quali vedono una percentuale maggiore (47%) di fibra di legno, gli altri valori sono relativi al legno, lana di roccia e infine PVC.

La casa costruita in legno vede una percentuale totale di materiale organico al 26%. Questi materiali sono con una percentuale maggiore il legno (61%) seguiti poi da lana di roccia, fibra di legno e XPS.

■ Metalli ■ Calcestruzzo ■ Malta e intonaco ■ Altri minerali ■ Organici ■ XPS ■ Fibra di legno ■ Lana di roccia ■ Legno

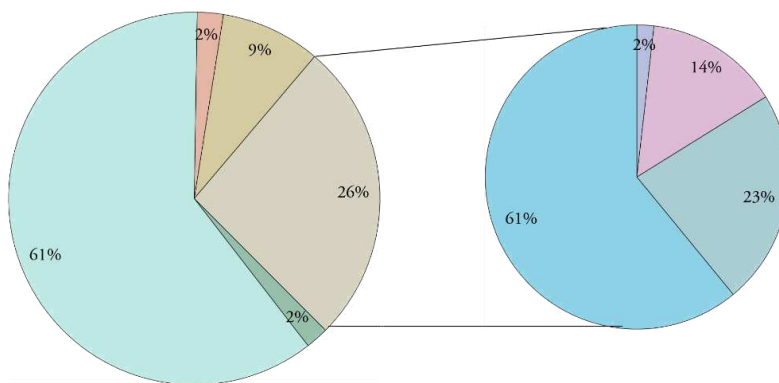


FIG. 44 - Torta nella torta casa singola in legno

#### 4.4 Unità funzionali per il calcolo MI

Il calcolo del *Material Intensity* come esposto in questa ricerca utilizza come parametro di base l'area lorda dell'edificio. In questo paragrafo si analizza come questo sia il parametro più funzionale per il calcolo dell'indice; infatti, si analizza come varia l'indice di intensità dei materiali se si utilizza un'altra unità funzionale, ad esempio, il numero delle abitazioni presenti in un archetipo oppure il numero di camere da letto. I dati di input degli archetipi analizzati sono riportati in Tabella 35.

Tabella 35 - Unità funzionali negli archetipi

Archetipo	Piani fuori terra	Area lorda edificio	Numero di camere da letto	Numero di abitazioni
SFH	2	170	3	1
SDH	2	280	6	2
MRB	3	808	12	6
LRBv	7	3028	56	30
LRBo	4	3176	64	32

Per determinare quale sia l'unità funzionale adatta a misurare l'indice senza avere troppo margine di variabilità si è calcolato il coefficiente di variabilità dell'equazione (4. 1) espresso in valore percentuale.

$$c. v. = \frac{\sigma(MI)}{\mu(MI)} \%$$

(4. 1)

$\sigma$ : deviazione standard valori di MI %

$\mu$ : media valori di MI %

Per il calcolo dell'indice i valori di *Material Intensity* per ogni materiale sono stati considerati in valori percentuali per una facilità di comprensione e di utilizzo del dato. Il diagramma che riassume l'andamento del coefficiente di variabilità ordinando i valori dal minore al maggiore è rappresentato in FIG. 45.

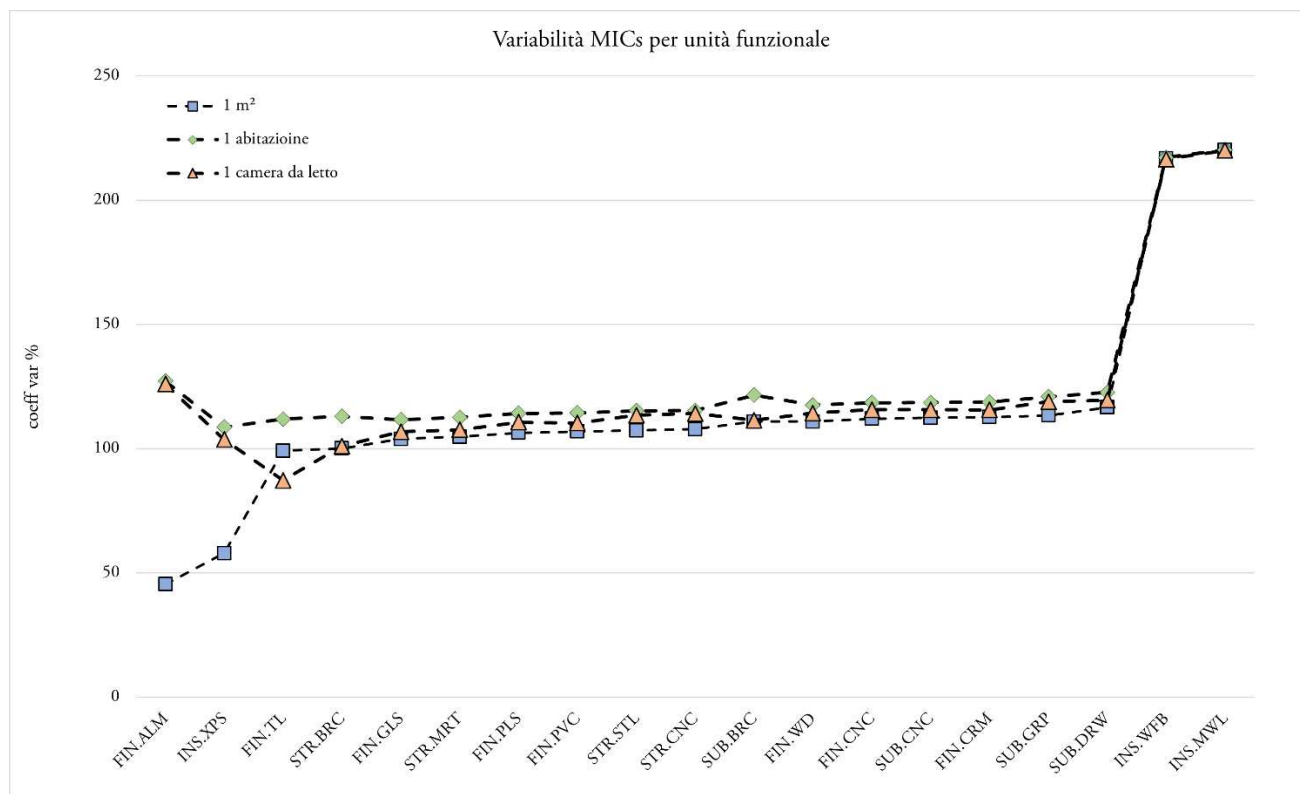


FIG. 45 - Coefficiente di variabilità percentuale in relazione alle unità funzionali

Il range di valori del coefficiente di variazione per l'unità funzionale 1m<sup>2</sup> risulta essere 45%-220% tra tutti i materiali analizzati, per l'unità 1 abitazione risulta essere 108%-220%, per l'unità 1 camera da letto 87%-219%.

Analizzando l'andamento del coefficiente per 1m<sup>2</sup> di area lorda si evidenzia che il materiale con valore minore è l'alluminio di finitura utilizzato per le finestre, il materiale con coefficiente maggiore risulta essere l'isolante in lana di roccia utilizzato nelle stratigrafie dei muri.

I materiali che presentano una grande variazione di coefficiente rispetto le tre unità funzionali sono l'alluminio di finitura che risulta essere 45%-127%-126% per 1m<sup>2</sup>-1 abitazione-1 camera da letto, l'isolante XPS con valori 57%-103%-108% e infine la malta strutturale con valori 104%-178%-107%.



## 4.5 Material Intensity e classificazione Uniclass

### 4.5.1 Valori *Material Intensity* nei sistemi Uniclass

Nel seguente paragrafo vengono analizzati i valori di *Material Intensity* nei sistemi presenti nell'edificio secondo la classificazione Uniclass. La struttura del database costruito per estrarre i dati dei volumi di materiali è riportata e ampiamente spiegata nella trattazione di Ygor Fasanella, i dati completi sono riportati nel fascicolo allegato. L'analisi sul database utilizza i valori medi dei volumi di materiali contenuti nei sistemi per il calcolo del *Material Intensity*.

I risultati a livello grafico sono riportati in FIG. 46 nell'istogramma. In questa trattazione si analizzano i dati della casa singola, i dati e le rappresentazioni per gli altri archetipi abitativi sono riportati in Appendice . Nella FIG. 47 sono rappresentati i dati per la casa singola in legno.

Analizzando i valori ottenuti si evidenzia che i sistemi per elementi strutturali nella casa in laterocemento utilizzano calcestruzzo strutturale e acciaio di armatura, il materiale con MIs maggiore è il calcestruzzo ( 120 kg/m<sup>2</sup>) nel sistema delle travi strutturali. I sistemi strutturali nella casa in legno vedono l'utilizzo del legno con valori massimi di MIs (52 kg/m<sup>2</sup>) nel sistema delle travi strutturali.

Nei sistemi dei muri per la casa in laterocemento il materiale che contribuisce maggiormente sono i mattoni strutturali con valori di circa 150 kg/m<sup>2</sup> nei muri esterni, questo materiale nella casa in legno è sostituito dal legno strutturale con valori di circa 100 kg/m<sup>2</sup>.

Nei sistemi relativi a porte, finestre e scale ancora una volta il valore maggiore è dovuto per il calcestruzzo strutturale (circa 45 kg/m<sup>2</sup>) che confrontato con il valore della casa in legno si vede l'utilizzo del legno con valori di 1,5 kg/m<sup>2</sup>.

Nei sistemi relativi a rampe, solai e tetti il valore maggiore è relativo al calcestruzzo in particolare nei sistemi solai con valori di circa 230 kg/m<sup>2</sup>, nella casa in legno il materiale maggiormente utilizzato è il calcestruzzo di substrato con valori di circa 150 kg/m<sup>2</sup>.

### Single Family House

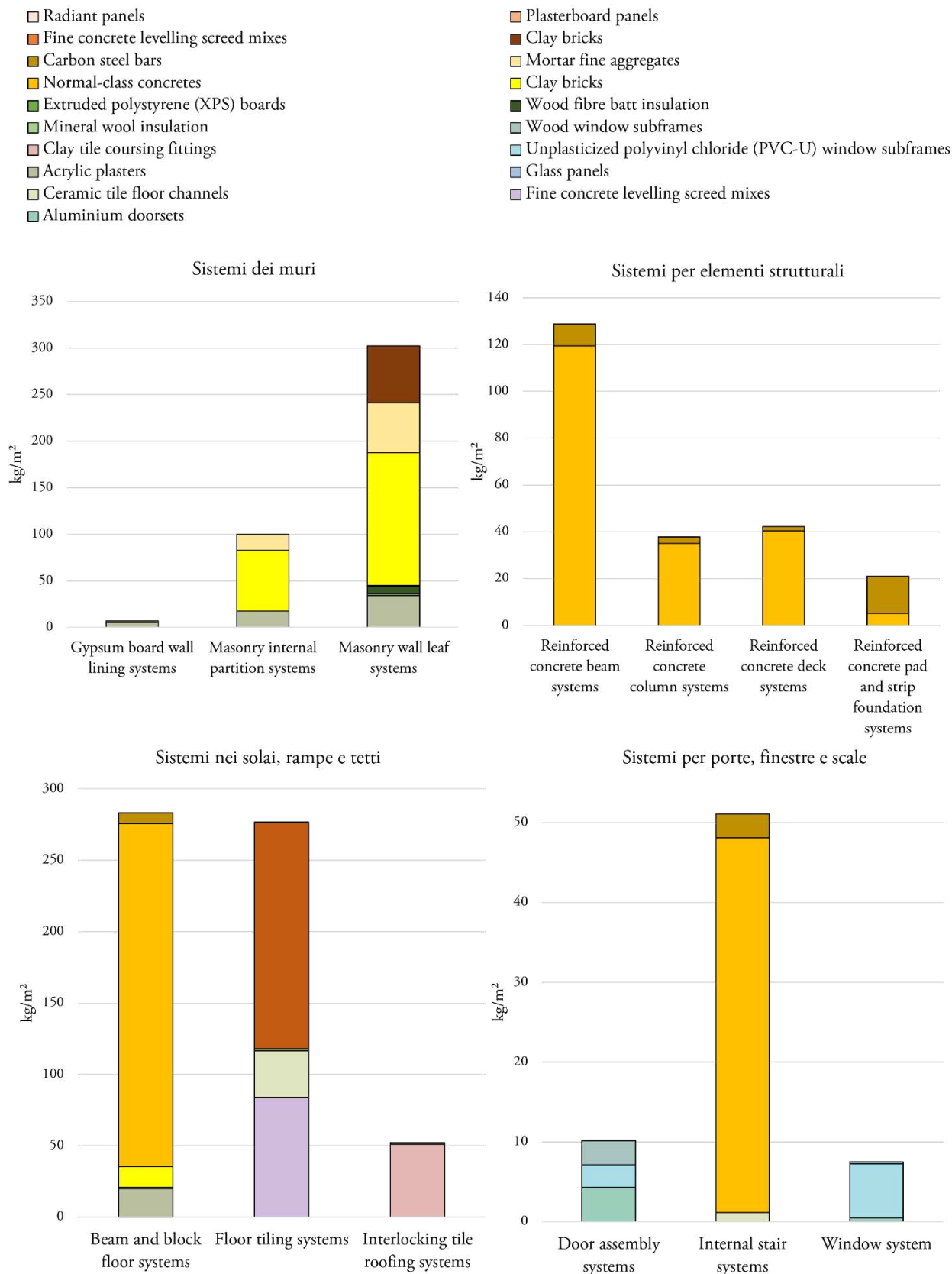


FIG. 46 - *Material Intensity* nei sistemi secondo la classificazione Uniclass, casa singola

### Single Family House wood

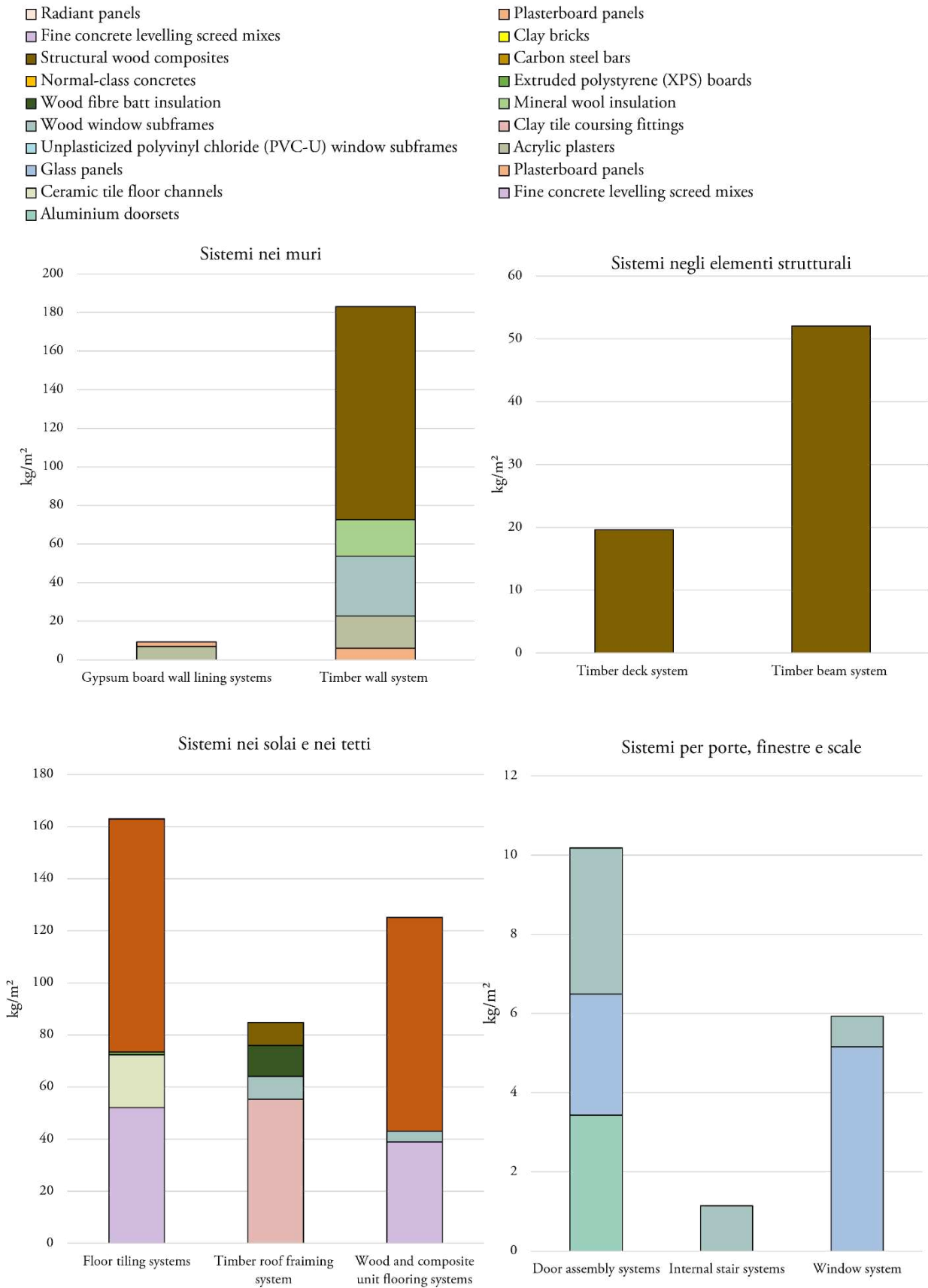


FIG. 47 - *Material Intensity* nei sistemi secondo la classificazione Uniclass, casa singola in legno

#### 4.5.2 Percentuale di *Material Intensity* nei sistemi Uniclass

L'ulteriore analisi condotta sul database sopracitato ha la funzione di determinare la percentuale di un materiale all'interno dei sistemi. Il diagramma a torta rappresentato in FIG. 48, è relativo al calcestruzzo strutturale per la casa singola in laterocemento. Si evidenzia come il 46% di calcestruzzo viene utilizzato per il sistema del solaio, il 24% per travi strutturali, il 13% per elementi strutturali in calcestruzzo come rampe e solai strutturali, 8% per colonne strutturali, infine 1% per entrambe le categorie di scale e fondazioni.

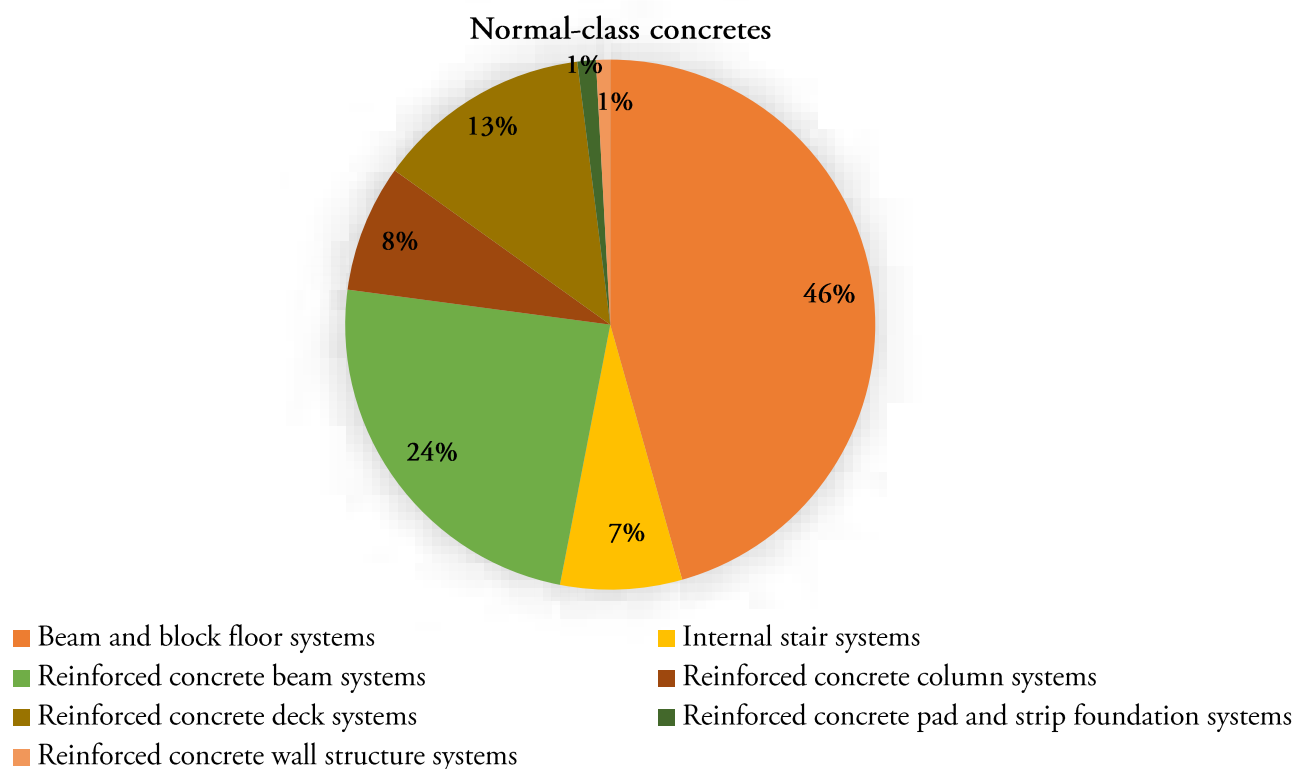


FIG. 48 - percentuale di materiale all'interno dei sistemi Uniclass per SFH tradizionale

Le percentuali di materiale mattone strutturale per la casa singola in laterocemento sono rappresentate in FIG. 49. L'analisi è stata condotta per questo materiale in quanto rappresenta il secondo materiale con grande incidenza sul totale dei *Material Intensity* nelle abitazioni. Le percentuali sono 64% per murature esterne, 29% per murature interne e 7% per il solaio.

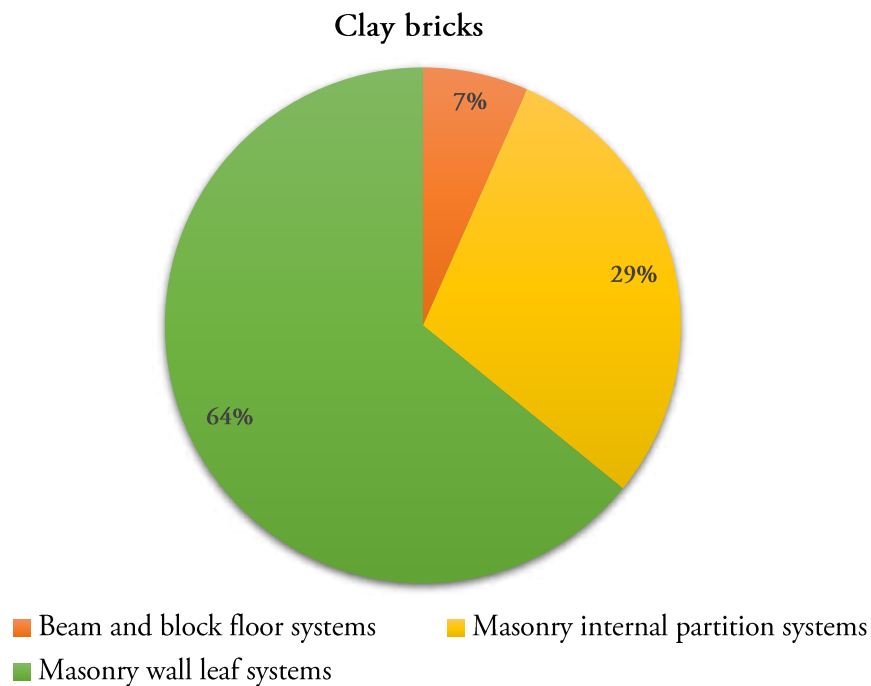


FIG. 49 - percentuale di mattone strutturale nei sistemi della classificazione Uniclass in SFH tradizionale

La casa costruita con il metodo costruttivo in legno non utilizza il materiale mattone strutturale e in piccola percentuale il calcestruzzo strutturale, l'analisi sulla percentuale di *Material Intensity* per il materiale legno rappresentata in FIG. 50 serve per vedere i sistemi complementari agli omologhi nel sistema costruttivo in laterocemento. I *Material Intensity* risultano distribuiti secondo le percentuali quali 58% per i sistemi dei muri, 27% per i sistemi per le travi, 10% per i sistemi dei solai strutturali.

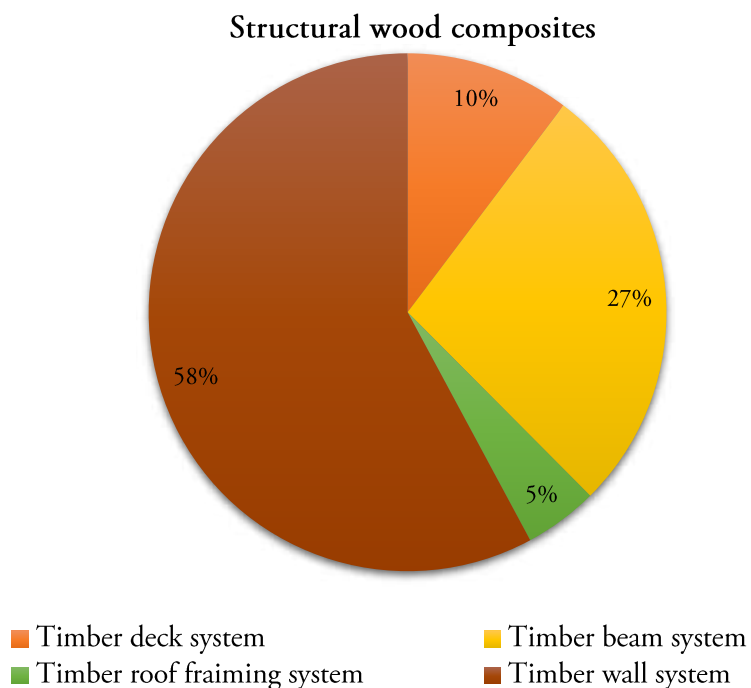


FIG. 50-Percentuale di legno strutturale all'interno dei sistemi Uniclass per SFH in legno



## Discussione

### 5.1 Confronto dei MI nelle tipologie edilizie

Analizzando i valori di *Material Intensity* ottenuti nelle diverse tipologie edilizie analizzate si evidenzia un andamento specifico in relazione alle dimensioni dell'edificio, ai materiali utilizzati e al metodo costruttivo.

#### 5.1.1 *Material Intensity* e dimensioni dell'edificio

Dallo studio dei valori medi di *Material Intensity* rappresentato con l'istogramma in FIG. 41 si evidenzia come la casa singola sia l'archetipo abitativo con i valori più alti dell'indice. Significa che si utilizza molto materiale a livello globale per costruire questo archetipo. Il valore totale della casa singola di *Material Intensity* risulta essere 1926,40 kg/m<sup>2</sup>, il valore del condominio orizzontale che risulta l'archetipo con le dimensioni maggiori risulta essere 1597,79 kg/m<sup>2</sup>. I materiali che incidono maggiormente nell'aumento dell'indice di intensità dei materiali sono i mattoni e la malta come rappresentato nei diagrammi rappresentati al paragrafo 4.2 Confronto dei *Material Intensity* negli archetipi italiani

L'analisi dei dati evidenzia quindi una sfumatura importante nell'uso dei materiali: la casa singola risulta l'archetipo più dispendioso nell'utilizzo dei materiali da costruzione in particolare nel mattone.

#### 5.1.2 *Material Intensity* e metodo costruttivo

Sempre analizzando l'istogramma con i totali dei *Material Intensity* si evidenzia la differenza di totale rispetto alla casa in laterocemento alla casa in legno. I due valori da confrontare sono 1926,40 kg/m<sup>2</sup> per la casa singola in laterocemento e 1062,01 kg/m<sup>2</sup> per la casa singola in legno, per la bifamiliare si evidenziano i due valori quali 1876,41 kg/m<sup>2</sup> per la casa in laterocemento e 1080,50 kg/m<sup>2</sup> per la casa in legno. Si evidenzia una diminuzione di valore di *Material Intensity* a parità di area lorda utilizzata. In questi termini si evidenzia come la struttura in legno utilizza meno materiale rispetto alla struttura in latero cemento. Un'ulteriore riflessione riguarda la variazione tra i *Material Intensity* delle due tipologie abitative: l'indice per la casa costruita in laterocemento tra casa singola e bifamiliare varia dell'ordine delle centinaia, mentre i valori per i due archetipi in legno variano dell'ordine delle decine.

I risultati della casa in legno ottenuti da questa ricerca si allineano con altri studi sulla materia, infatti si evidenzia come i *Material Intensity* di edifici costruiti in calcestruzzo o in acciaio siano nettamente minori nei loro valori. (Churkina et al. 2020b). Un'ulteriore riflessione sull'uso del legno si lega alle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'atmosfera, infatti il legno come materiale bio-based agisce come carbon sink: la sua produzione

richiede minori emissioni nel gas e la sua capacità di assorbire l'anidride carbonica e riportarla al terreno rappresenta un grande vantaggio per l'impatto ambientale.

Le proprietà del legno come materiale da costruzione vedono dei pro e dei contro: il legno è un materiale anisotropo e igroscopico, è soggetto ad espansioni e contrazioni di volume se esposto all'umidità, quest'aspetto è un difetto del materiale da costruzione. Un vantaggio del legno è la buona resistenza al fuoco, migliore anche rispetto l'acciaio e il calcestruzzo, proprietà riconosciuta nelle norme per le costruzioni a livelli internazionali.

La tecnologia dei pannelli laminati in legno uniti assieme dalla colla rappresenta un uovo approccio capace di garantire buone proprietà meccaniche per le strutture in legno create attraverso pannelli.

Un punto a sfavore del metodo costruttivo in legno sono le fondazioni strutturali che sono realizzate in calcestruzzo, ad oggi risulta il miglior materiale che favorisce delle buone prestazioni a contatto con il terreno.

### 5.1.3 *Material Intensity* e unità funzionali

Dall'andamento del coefficiente di variazione a livello percentuale del *Material Intensity*, utilizzando le tre unità funzionali si evidenzia come l'andamento minore dei valori sia legato ad 1m<sup>2</sup> di area lorda in quanto si ha una variazione minore dei valori. Per convalidare e confrontare il risultato ottenuto si utilizzano i dati riportati nello studio di Toronto i Canada (Arceo et al. 2021).

I valori dei range del coefficiente di variabilità a seconda delle diverse unità funzionali per la città di Toronto e lo studio italiano sono riportati in Tabella 36

Tabella 36 - Range di valori del coefficiente di variabilità % del *Material Intensity*, confronto tra l'Italia e la città di Toronto.

Unità funzionale	Range coefficiente di variazione %	
	Italia	Toronto
1 m <sup>2</sup>	45-220	13-157
1 abitazione	108-220	37-186
1 camera da letto	87-219	24-185

Si evidenzia come i range di valori dell'attuale ricerca sono maggiori rispetto a quelli rappresentati in letteratura. Questo può essere dovuto dal fatto che la tipologia edilizia analizzata in quest'ultimo sono solo case singole, mentre nella realtà italiana si studiano altre tipologie abitative. Un'altra differenza tra le due realtà è la variabilità data all'interno degli studi, nel caso di Toronto il numero massimo di edifici analizzati è 40 mentre nel caso dello studio italiano si arriva alla variabilità di 1000 casi studio. Di conseguenza la deviazione standard è più alta a seconda della variabilità analizzata e di conseguenza il valore del coefficiente si alza.

Analizzando l'andamento del coefficiente di variazione per l'unità funzionale di 1m<sup>2</sup> di area lorda si evidenzia come il materiale con il valore minore del coefficiente nella realtà italiana è l'alluminio di



finitura, mentre nello studio di Toronto sono i pannelli di cartongesso. Analogamente per i materiali con i valori maggiori dell'indice sono rispettivamente l'isolante in lana di roccia e l'acciaio. Nell'andamento generale del coefficiente di variabilità, questa trattazione vede dei materiali con delle differenze sostanziali di valori tra le diverse unità funzionali, questi sono: isolante in XPS, tegole di finitura, malta. Nello studio di Toronto si evidenziano i materiali quali acciaio, mattoni e calcestruzzo. Questa discrepanza dei materiali rispetto ai valori del coefficiente potrebbe essere dovuta alla mancanza di suddivisione e di classificazione in materiali strutturali, di substrato, isolanti e di finitura.

## 5.2 Confronto del Database con altri studi

### 5.2.1 *Material Intensity* in Germania e Giappone

I risultati della ricerca vengono confrontati ed analizzati con altri studi sul tema presenti nella letteratura scientifica per validare i valori ottenuti. Si confrontano i risultati ottenuti per gli archetipi italiani con i valori di Germania e Giappone riportati in Tabella 37 (Schiller et al. 2019b). Il confronto è basato sulle categorie riportate nello studio, che differiscono dalle tipologie degli archetipi italiani; infatti, le categorie sono delineate sul numero di piani, riportati nella sigla della denominazione (SFH 1-2 casa singola su uno o due piani). Si evidenzia come la realtà giapponese e italiana sono molto diverse tra loro, quest'ultima si avvicina di più ai metodi costruttivi tedeschi per il confronto dei valori.

Tabella 37 - Confronto dei valori di MI totali tra Italia, Giappone e Germania

Tipologia abitativa	Italia		Giappone		Germania	
	Legno (kg/m <sup>2</sup> )	Mattoni (kg/m <sup>2</sup> )	Legno (kg/m <sup>2</sup> )	Mattoni (kg/m <sup>2</sup> )	Legno (kg/m <sup>2</sup> )	Mattoni (kg/m <sup>2</sup> )
SFH 1-2	1080	1876	531	-	863	1567
MFH 3-4	-	1794	-	-	-	1389
MFH 5+	-	1587	-	-	-	1383

Si evidenzia come i *Material Intensity* per la casa singola in mattoni per l'Italia differiscono del 16% rispetto alla Germania, il MI per il metodo costruttivo in legno la casa singola differisce del 50% con il Giappone e del 38% con la Germania. Quest'ultima differenza evidenziata può essere imputata del diverso metodo costruttivo della casa in legno in quanto nell'attuale ricerca si utilizzano i pannelli in X-Lam mentre nello studio analizzato si utilizza un sistema a telaio.

Gli edifici con 3-4 piani vedono una differenza del 21% tra Italia e Germania, mentre gli edifici con più di 5 piani vedono una differenza del 12%.

### 5.2.2 *Material Intensity* nella città di Vienna

La suddivisione dei materiali per la loro composizione chimica in minerali, organici e metalli vede il confronto tra la realtà italiana e gli archetipi analizzati nella città di Vienna (Kleemann et al. 2017b). Si

evidenzia come la percentuale di materiali minerali in entrambe le ricerche risulti essere pari al 96%. Con l'ulteriore suddivisione dei minerali per visualizzare al meglio le percentuali di *Material Intensity* presenti si evidenziano le percentuali riportate in Tabella 38.

Tabella 38 - Confronto percentuali di MI in Italia e nella città di Vienna

	Italia	Città di Vienna
Calcestruzzo	60%	40%
Mattoni	22%	34%
Malta e intonaco	9%	14%
Altri minerali	5%	8%
Organici	1%	1%
Metalli	3%	3%

I valori con differenza sostanziale sono per i mattoni e il calcestruzzo, questo potrebbe essere imputato al diverso metodo costruttivo utilizzato nei due paesi. Un'altra ipotesi è la poca variabilità utilizzata nello studio della città di Vienna dove si analizzano solo 14 case mentre nella ricerca attuale il numero della variabilità dei casi è molto maggiore.

### 5.2.3 *Material Intensity* nei sistemi di classificazione Uniclass

L'utilizzo della classificazione Uniclass per comprendere la percentuale di materiale all'interno dei singoli sistemi è utile per analizzare e determinare quale sistema incide maggiormente nell'uso del materiale, per confrontare e validare i dati in quest'analisi risulta difficile trovare in letteratura uno studio paragonabile, esistono ricerche che utilizzano il metodo simile ma con l'implementazione di una classificazione differente, la classificazione Unifomat (Guyen et al. 2022b).

La suddivisione in sistemi e indici dei materiali mette in risalto la differenza di quantità di materiale, in questo modo è possibile studiare come implementare al meglio i sistemi per ottimizzare la quantità di materiale negli edifici. La differenza sostanziale che si evidenzia analizzando la casa singola in legno e la casa singola in laterocemento è la percentuale maggiore di calcestruzzo strutturale utilizzato in quest'ultima che cala notevolmente nella casa costruita in legno. Si evidenzia un'ottimizzazione del materiale nei muri in legno rispetto ai muri in mattoni e nelle scale.

## 5.3 Sviluppi futuri

Dallo studio si evince come la mancanza di un linguaggio univoco per la classificazione e la determinazione degli elementi strutturali sia limitante per analizzare e comparare i database tra i paesi.

Un potenziale sviluppo futuro potrebbe implementare una classificazione adatta a dialogare sul tema in maniera univoca.

Lo studio del *Material Intensity* si basa sulla tipologia residenziale della realtà italiana, mentre sarebbe interessante sviluppare l'analisi su altri elementi costruiti sul territorio italiano, quali edifici commerciali e/o industriali al fine di ampliare il database e il quadro della quantità di materiale utilizzato.

Dal punto di vista dei materiali sarebbe interessante condurre degli studi sul ciclo di vita dei materiali, in particolare sui materiali con i valori più alti di *Material Intensity* quali calcestruzzo strutturale e mattoni per comprendere al meglio le emissioni dovute a questi materiali. Di conseguenza il loro impatto ambientale, se elevato, può venire meno se si studia un'interazione con il sistema costruttivo in legno in modo da ridurre le emissioni grazie alle proprietà di carbon sink del materiale.



## Conclusione

L'intento della ricerca è conoscere la quantità di materiale utilizzata nelle costruzioni residenziali in Italia in quanto il settore delle costruzioni è il primo responsabile dell'uso di materiale e dell'inquinamento ambientale legato alla produzione, all'uso e allo smaltimento dei materiali. L'intento è stato quindi quello di creare una data analysis di valori di *Material Intensity* con l'ausilio del BIM per delineare una relazione tra spazio costruito e quantità del materiale.

La ricerca vede l'idealizzazione di 5 archetipi ispirati alla cultura delle costruzioni italiana; i dati di input quali area, volumetrie e metodi costruttivi sono basati su una ricerca atta a rappresentare il territorio italiano. Gli edifici sono stati fatti variare per generare ed ottenere una quantità di dati utili a creare il database dei materiali. I parametri atti a consentire la variabilità sono stati definiti nel software Revit e sono stati fatti variare con l'ausilio del plug-in Dynamo. I risultati ottenuti da questo processo sono stati utilizzati per calcolare ed analizzare i *Material Intensity* nella realtà rappresentativa del territorio italiano.

I risultati evidenziano come la casa singola sia la tipologia più onerosa nell'uso del materiale. Infatti, ha il valore di *Material Intensity* più alto rispetto alle altre tipologie abitative. I materiali più utilizzati nelle abitazioni in laterocemento sono calcestruzzo strutturale e mattoni strutturali, questi vengono sostituiti dal legno nei modelli relativi alla casa singola e nella bifamiliare ideate con il metodo costruttivo in legno.

Si vuole sottolineare che un interessante sviluppo futuro della ricerca potrebbe riguardare l'implementazione di maggiore variabilità a livello di dimensioni dell'edificio o, nello specifico, per le tipologie dei condomini nell'aumento del numero di piani. Inoltre, per lo studio del materiale si evidenzia la necessità di ampliare future ricerche anche a livello di *Life Cycle Assessment* su quei materiali più utilizzati nelle costruzioni, evidenziati nella ricerca con il calcolo e il confronto del *Material Intensity*.



## **Appendice A: analisi delle volumetrie di riferimento degli archetipi**

Tabelle Excel delle analisi effettuate per ricavare l'incidenza delle volumetrie degli archetipi edilizi in riferimento al volume degli edifici costruiti, al fine di utilizzarle come riferimento per la creazione del modello medio di ogni archetipo.

FABBRICATI RESIDENZIALI														
Fonte: ISTAT - ANNUARIO STATISTICO ITALIANO 2020, Cap. 18 "Costruzioni"														
Fonte: ISTAT - StatBase, <a href="https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/banche-dati/statbase">https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/banche-dati/statbase</a>														
Annate 2014-2018														
Anno	numero totale fabbricati	volume v/p totale [m³]		numero totale abitazioni	superficie utile abitabile totale [m²]	altezza utile [m]	volume utile totale [m³]							rapporto (volume utile)/(v/p)
2014	16.947	21.022.000		46.796	4.019.992	2,70	10.853.978,40							51,63%
2015	15.737	19.233.000		42.920	3.713.778	2,70	10.027.200,60							52,14%
2016	16.225	20.134.000		44.583	3.913.107	2,70	10.565.388,90							52,48%
2017	17.243	22.655.000		51.859	4.470.781	2,70	12.071.108,70							53,28%
2018	17.974	23.724.000		54.664	4.731.306	2,70	12.774.526,20							53,85%
													MEDIA	52,67%
Numero abitazioni	Anno	numero di fabbricati	volume totale v/p [m³]	volume singola ab. v/p [m³]	altezza media v/p [m]	area singola ab. v/p [m²]	impatto numero ab.	impatto volume v/p	numero abitazioni	volume totale utile [m³]	altezza media utile [m]	area totale utile [m²]	volume singola ab. utile [m³]	area singola ab. utile [m²]
1 abitazione														
1	2014	10.959	6.815.000	621,86	3,00	207,29	23,42%	32,42%	10.959,00	3.518.688,17	2,70	1.303.217,84	321,08	118,92
1	2015	10.112	6.327.000	625,69	3,00	208,56	23,56%	32,90%	10.112,00	3.298.606,47	2,70	1.221.706,10	326,21	120,82
1	2016	10.221	6.346.000	620,88	3,00	206,96	22,93%	31,52%	10.221,00	3.330.086,32	2,70	1.233.365,30	325,81	120,67
1	2017	10.474	6.436.000	614,47	3,00	204,82	20,20%	28,41%	10.474,00	3.429.249,86	2,70	1.270.092,54	327,41	121,26
1	2018	10.983	6.745.000	614,13	3,00	204,71	20,09%	28,43%	10.983,00	3.631.941,46	2,70	1.345.163,50	330,69	122,48
<b>MEDIA</b>				<b>619,41</b>									<b>326,24</b>	<b>120,83</b>
2 abitazioni														
2	2014	2.423	2.553.000	526,83	3,00	175,61	10,36%	12,14%	4.846,00	1.318.152,74	2,70	488.204,72	272,01	100,74
2	2015	2.330	2.426.000	520,60	3,00	173,53	10,86%	12,61%	4.660,00	1.264.804,69	2,70	468.446,18	271,42	100,52
2	2016	2.447	2.529.000	516,76	3,00	172,25	10,98%	12,56%	4.894,00	1.327.101,84	2,70	491.519,20	271,17	100,43
2	2017	2.584	2.691.000	520,70	3,00	173,57	9,97%	11,88%	5.168,00	1.433.827,12	2,70	531.047,08	277,44	102,76
2	2018	2.483	2.538.000	511,08	3,00	170,36	9,08%	10,70%	4.966,00	1.366.622,30	2,70	506.156,41	275,20	101,92
<b>MEDIA</b>				<b>519,19</b>									<b>273,45</b>	<b>101,28</b>



La variabilità dell'uso dei materiali nell'edilizia residenziale italiana: calcolo e analisi del Material Intensity

3-15 abitazioni														
6	2014	3.160	7.422.000	391,46	3,00	130,49	40,52%	35,31%	18.960,00	3.832.091,51	2,70	1.419.293,15	202,11	74,86
6	2015	2.931	6.882.000	391,33	3,00	130,44	40,97%	35,78%	17.586,00	3.587.957,91	2,70	1.328.873,30	204,02	75,56
6	2016	3.193	7.560.000	394,61	3,00	131,54	42,97%	37,55%	19.158,00	3.967.137,19	2,70	1.469.310,07	207,07	76,69
6	2017	3.723	8.619.000	385,84	3,00	128,61	43,07%	38,04%	22.338,00	4.592.402,82	2,70	1.700.889,93	205,59	76,14
6	2018	4.013	9.198.000	382,01	3,00	127,34	44,05%	38,77%	24.078,00	4.952.794,30	2,70	1.834.368,26	205,70	76,18
<b>MEDIA</b>				<b>389,05</b>			<b>42,32%</b>	<b>37,09%</b>					<b>204,90</b>	<b>75,89</b>
16+ abitazioni														
30	2014	405	4.232.000	348,31	3,00	116,10	25,96%	20,13%	12.150,00	2.185.045,98	2,70	809.276,29	179,84	66,61
30	2015	364	3.598.000	329,49	3,00	109,83	25,44%	18,71%	10.920,00	1.875.831,53	2,70	694.752,42	171,78	63,62
30	2016	364	3.699.000	338,74	3,00	112,91	24,49%	18,37%	10.920,00	1.941.063,55	2,70	718.912,43	177,75	65,83
30	2017	462	4.909.000	354,18	3,00	118,06	26,73%	21,67%	13.860,00	2.615.628,89	2,70	968.751,44	188,72	69,90
30	2018	495	5.243.000	353,06	3,00	117,69	27,17%	22,10%	14.850,00	2.823.168,14	2,70	1.045.617,83	190,11	70,41
<b>MEDIA</b>				<b>344,76</b>			<b>25,96%</b>	<b>20,20%</b>					<b>181,64</b>	<b>67,27</b>
<b>TOT.</b>								<b>100,56%</b>	<b>100,00%</b>					
Annate 2019-2021														
	<b>Anno</b>		<b>volume v/p totale</b>		<b>numero totale abitazioni</b>		<b>superficie utile abitabile totale [mq]</b>		<b>altezza utile [m]</b>		<b>volume utile totale [mc]</b>		<b>rapporto (sup. utile)/(v/p)</b>	
	2019		24.910.123		55.104		4.859.707		2,70		13.121.208,90		52,67%	
	2020		22.047.588		49.100		4.301.256		2,70		11.613.391,20		52,67%	
	2021		27.575.472		61.241		5.379.689		2,70		14.525.160,30		52,67%	
Numero abitazioni	Anno		volume totale v/p [m³]	volume singola ab. v/p [m³]	altezza media v/p [m]	area singola ab. v/p [m²]			numero abitazioni	volume totale utile [m³]	altezza media utile [m]	area totale utile [m²]	volume singola ab. utile [m³]	area singola ab. utile [m²]
1 abitazione														
1	2019		7.656.061	630,43	3,00	210,14			12.144,20	4.032.769,21	2,70	1.493.618,22	332,07	122,99
1	2020		6.776.268	626,21	3,00	208,74			10.821,00	3.569.345,38	2,70	1.321.979,77	329,85	122,17
1	2021		8.475.249	627,95	3,00	209,32			13.496,72	4.464.269,99	2,70	1.653.433,33	330,77	122,51
<b>MEDIA</b>				<b>628,20</b>									<b>330,90</b>	<b>122,55</b>

2 abitazioni													
2	2019		2.983.994	528,41	3,00	176,14		5.647,10	1.571.794,84	2,70	582.146,24	278,34	103,09
2	2020		2.641.089	524,88	3,00	174,96		5.031,80	1.391.172,76	2,70	515.249,17	276,48	102,40
2	2021		3.303.277	526,33	3,00	175,44		6.276,02	1.739.974,74	2,70	644.435,09	277,24	102,68
MEDIA				526,54								277,35	102,72
3-15 abitazioni													
6	2019		9.239.264	396,23	3,00	132,08		23.318,19	4.866.708,64	2,70	1.802.484,68	208,71	77,30
6	2020		8.177.538	393,58	3,00	131,19		20.777,50	4.307.453,05	2,70	1.595.352,98	207,31	76,78
6	2021		10.227.852	394,67	3,00	131,56		25.915,17	5.387.439,81	2,70	1.995.348,08	207,89	77,00
MEDIA				394,82								207,97	77,03
16+ abitazioni													
30	2019		5.030.804	351,70	3,00	117,23		14.304,16	2.649.936,21	2,70	981.457,85	185,26	68,61
30	2020		4.452.692	349,35	3,00	116,45		12.745,61	2.345.420,00	2,70	868.674,08	184,02	68,15
30	2021		5.569.094	350,32	3,00	116,77		15.897,23	2.933.475,76	2,70	1.086.472,50	184,53	68,34
MEDIA				350,46								184,60	68,37

## Appendice B: abachi degli elementi costruttivi

In questa appendice sono riportati gli abachi di tutti materiali e di tutti gli elementi costruttivi che costituiscono i modelli di tutti gli archetipi, sono raggruppati per tecnologia costruttiva in laterocemento e in legno.

### 8.1 Abaco dei materiali

Tabella 39 - Abaco dei materiali (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2018)

		Nomenclatura Uniclass
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.ALM
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_30_59_24_02 Aluminium doorsets
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	27
Descrizione	Alluminio di finitura utilizzato per maniglie, telai e ante di porte e finestre	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.CNC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_31_53_61 Paving laying course mortars
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	20
Descrizione	Cemento utilizzato come massetto di allettamento nei pavimenti	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.CRM
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_30_93_96_15 Ceramic tile floor channels
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	19
Descrizione	Piastrille in ceramica utilizzate come finitura nei pavimenti	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.DRW
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_71_35_63 Plasterboard panels
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	1,12
Descrizione	Cartongesso di finitura utilizzato nelle pareti con struttura in legno	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.GLS
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_71_33_35 Glass panels
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	25

Descrizione	Vetro utilizzato in porte e finestre	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.PLS
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_35_31_64_01 Acrylic plaster
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	11
Descrizione	Intonaco di finitura utilizzato in tutte le murature e all'intradosso dei solai	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.PVC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_85_32_94 Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) window subframes
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	13
Descrizione	PVC di finitura utilizzato per telai e ante di porte e finestre	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.TL
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_93_72_14 Clay tile coursing fittings
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	16
Descrizione	Tegole di copertura in laterizio	
Materiale	<i>Nome</i>	FIN.WD
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_85_32_98 Wood window subframes
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	5
Descrizione	Legno di finitura utilizzato per telai e ante di porte e finestre	
Materiale	<i>Nome</i>	INS.MWL
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_57_06_53 Mineral wool insulation
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	0,7
Descrizione	Isolamento in lana di roccia utilizzato nelle murature	
Materiale	<i>Nome</i>	INS.WFB
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_57_06_97 Wood fibre batt insulation
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	1,8
Descrizione	Isolamento in fibra di legno utilizzato nelle murature	
Materiale	<i>Nome</i>	INS.XPS
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_71_63_29 Extruded polystyrene (XPS) boards
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	0,35

Descrizione	Isolamento in XPS utilizzato nelle murature, in copertura e nei solai	
Materiale	<i>Nome</i>	STR.BRC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_93_52_15 Clay bricks
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	8
Descrizione	Laterizio utilizzato come mattone alveolato nelle murature sia esterne che interne oppure come pignatte in solai e copertura	
Materiale	<i>Nome</i>	STR.CNC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_31_16_56 Normal-class concretes
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	24
Descrizione	Calcestruzzo strutturale utilizzato in pilastri e travi strutturali, pareti interrate, pareti portanti di vani scala e ascensori, fondazioni, sbalzi e cappa strutturale di paavimenti	
Materiale	<i>Nome</i>	STR.MRT
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_31_04_53 Mortar fine aggregates
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	19
Descrizione	Malta utilizzata come legante tra i mattoni alveolati nelle murature	
Materiale	<i>Nome</i>	STR.STL
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_76_51_11 Carbon steel bars
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	78
Descrizione	Acciaio di armatura utilizzato negli elementi strutturali in calcestruzzo (sempre dove presente STR.CNC)	
Materiale	<i>Nome</i>	STR.WD
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_85_08_87 Structural wood composites
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	7
Descrizione	Legno utilizzato per elementi portanti negli edifici in legno come pareti esterne e pavimenti in pannelli X-lam e sistema portante di travi e perline in copertura	
Materiale	<i>Nome</i>	SUB.BRC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_20_93_52_15 Clay bricks
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	8
Descrizione	Mattoni di sostrato in laterizio utilizzati nelle rifodere delle murature esterne	
Materiale	<i>Nome</i>	SUB.CNC
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_35_31_06_29 Fine concrete levelling screed mixes
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	20

Descrizione	Cemento utilizzato nei massetti impiantistici dei pavimenti	
Materiale	<i>Nome</i>	SUB.DRW
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_25_71_35_63 Plasterboard panels
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	1,12
Descrizione	Cartongesso utilizzato nelle pareti divisorie interne	
Materiale	<i>Nome</i>	SUB.GRP
Classificazione	<i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i>	Pr_70_60_36_71 Radiant panels
Proprietà	<i>Peso specifico [kN/m<sup>3</sup>]</i>	0,022
Descrizione	Sistema di pannelli radianti nei pavimenti	

## 8.2 Abaco degli elementi strutturali

Tabella 40 - Abaco degli elementi strutturati in calcestruzzo







Elemento strutturale			Nomenclatura Uniclass
<p>SCL.EXT.1</p>  <p>20x20 cm</p>	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	SCL.EXT.1.CC EF_20 Structural elements Ss_20_30_75_70 Reinforced concrete column systems
		Materiale	- calcestruzzo
	Descrizione		Pilastro strutturale in calcestruzzo
<p>SFR.RBM.1</p>  <p>20x30 cm</p>	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	SFR.RBM.1.CC EF_20 Structural elements Ss_20_20_75_70 Reinforced concrete beam systems
		Materiale	- calcestruzzo
	Descrizione		Trave strutturale in calcestruzzo

Tabella 41 - Abaco degli elementi strutturali in legno



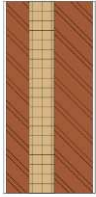
Elemento strutturale			Nomenclatura Uniclass
<p>SFR.RBM.2</p>  <p>23,5x28,6 cm</p>	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	SFR.RBM.2.WD EF_20_10_30 Structural elements Ss_20_30_75_85 Timber beam systems
		Materiale	- legno
	Descrizione		Trave strutturale di copertura in legno




### 8.3 Abaco delle pareti verticali




Tabella 42 - Abaco delle murature in laterocemento



Elemento costruttivo		Nomenclatura Uniclass	
<p>WLL.EXT.1</p>  <p>Sp. 31 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS EF_25_10_25 External walls Ss_25_13_50_51 Masonry wall leaf systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - XPS (8 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS INS.XPS STR.BRC FIN.PLS</p>	
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in XPS</p>	
<p>WLL.EXT.2</p>  <p>Sp. 32 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.2.PLS.BRC.MWL.PLS EF_25_10_25 External walls Ss_25_13_50_51 Masonry wall leaf systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - lana di roccia (9 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS INS.MWL STR.BRC FIN.PLS</p>	
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in lana di roccia</p>	
<p>WLL.EXT.3</p>  <p>Sp. 38 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.3.PLS.BRC.WBF.PLS EF_25_10_25 External walls Ss_25_13_50_51 Masonry wall leaf systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - fibra di legno (15 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS INS.WBF STR.BRC FIN.PLS</p>	



	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in fibra di legno
<p>WLL.EXT.4</p>  <p>Sp. 41 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.4.PLS.BRC.XPS.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (12 cm)</li> <li>- XPS (6 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (20 cm)</li> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> </ul> <p><i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      SUB.BRC                      INS.XPS                      STR.BRC                      FIN.PLS</p>
	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in XPS
<p>WLL.EXT.5</p>  <p>Sp. 42 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.5.PLS.BRC.MWL.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (12 cm)</li> <li>- lana di roccia (7 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (20 cm)</li> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> </ul> <p><i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      SUB.BRC                      INS.MWL                      STR.BRC                      FIN.PLS</p>
	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in lana di roccia
<p>WLL.EXT.6</p>  <p>Sp. 48 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.6.PLS.BRC.WBF.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (12 cm)</li> <li>- fibra di legno (13 cm)</li> <li>- mattoni alveolati (20 cm)</li> <li>- intonaco (1,5 cm)</li> </ul> <p><i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      SUB.BRC                      INS.WBF                      STR.BRC                      FIN.PLS</p>

	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in fibra di legno
<p>WLL.EXT.7</p>  <p>Sp. 41 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.7.PLS.BRC.XPS.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - mattoni alveolati (20 cm)                      - XPS (6 cm)                      - mattoni alveolati (12 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      STR.BRC                      INS.XPS                      SUB.BRC                      FIN.PLS</p>
	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in XPS
<p>WLL.EXT.8</p>  <p>Sp. 42 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.8.PLS.BRC.MWL.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - mattoni alveolati (20 cm)                      - lana di roccia (7 cm)                      - mattoni alveolati (12 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      STR.BRC                      INS.MWL                      SUB.BRC                      FIN.PLS</p>
	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in lana di roccia
<p>WLL.EXT.9</p>  <p>Sp. 48 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.9.PLS.BRC.WBF.BRC.PLS                      EF_25_10_25                      External walls                      Ss_25_13_50_51                      Masonry wall leaf systems</p>
	<b>Materiali</b>	<p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - mattoni alveolati (20 cm)                      - fibra di legno (13 cm)                      - mattoni alveolati (12 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      STR.BRC                      INS.WBF                      SUB.BRC                      FIN.PLS</p>

	<b>Descrizione</b>		Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in fibra di legno
<b>WLL.EXT.10</b>  Sp. 23 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.EXT.10.PLS.BRC.PLS EF_25_10_25 External walls Ss_25_13_50 Masonry wall systems
	<b>Materiali</b>	EXT - intonaco (1,5 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) INT	FIN.PLS STR.BRC FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>		Parapetto perimetrale in muratura per balconi o terrazzi
<b>WLL.INT.1</b>  Sp. 23 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.INT.1.PLS.BRC.PLS EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_13_50_56 Masonry internal partition systems
	<b>Materiali</b>	EXT - intonaco (1,5 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) INT	FIN.PLS STR.BRC FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>		Parete divisoria interna in muratura con passaggio dell'impiantistica
<b>WLL.INT.2</b>  Sp. 13 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.INT.2.PLS.BRC.PLS EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_13_50_56 Masonry internal partition systems
	<b>Materiali</b>	EXT - intonaco (1,5 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) INT	FIN.PLS STR.BRC FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>		Parete divisoria interna semplice in muratura
<b>WLL.INT.3</b>	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.INT.3.PLS.CNC.PLS EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_11_16_70 Reinforced concrete wall structure system

 Sp. 23 cm	<b>Materiali</b>	<i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - calcestruzzo (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i>	FIN.PLS STR.CNC FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>		Parete strutturale interna in calcestruzzo armato, utilizzata come setto portante per scale e ascensori
WLL.INT.4  Sp. 13 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_25_45_35 Gypsum board wall lining systems
	<b>Materiali</b>	<i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - cartongesso (10 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i>	FIN.PLS SUB.DRW FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>		Parete divisoria interna semplice in cartongesso



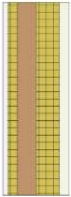

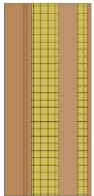


<p>WLL.UND.1</p>  <p>Sp. 21,5 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.UND.1.PLS.CNC EF_25_10 Wall and barrier elements Ss_25_11_16_70 Reinforced concrete wall structure systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - calcestruzzo (10 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>STR.CNC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete strutturale perimetrale interrata in calcestruzzo armato</p>
<p>WLL.UND.2</p>  <p>Sp. 23 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.UND.2.PLS.CNC.PLS EF_25_10 Wall and barrier elements Ss_25_11_16_70 Reinforced concrete wall structure systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - calcestruzzo (10 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS STR.CNC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete strutturale interna interrata in calcestruzzo armato</p>

Tabella 43 - Abaco delle pareti in legno




Elemento costruttivo	Nomenclatura Uniclass	
<p>WLL.EXT.11</p>  <p>Sp. 34,5 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.11.DRW.MWL.WD.MWL.PLS EF_25_10 Wall and barrier elements Ss_25_11_90 Timber wall systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i> - intonaco (2,5 cm) - lana di roccia (5 cm) - pannello X-lam (10 cm) - lana di roccia (12 cm) - cartongesso (5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS INS.MWL STR.WD INS.MWL FIN.DRW</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete strutturale perimetrale in pannelli X-lam con isolamento in lana di roccia</p>

<p>WLL.EXT.12</p>  <p>Sp. 35,5 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.12.DRW.MWL.WD.MWL.            WD.MWL.PLS            EF_25_10            Wall and barrier elements            Ss_25_11_90            Timber wall systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>EXT</i>            - intonaco (1 cm)            - lana di roccia (8 cm)            - pannello X-lam (1,5 cm)            - lana di roccia (16 cm)            - pannello X-lam (1,5 cm)            - lana di roccia (5 cm)            - cartongesso (2,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS            INS.MWL            STR.WD            INS.MWL            STR.WD            INS.MWL            FIN.DRW</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>		<p>Parete strutturale perimetrale a telaio in legno con isolamento in lana di roccia</p>
<p>WLL.EXT.13</p>  <p>Sp. 45 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.EXT.13.WD.MWL.WD.MWL.WD.            WD.WD            EF_25_10            Wall and barrier elements            Ss_25_11_90            Timber wall systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>EXT</i>            - legno (2 cm)            - lana di roccia (5 cm)            - pannello X-lam (10 cm)            - lana di roccia (14 cm)            - legno (2,5 cm)            - legno (1,5 cm)            - legno (10 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.WD            INS.MWL            STR.WD            INS.MWL            FIN.WD            FIN.WD            FIN.WD</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>		<p>Parete strutturale perimetrale ventilata in pannelli X-lam con isolamento in lana di roccia e rivestimento esterno in doghe di legno</p>
<p>WLL.INT.5</p>  <p>Sp. 23 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.INT.5.DRW.WD.DRW            EF_25_10_40            Internal walls            Ss_25_11_90            Timber wall systems</p>	
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>EXT</i>            - cartongesso (1,5 cm)            - pannello X-lam (20 cm)            - cartongesso (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.DRW            STR.WD            FIN.DRW</p>





	<b>Descrizione</b>		Parete divisoria interna in pannelli X-lam con passaggio dell'impiantistica
<p>WLL.INT.6</p>  <p>Sp. 13 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WLL.INT.5.DRW.WD.DRW EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_11_90 Timber wall systems
	<b>Materiali</b>	<i>EXT</i> - cartongesso (1,5 cm) - pannello X-lam (10 cm) - cartongesso (1,5 cm) <i>INT</i>	FIN.DRW STR.WD FIN.DRW
	<b>Descrizione</b>		Parete divisoria interna semplice in pannelli X-lam

## 8.4 Abaco degli orizzontamenti

Tabella 44 - Abaco dei solai in laterocemento




Elemento costruttivo			Nomenclatura Uniclass
<b>FLR.STR.1</b>  Sp. 30 cm	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.STR.1.CNC EF_30_20 Floors Ss_20_05_15_70 Reinforced concrete pad and strip foundation systems
	Materiale	<i>UP</i> - calcestruzzo (30 cm) <i>DOWN</i>	STR.CNC
	Descrizione		Soletta di fondazione in calcestruzzo armato
<b>FLR.STR.2</b>  Sp. 21 cm	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.STR.2.PLS.BRC.CNC EF_30_20 Floors Ss_30_12_05 Beam and block floor systems
	Materiali	<i>UP</i> - cappa in cls armato (4 cm) - laterizio (16 cm) - intonaco (1 cm) <i>DOWN</i>	STR.CNC STR.BRC FIN.PLS
	Descrizione		Solaio strutturale di interpiano in laterocemento
<b>FLR.STR.3</b>  Sp. 21 cm	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.STR.3.PLS.CNC EF_30_20 Floors Ss_30_12_85_70 Reinforced concrete deck systems
	Materiali	<i>UP</i> - calcestruzzo (20 cm) - intonaco (1 cm) <i>DOWN</i>	STR.CNC FIN.PLS
	Descrizione		Terrazzo strutturale



<p><b>FLR.ARC.1</b></p>  <p>Sp. 25 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM                      EF_30_20                      Floors                      Ss_30_42_32                      Floor tiling systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>UP</i>                      - piastrelle ceramica (2 cm)                      - massetto di allettamento (5 cm)                      - massetto impiantistico (10 cm)                      - XPS (8 cm)  <i>DOWN</i></p>	<p>FIN.CRM                      FIN.CNC                      SUB.CNC                      INS.XPS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Pavimento architettonico contro terra con isolamento in XPS</p>
<p><b>FLR.ARC.2</b></p>  <p>Sp. 17 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>FLR.ARC.2.CNC.CNC.CRM                      EF_30_20                      Floors                      Ss_30_42_32                      Floor tiling systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>UP</i>                      - piastrelle ceramica (2 cm)                      - massetto di allettamento (5 cm)                      - massetto impiantistico (10 cm)  <i>DOWN</i></p>	<p>FIN.CRM                      FIN.CNC                      SUB.CNC</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Pavimento architettonico di interpiano semplice</p>
<p><b>FLR.ARC.3</b></p>  <p>Sp. 7 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>FLR.ARC.3.CNC.CRM                      EF_30_20                      Floors                      Ss_30_42_32                      Floor tiling systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>UP</i>                      - piastrelle ceramica (2 cm)                      - massetto di allettamento (5 cm)  <i>DOWN</i></p>	<p>FIN.CRM                      FIN.CNC</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Pavimento architettonico terrazzi</p>
<p><b>FLR.ARC.4</b></p>  <p>Sp. 30 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>FLR.ARC.4.XPS.CNC.GRP.CNC.CRM                      EF_30_20                      Floors                      Ss_30_42_32                      Floor tiling systems</p>

	<b>Materiali</b>	<i>UP</i> - piastrelle ceramica (2 cm) - massetto di allettamento (4,5 cm) - pavimento radiante (5,5 cm) - massetto impiantistico (10 cm) - XPS (8 cm) <i>DOWN</i>	FIN.CRM FIN.CNC SUB.GRP SUB.CNC INS.XPS
	<b>Descrizione</b>	Pavimento architettonico contro terra o di interpiano con sistema radiante e isolamento in XPS	

Tabella 45 - Abaco dei solai in legno

<b>Elemento costruttivo</b>			<b>Nomenclatura Uniclass</b>
<b>FLR.STR.4</b>  Sp. 16 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.STR.4.WD EF_30_20 Floors Ss_30_12_85_90 Timber deck systems
	<b>Materiale</b>	<i>UP</i> - pannelli X-lam (16 cm) <i>DOWN</i>	STR.WD
	<b>Descrizione</b>	Pavimento di interpiano strutturale in pannelli X-lam	
<b>FLR.ARC.5</b>  Sp. 17 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.ARC.5.CNC.CNC.WD EF_30_20 Floors Ss_30_20_90 Wood and composite unit flooring systems
	<b>Materiali</b>	<i>UP</i> - finitura in legno (2 cm) - massetto di allettamento (5 cm) - massetto impiantistico (10 cm) <i>DOWN</i>	FIN.WD FIN.CNC SUB.CNC
	<b>Descrizione</b>	Pavimento architettonico di interpiano semplice con finitura in legno	
<b>FLR.ARC.6</b>  Sp. 17 cm	<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	FLR.ARC.6.XPS.CNC.GRP.CNC.WD EF_30_20 Floors Ss_30_20_90 Wood and composite unit flooring systems

	<b>Materiali</b>	<i>UP</i> - finitura in legno (2 cm) - massetto di allettamento (4,5 cm) - pavimento radiante (5,5 cm) - massetto impiantistico (10 cm) - XPS (8 cm) <i>DOWN</i>	FIN.WD FIN.CNC SUB.GRP SUB.CNC INS.XPS
	<b>Descrizione</b>	Pavimento architettonico di interpiano con sistema radiante, isolamento in XPS e finitura in legno	

## 8.5 Abaco delle coperture

Tabella 46 - Abaco delle coperture in laterocemento

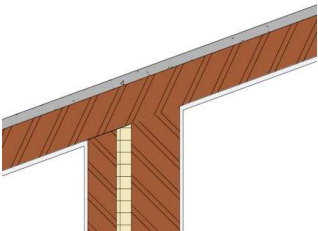
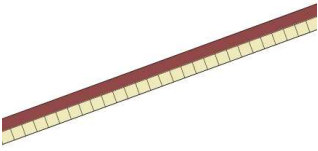
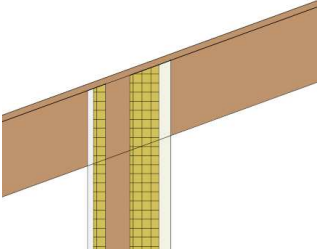
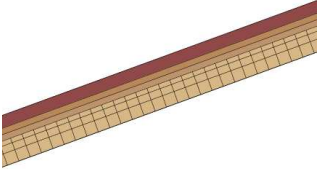
Elemento costruttivo			Nomenclatura Uniclass
<p>ROF.STR.1</p>  <p>Sp. 22 cm</p>	<b>Classificazione</b> <i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_12_05 Beam and block floor systems	
		<b>Materiali</b> <i>UP</i> - cappa in cls armato (4 cm) - laterizio (16 cm) - intonaco (2 cm) <i>DOWN</i>	STR.CNC STR.BRC FIN.PLS
	<b>Descrizione</b>	Copertura strutturale in laterocemento	
<p>ROF.ARC.1</p>  <p>Sp. 10 cm</p>	<b>Classificazione</b> <i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	ROF.ARC.1.XPS.TL EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_40_95_40 Interlocking tile roofing systems	
		<b>Materiali</b> <i>UP</i> - tegole in laterizio (5 cm) - XPS (5 cm) <i>DOWN</i>	FIN.TL INS.XPS
	<b>Descrizione</b>	Copertura architettonica con isolamento in XPS e finitura con tegole in laterizio	

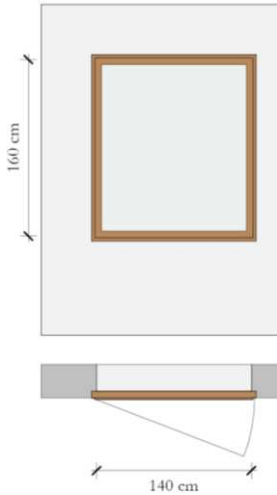
Tabella 47 - Abaco delle coperture in legno

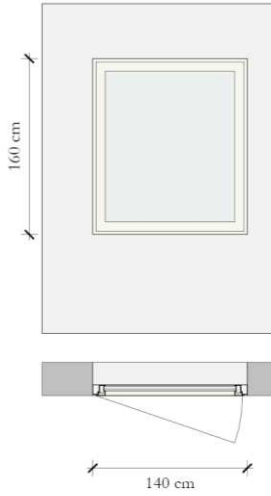
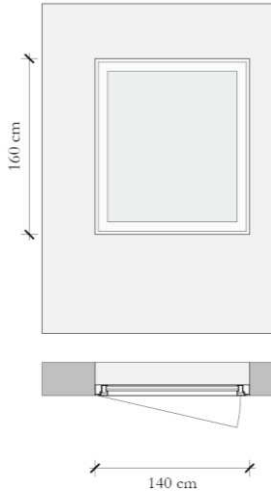
Elemento costruttivo			Nomenclatura Uniclass
<p>ROF.STR.2</p>  <p>Sp. 2,5 cm</p>	<b>Classificazione</b> <i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	ROF.STR.2.WD EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_12_85_90 Timber deck systems	
		<b>Materiali</b> <i>UP</i> - assi in legno (2,5 cm) <i>DOWN</i>	STR.WD

	<b>Descrizione</b>	Copertura strutturale di assi in legno posta sopra alla travatura principale	
<p>ROF.ARC.1</p>  <p>Sp. 20 cm</p>	<b>Classificazione</b> <i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	ROF.ARC.2.WFB.WD.WD.TL EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_10_30_85 Timber roof framing systems	
	<b>Materiali</b>	<i>UP</i> - tegole in laterizio (5 cm) - telaio in legno (2,5 cm) - telaio in legno (2,5 cm) - fibra di legno (2 cm) - fibra di legno (8 cm) <i>DOWN</i>	FIN.TL FIN.WD STR.WD INS.WFB INS.WFB
	<b>Descrizione</b>	Copertura architettonica con doppio isolamento in fibra di legno e finitura con tegole in laterizio	

## 8.6 Abaco delle finestre

Tabella 48 - Abaco delle finestre

<b>Elemento costruttivo</b>	WND.EXW.1			
<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WND.EXW.1.SLW.WD EF_25_30_97 Windows Pr_30_59_98_96 Wood window units Ss_25_30_95_95 Window system		
<b>Materiali</b>	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.WD FIN.WD FIN.GLS		
<b>Dimensioni</b>	120x120 cm 140x140 cm 140x160 cm 190x160 cm 200x230 cm 240x160 cm	<b>Descrizione</b>	Finestra in legno ad una anta. Sezione del telaio piena.	

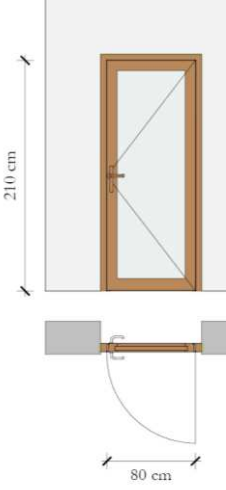
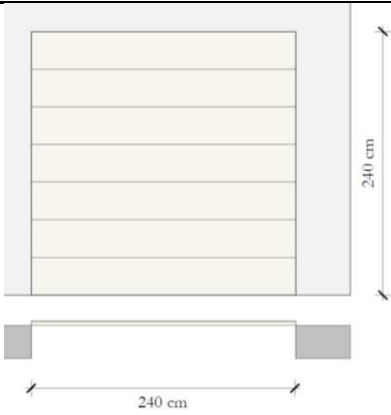
<p>Elemento costruttivo</p>	<p>WND.EXW.2</p>		
<p>Classificazione</p>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Pr.Number</i>  <i>Pr.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WND.EXW.2.SLW.ALM                  EF_25_30_97                  Windows                  Pr_30_59_98_02                  Aluminium window units                  Ss_25_30_95_95                  Window system</p>	
<p>Materiali</p>	<p><i>Finiture</i>  <i>Telaio</i>  <i>Anta</i>  <i>Vetro</i></p>	<p>FIN.ALM                  FIN.ALM                  FIN.ALM                  FIN.GLS</p>	
<p>Dimensioni</p>	<p>120x120 cm                  140x140 cm                  140x160 cm                  190x160 cm                  200x230 cm                  240x160 cm</p>	<p>Descrizione</p>	<p>Finestra in alluminio ad una anta. Sezione del telaio cava.</p>
<p>Elemento costruttivo</p>	<p>WND.EXW.3</p>		

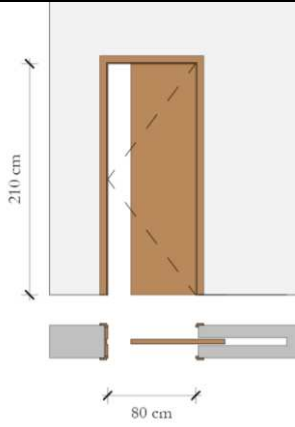
<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	WND.EXW.3.SLW.PVC EF_25_30_97 Windows Pr_30_59_98_92 Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) window units Ss_25_30_95_95 Window system	
<b>Materiali</b>	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.PVC FIN.PVC FIN.GLS	
<b>Dimensioni</b>	120x120 cm 140x140 cm 140x160 cm 190x160 cm 200x230 cm 240x160 cm	<b>Descrizione</b>	Finestra in PVC ad una anta. Sezione del telaio cava.

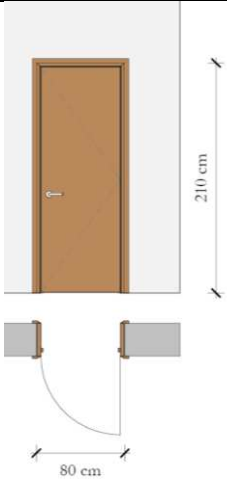


## 8.7 Abaco delle porte

Tabella 49 - Abaco delle porte

Elemento costruttivo	DOR.EXW.2			
Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>		DOR.EXW.2.GL.TDR EF_25_30_25 Doors Pr_30_59_24_16 Composite doorsets Ss_25_30_20_22 Door assembly systems	
Materiali	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>		FIN.ALM FIN.WD FIN.WD FIN.GLS	
Dimensioni	80x210 cm 100x220 cm	Descrizione	Porta esterna in legno, vetrata, ad una anta. Sezione del telaio piena.	
Elemento costruttivo	DOR.EXW.3			

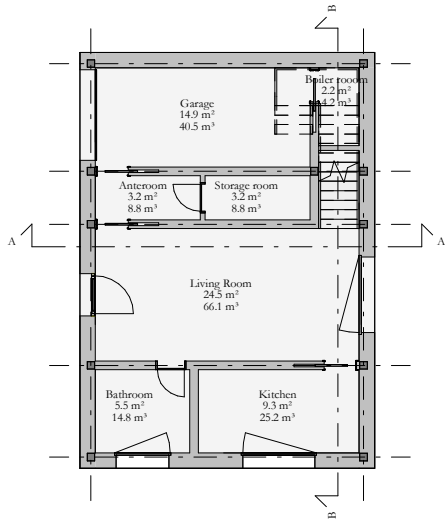
<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	DOR.EXW.3.IR.GDR EF_25_30_25 Doors Pr_30_59_24_04 Automatic revolving doorsets Ss_25_30_20_22 Door assembly systems	
<b>Materiali</b>	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.ALM FIN.ALM /	
<b>Dimensioni</b>	240x240 cm	<b>Descrizione</b>	Basculante garage in alluminio.
<b>Elemento costruttivo</b>	DOR.INW.1		
<b>Classificazione</b>	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	DOR.INW.1.W.SDR EF_25_30_25 Doors Pr_30_59_24_80 Sliding door and partition sets Ss_25_30_20_22 Door assembly systems	
<b>Materiali</b>	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.WD FIN.WD /	
<b>Dimensioni</b>	80x210 cm	<b>Descrizione</b>	Porta interna scorrevole in legno. Sezione del telaio piena.

<p>Elemento costruttivo</p>	<p>DOR.INW.3</p>			
<p>Classificazione</p>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Pr.Number</i>  <i>Pr.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>DOR.INW.3.W.RDR                  EF_25_30_25                  Doors                  Pr_30_59_24_97                  Wood doorsets                  Ss_25_30_20_22                  Door assembly systems</p>		
<p>Materiali</p>	<p><i>Finiture</i>  <i>Telaio</i>  <i>Anta</i>  <i>Vetro</i></p>	<p>FIN.ALM                  FIN.WD                  FIN.WD                  /</p>		
<p>Dimensioni</p>	<p>80x180 cm                  80x210 cm</p>	<p>Descrizione</p>	<p>Porta interna in legno ad una anta. Sezione del telaio piena.</p>	

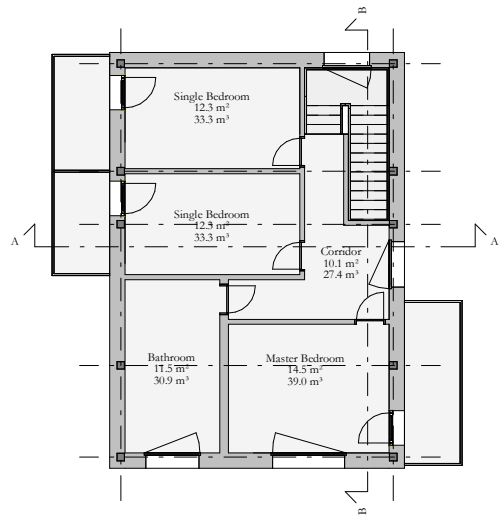


## **Appendice C: tavole architettoniche degli archetipi costruttivi**

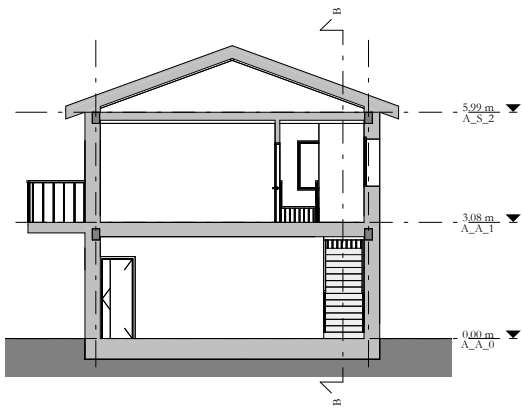
In quest'appendice vengono riportati gli elaborati grafici utili alla rappresentazione degli archetipi italiani per ogni abitazione. Vengono rappresentate le piante dei piani tipo, le sezioni e un'assonometria dove viene evidenziata la conformazione strutturale dei singoli archetipi.



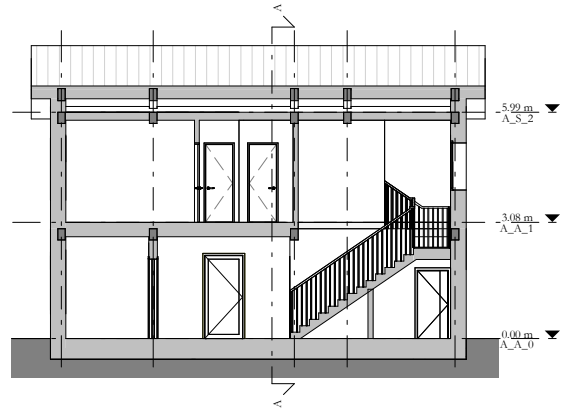
Ground floor plan  
1:200



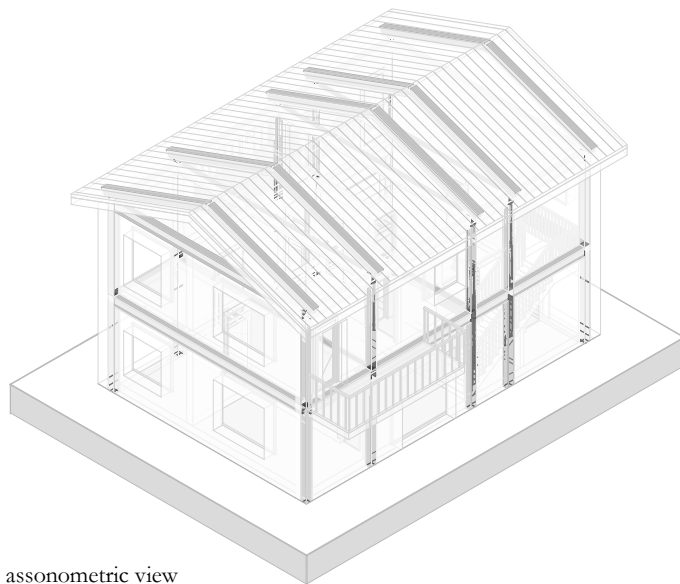
First floor plan  
1:200



Section AA  
1:200



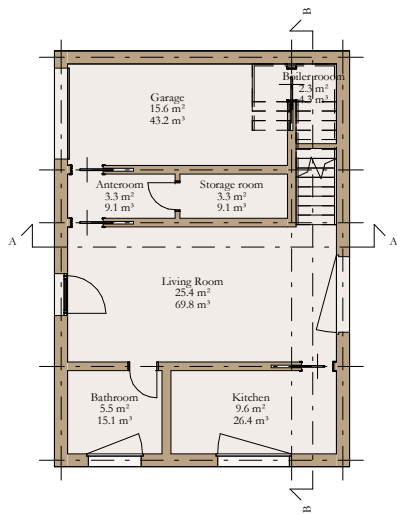
Section BB  
1:200



3D axonometric view

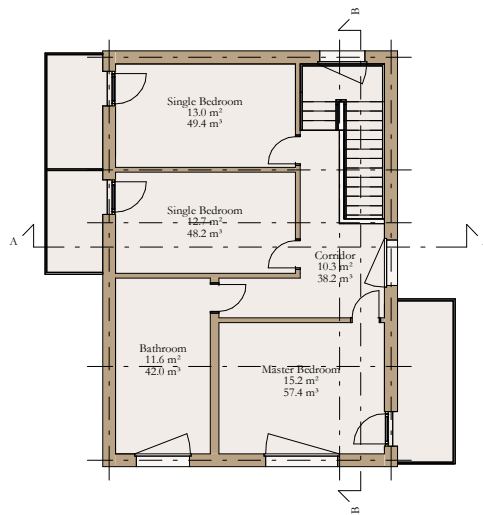
01.

SFH - Single Family House



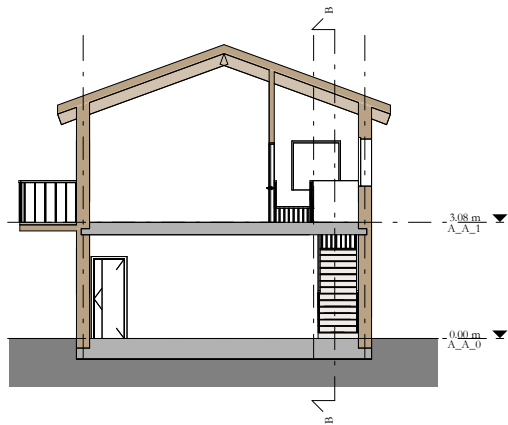
Ground floor plan

1:200



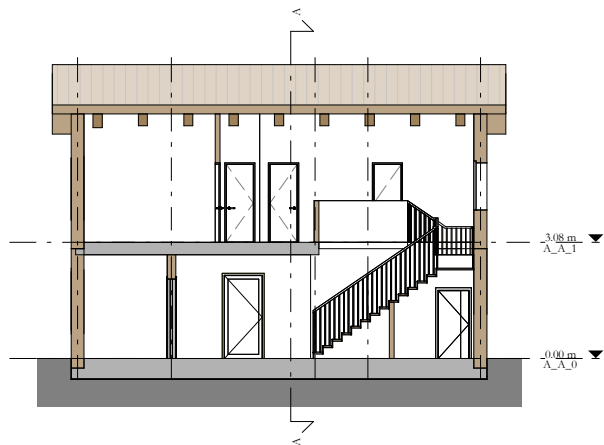
First floor plan

1:200



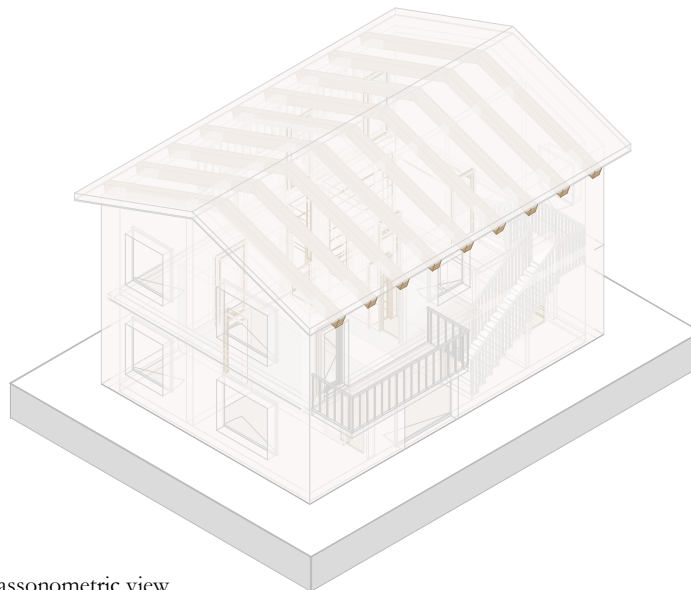
Section AA

1:200



Section BB

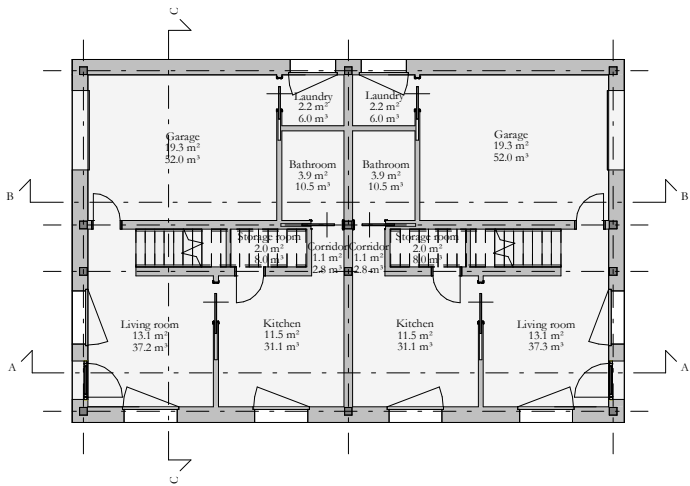
1:200



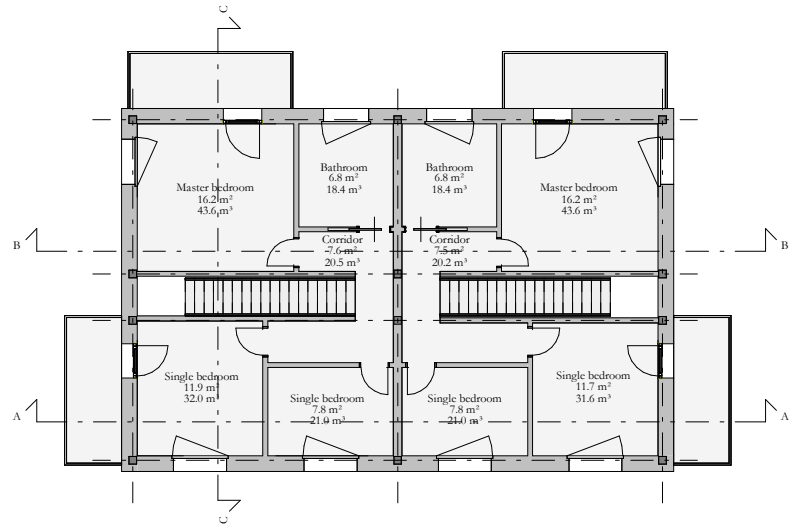
3D axonometric view

02.

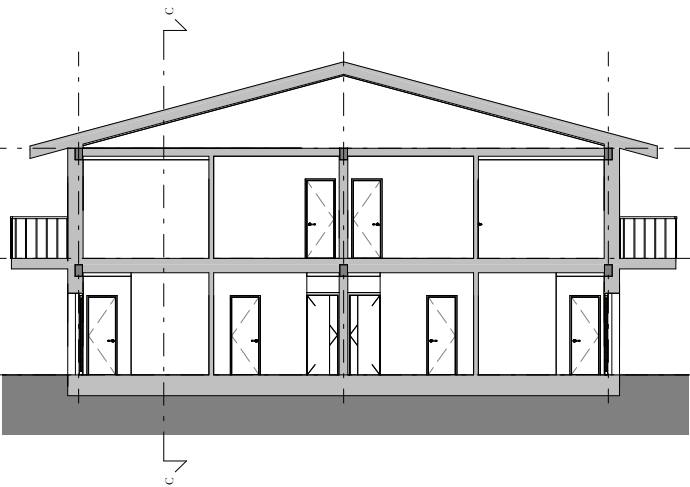
SFHw - Single Family House Wood



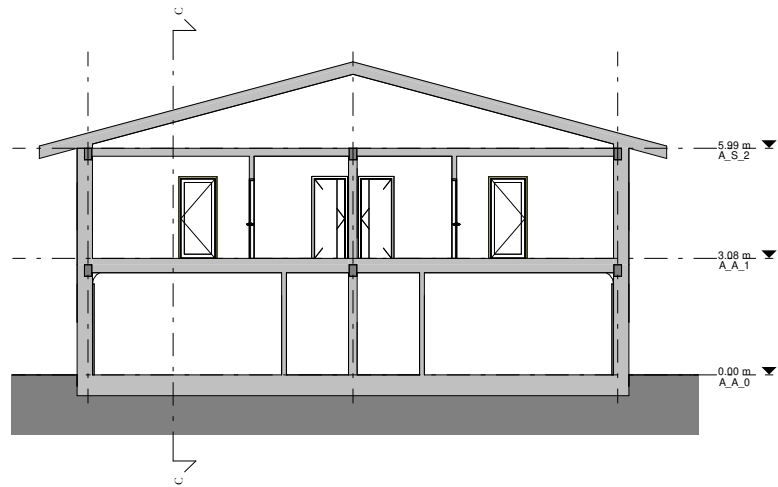
Ground floor plan  
1:200



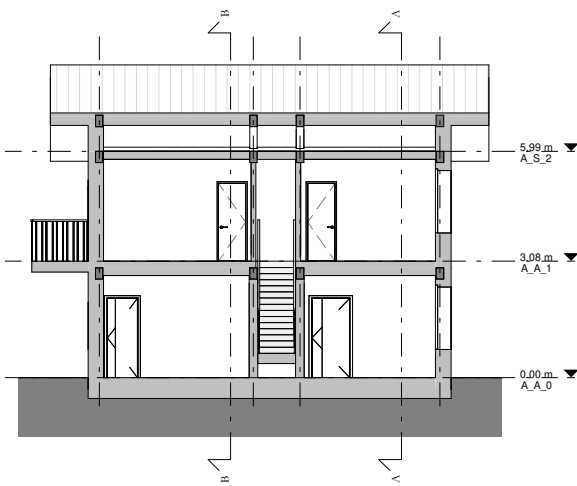
First floor plan  
1:200



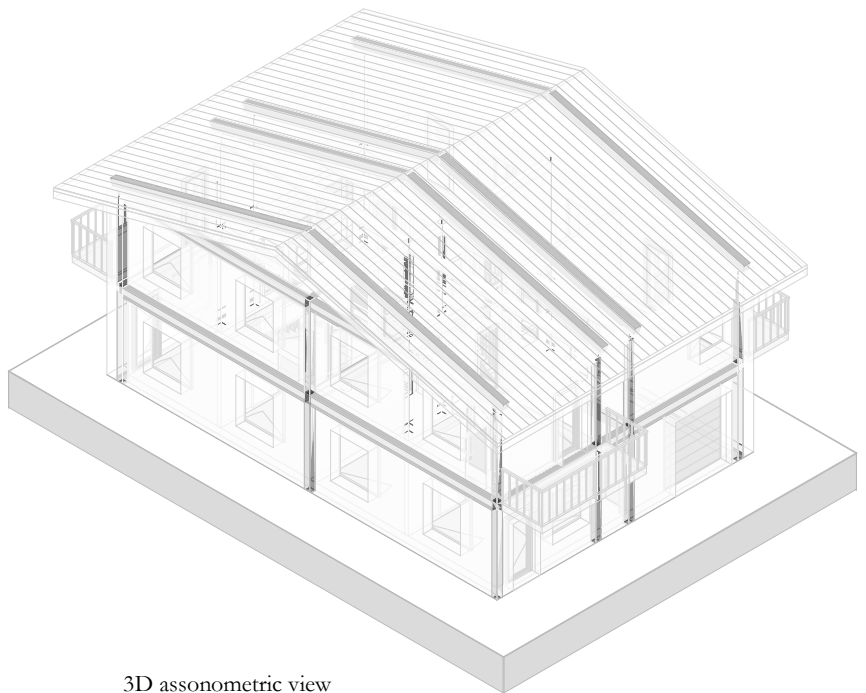
Section AA  
1:200



Section BB  
1:200



Section CC  
1:200

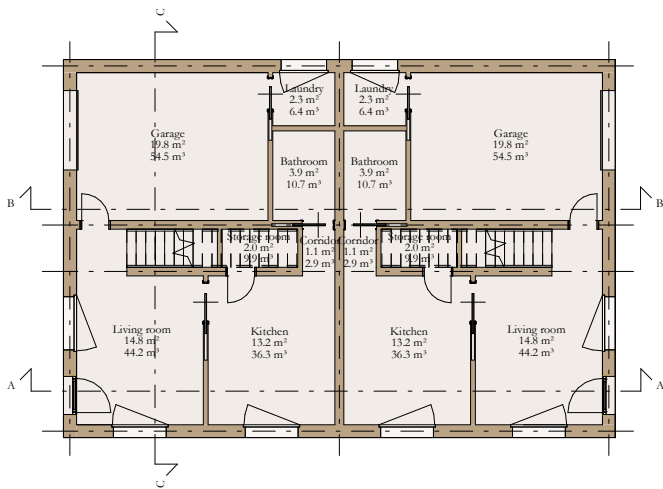


3D axonometric view

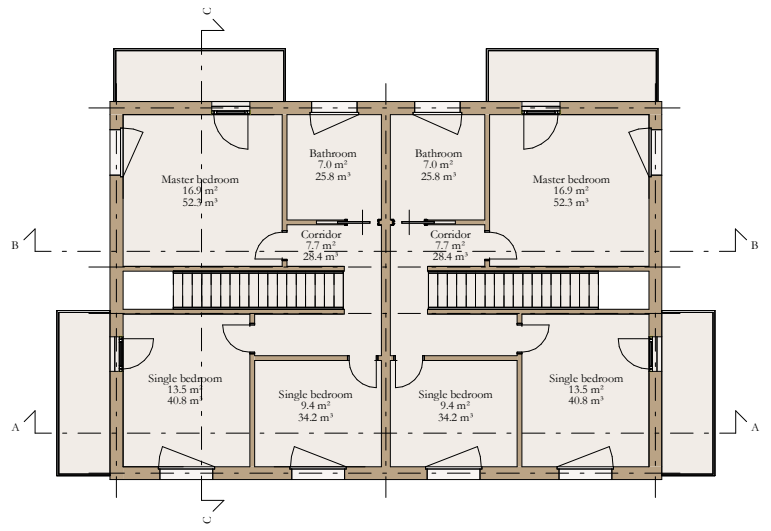
03.

SDH - Semi Detached House

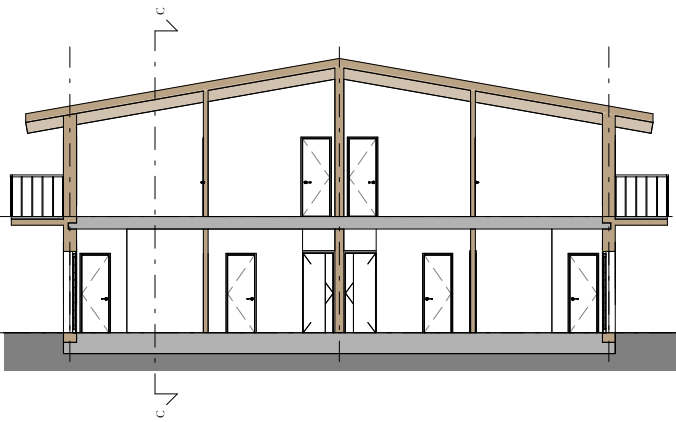




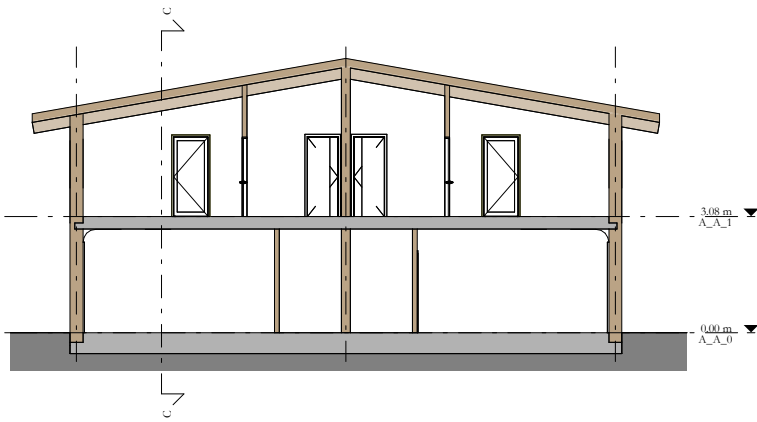
Ground floor plan  
1:200



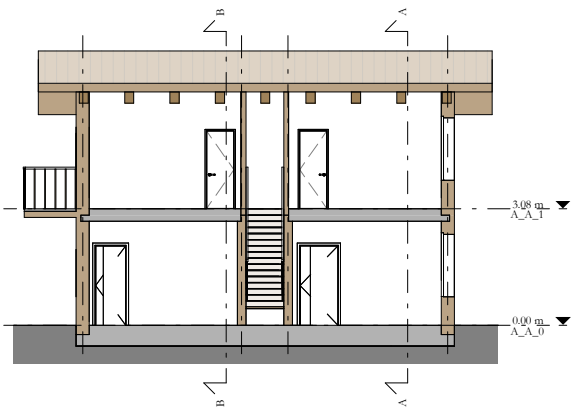
First floor plan  
1:200



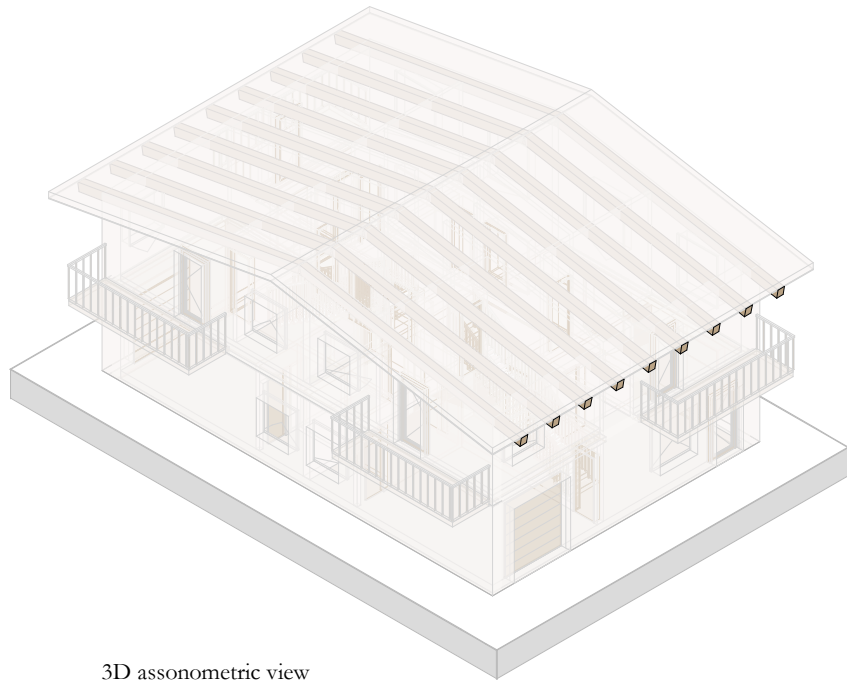
Section AA  
1:200



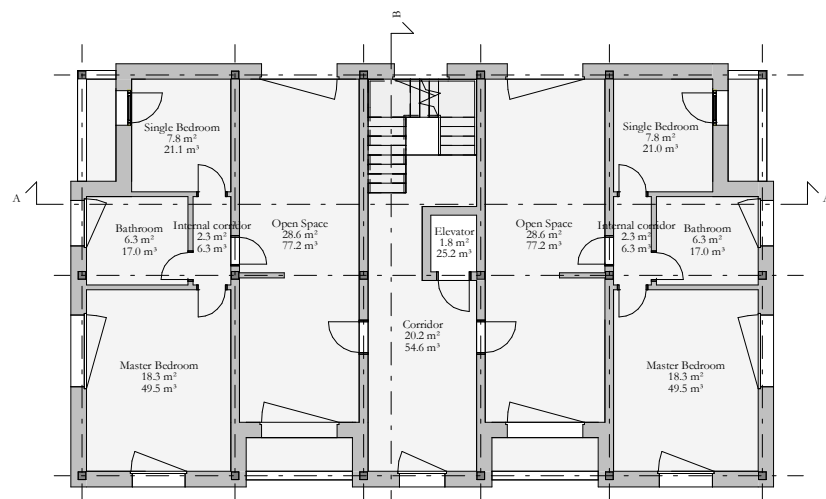
Section BB  
1:200



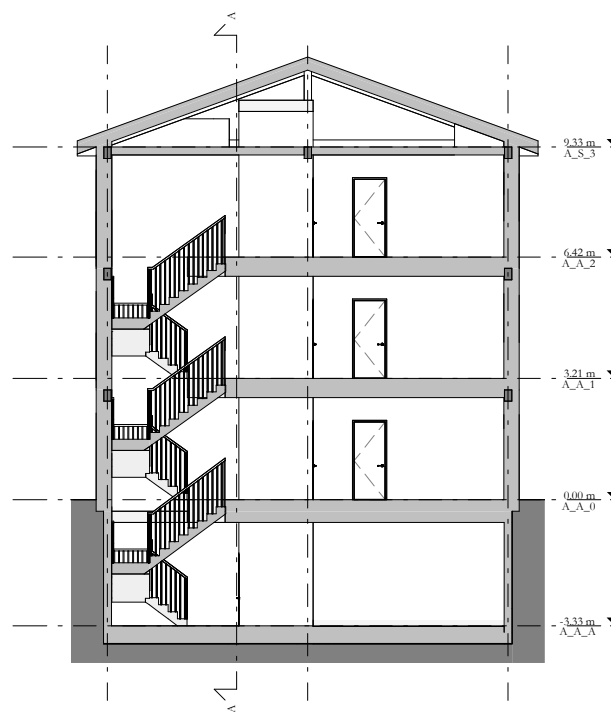
Section CC  
1:200



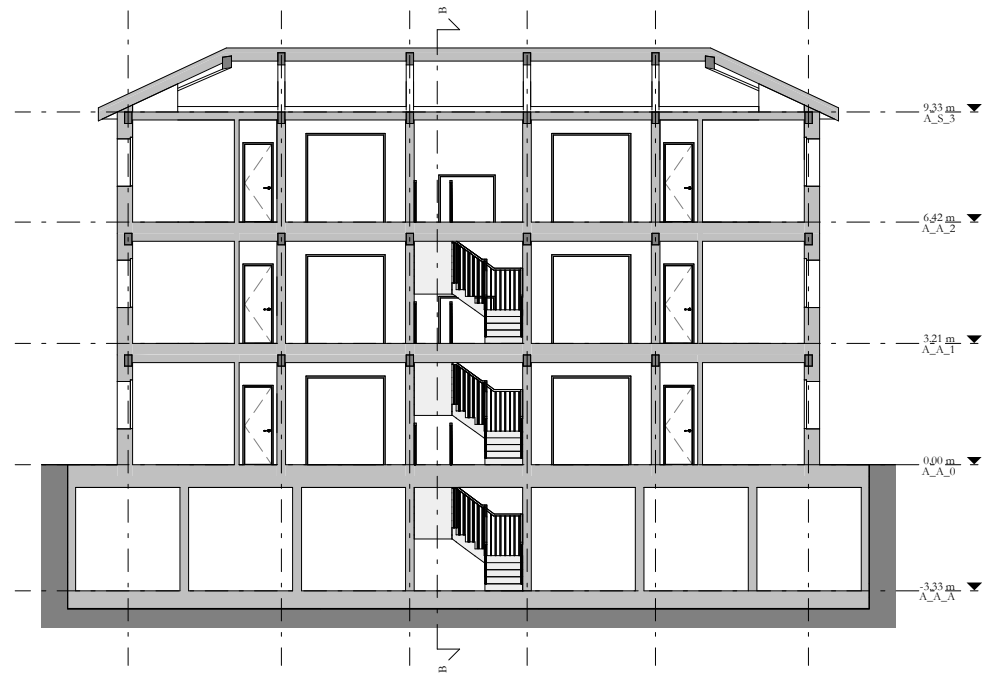
3D axonometric view



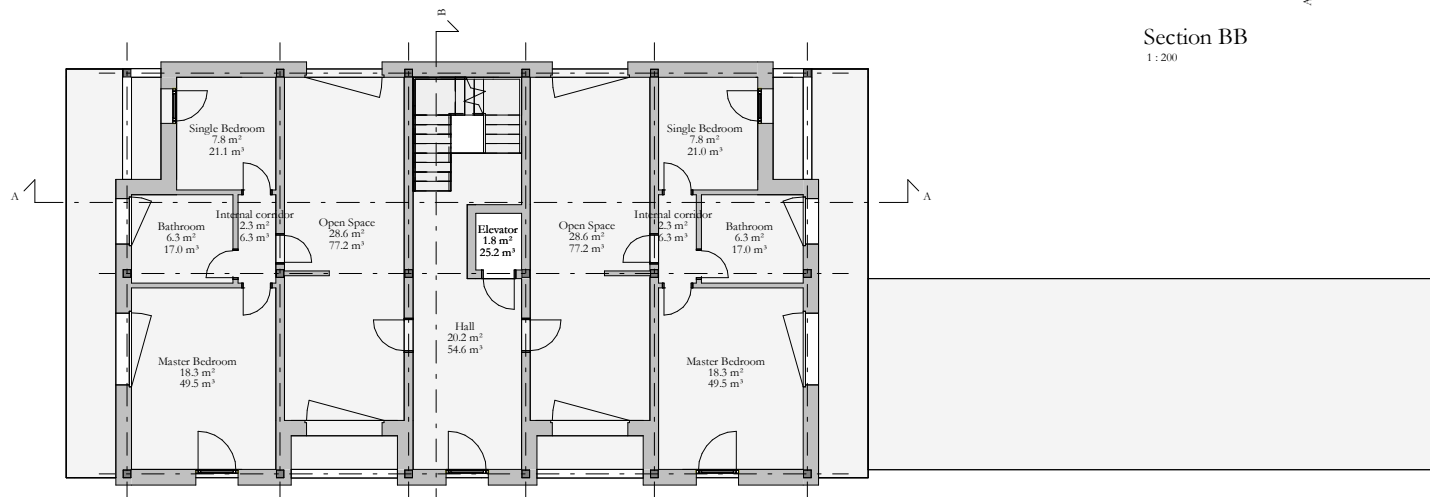
First and Second floor plan  
1:200



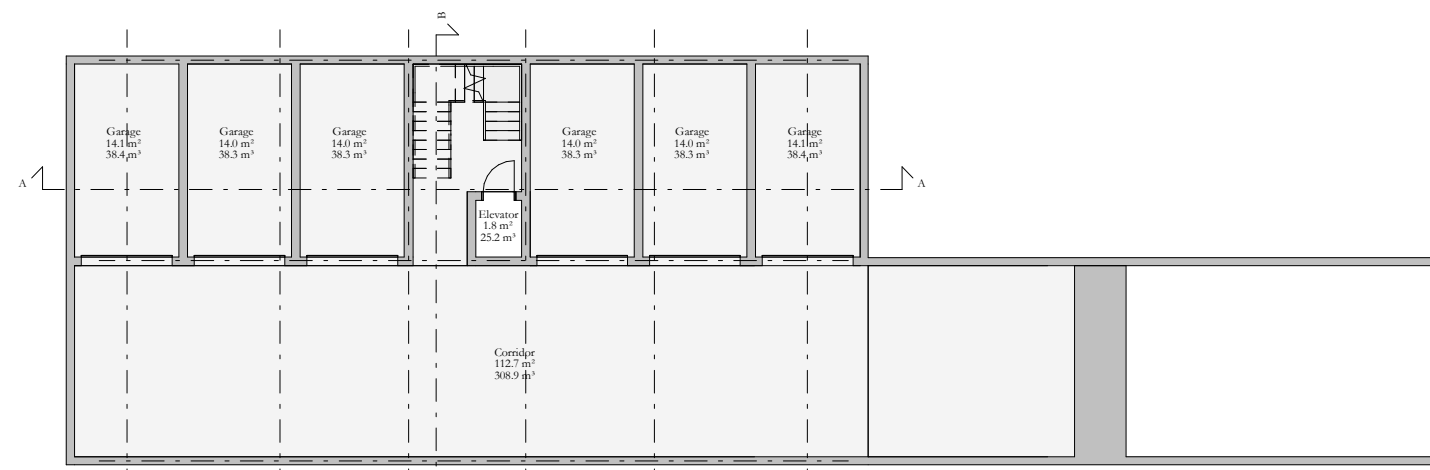
Section BB  
1:200



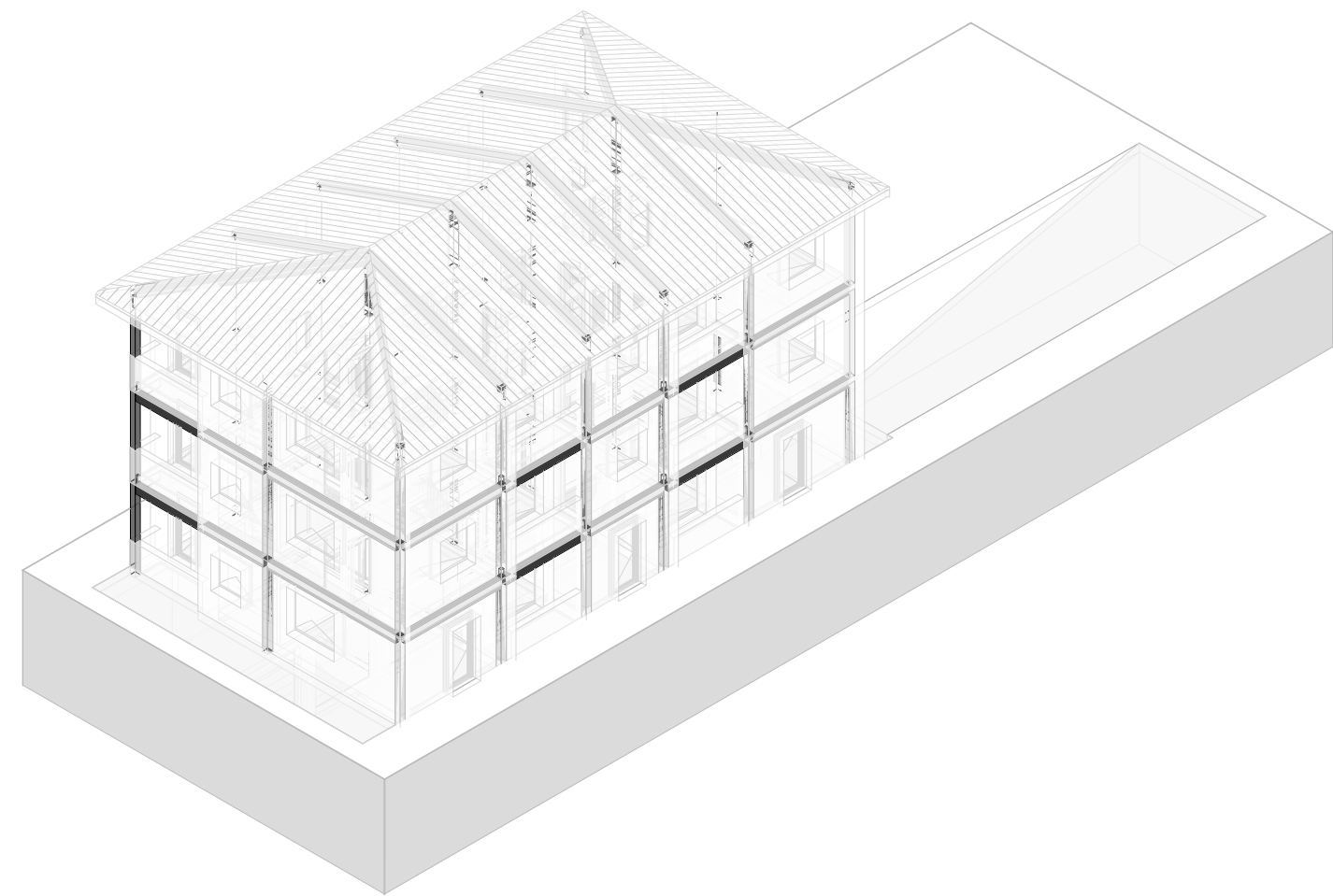
Section AA  
1:200



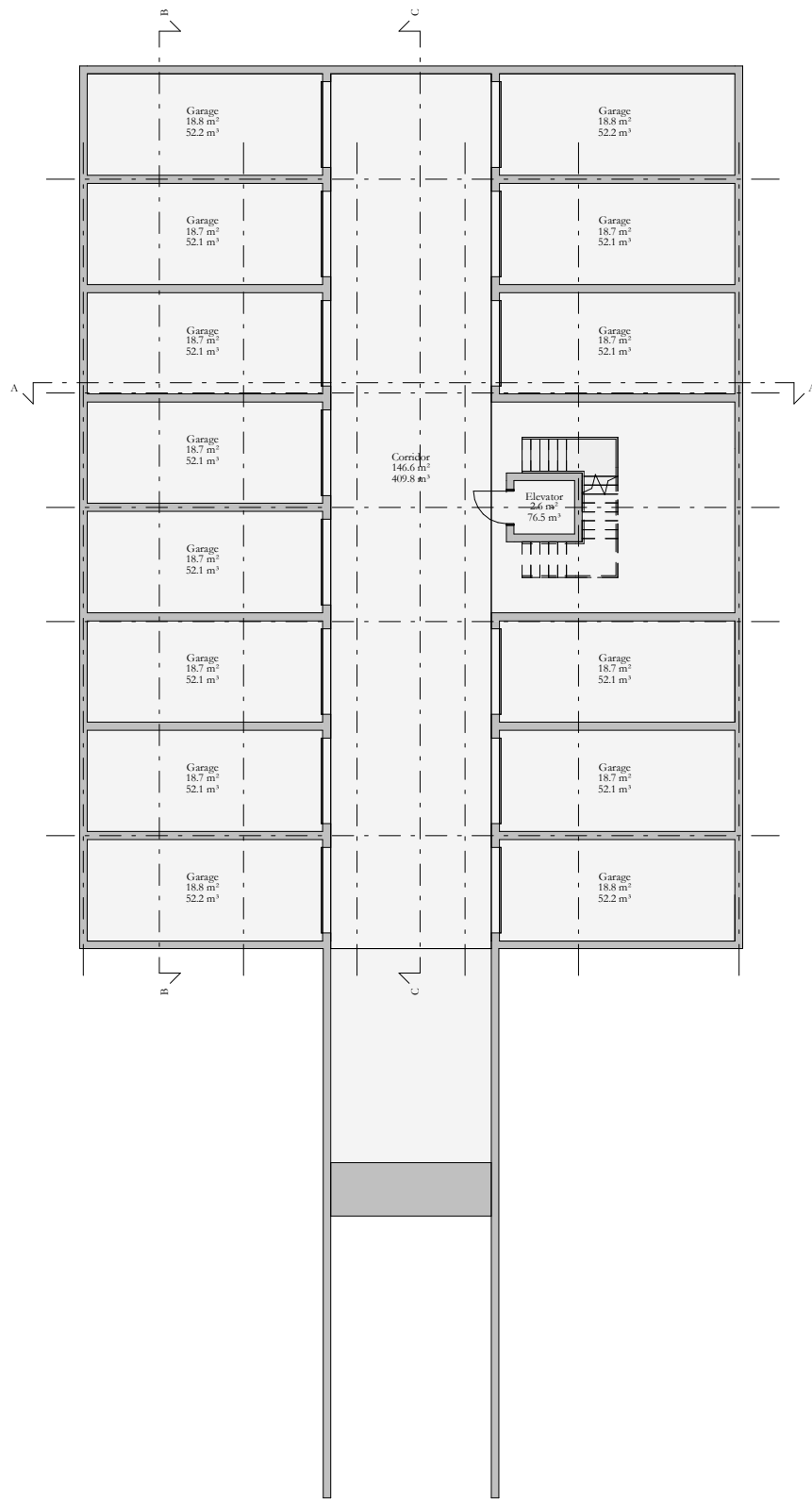
Ground floor plan  
1:200



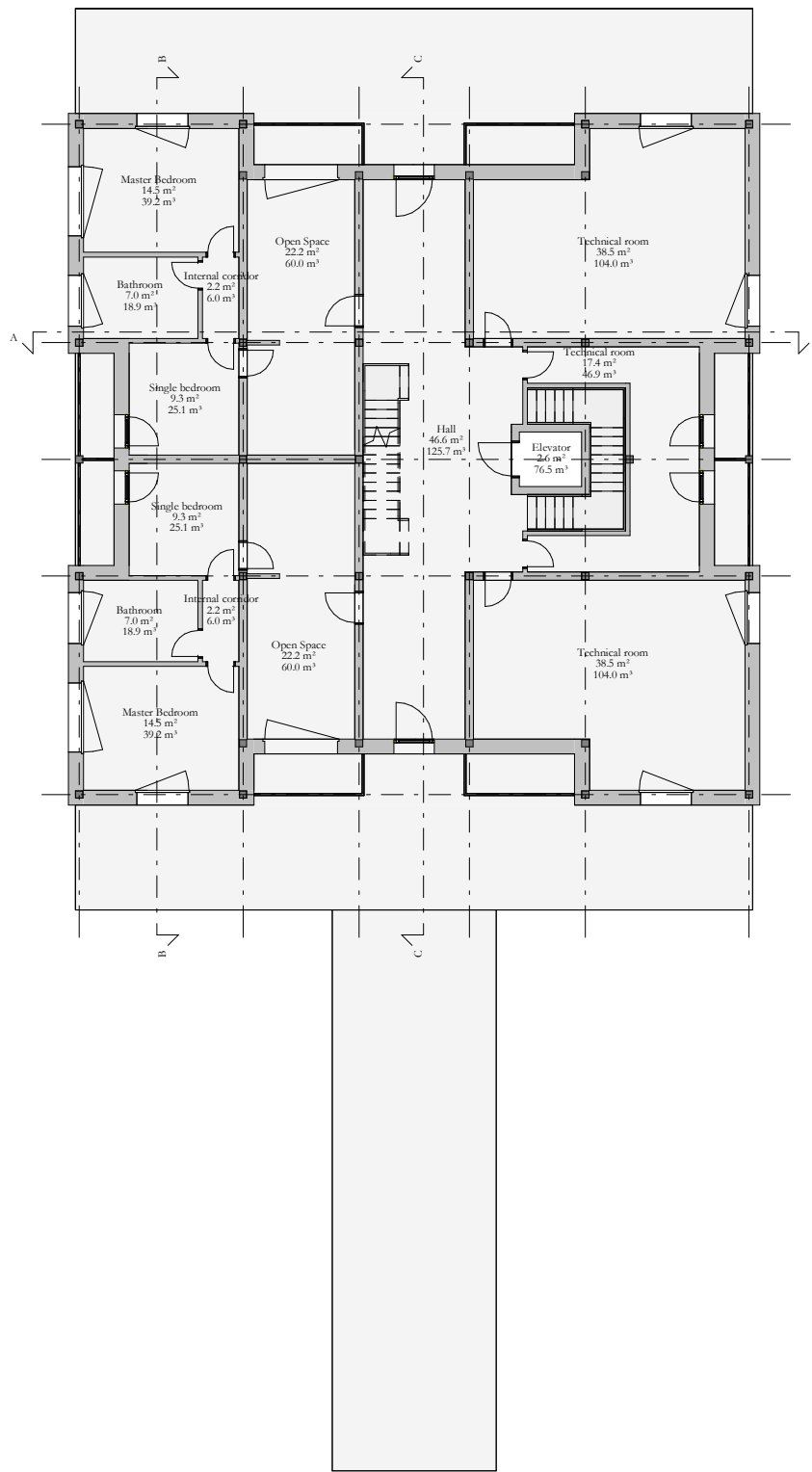
Underground floor plan  
1:200



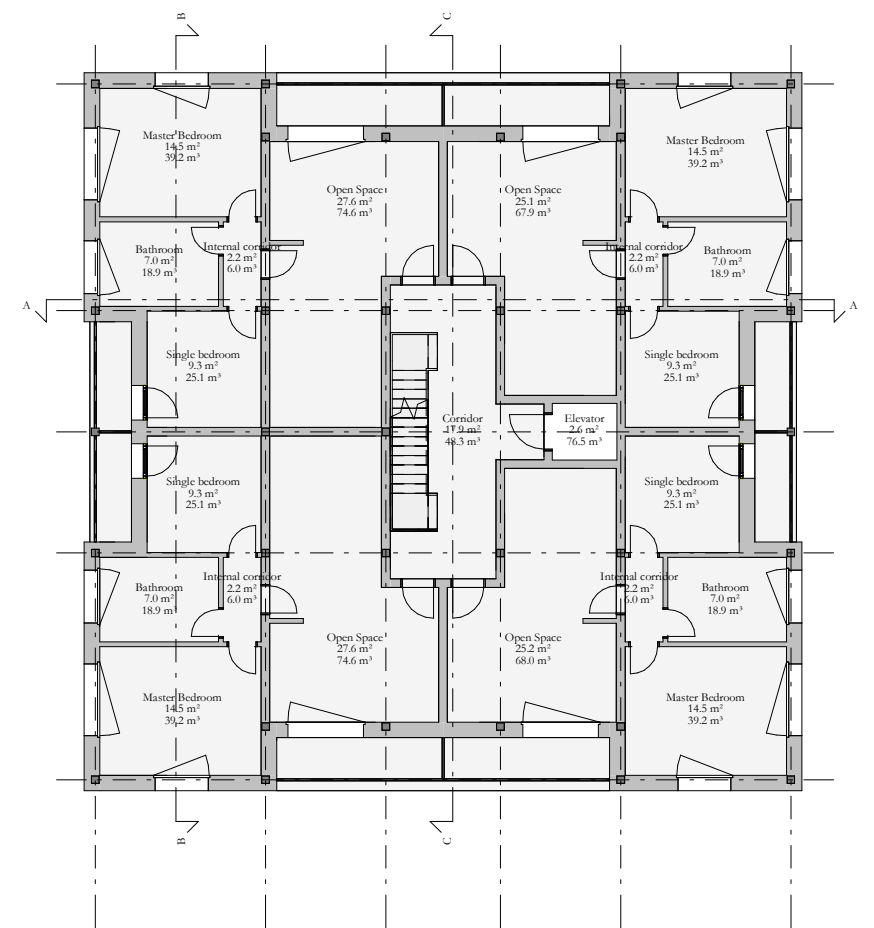
3D axonometric view



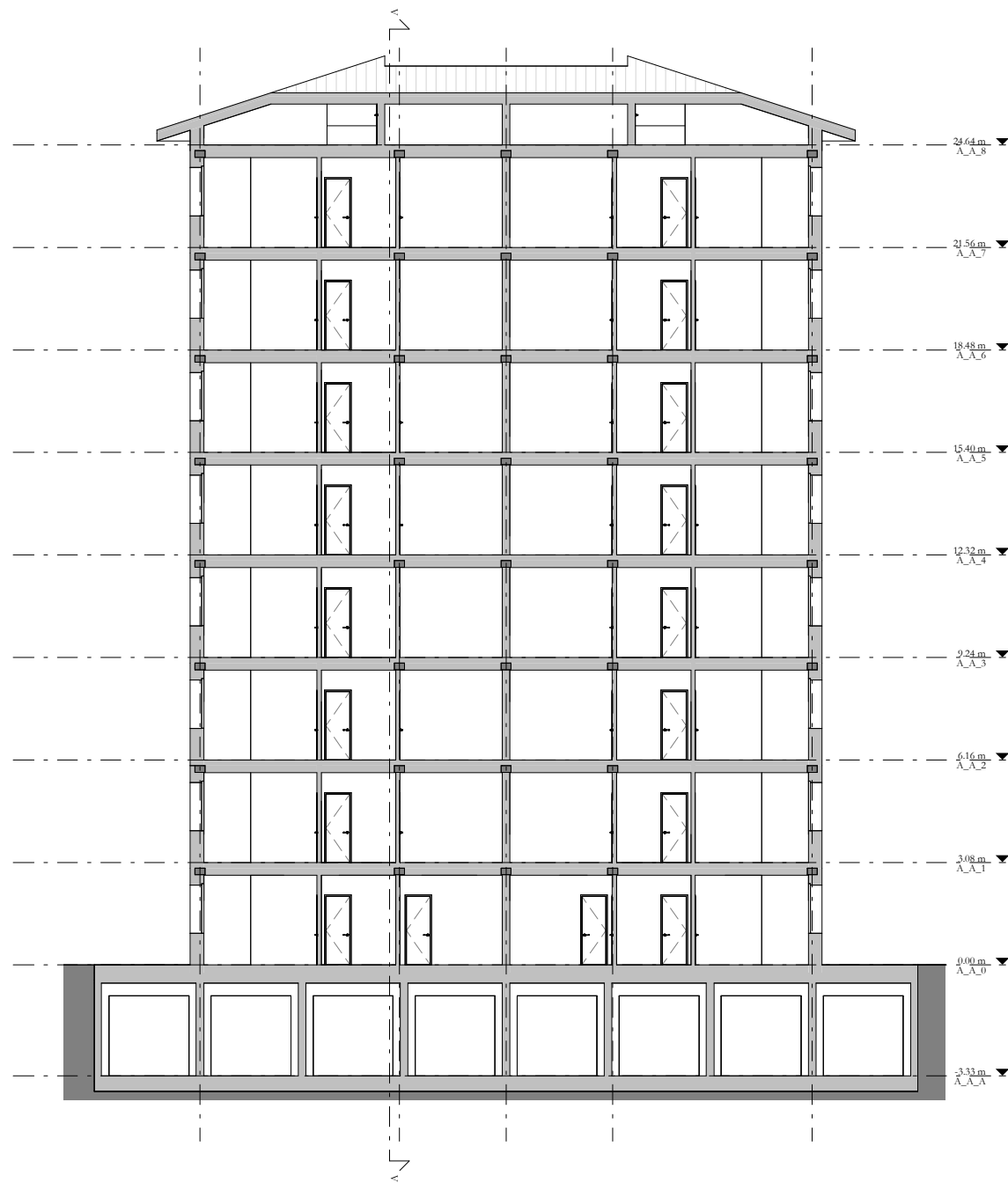
Underground floor plan  
1:200



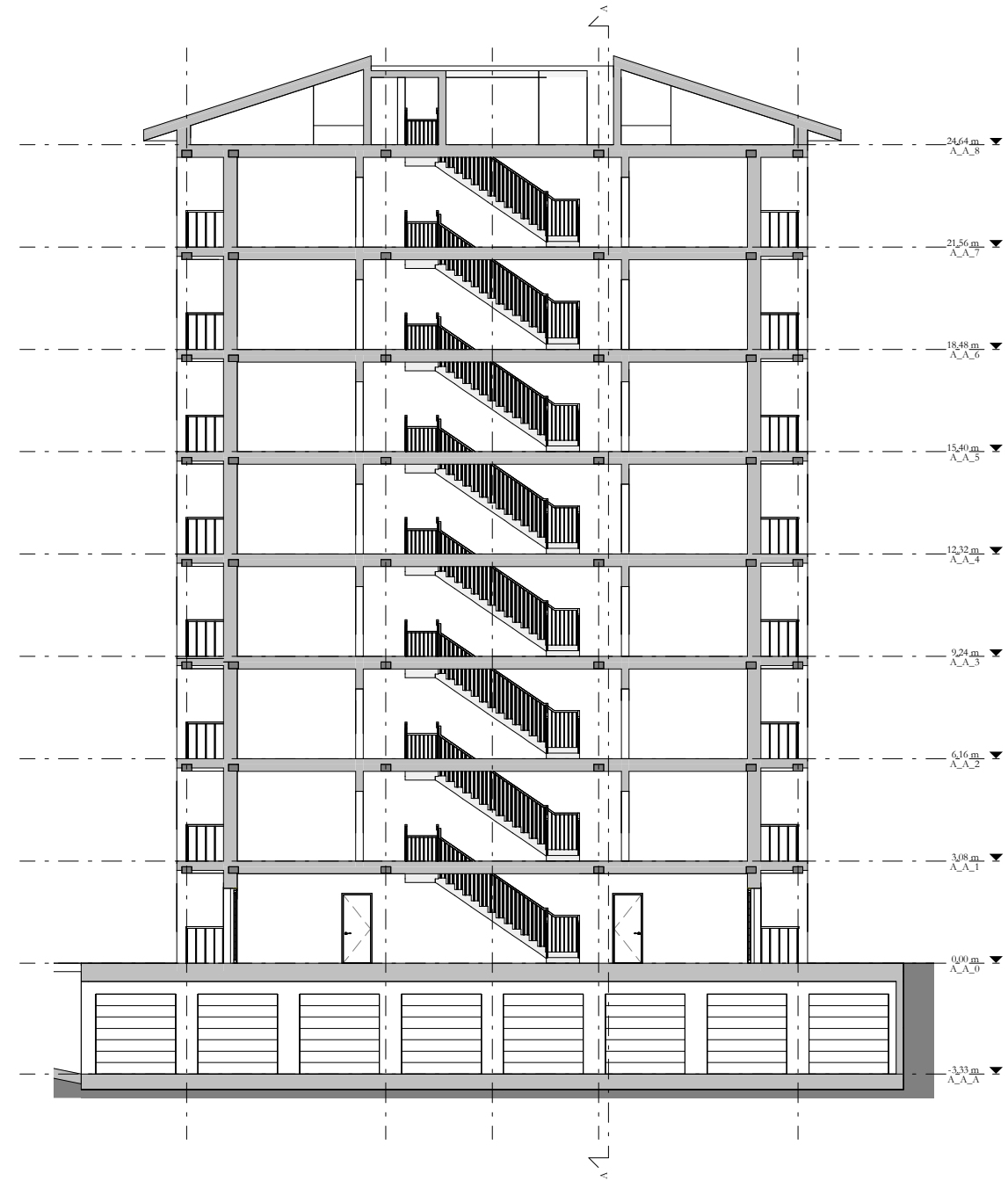
Ground floor plan  
1:200



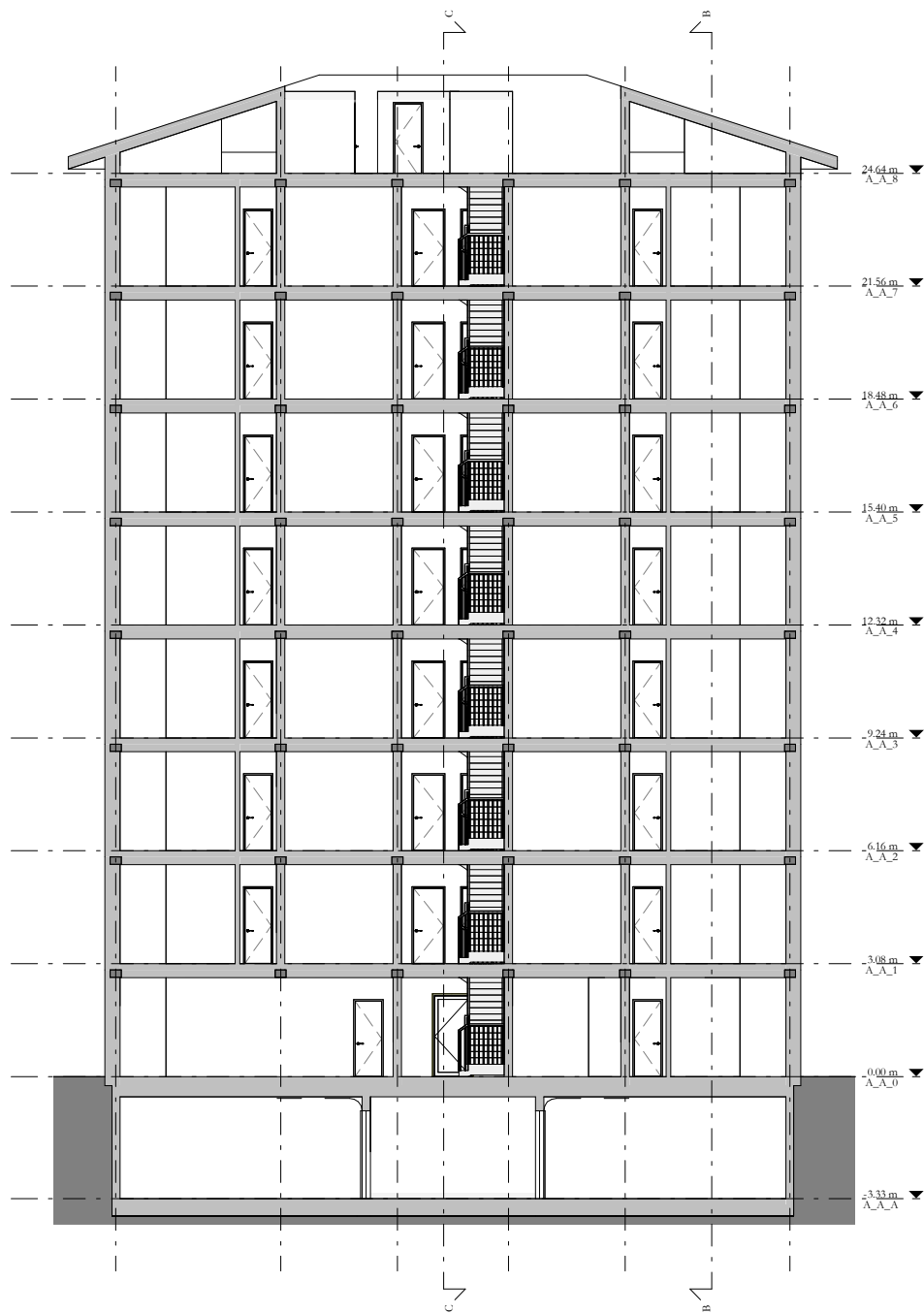
Aboveground standard floors plan  
1:200



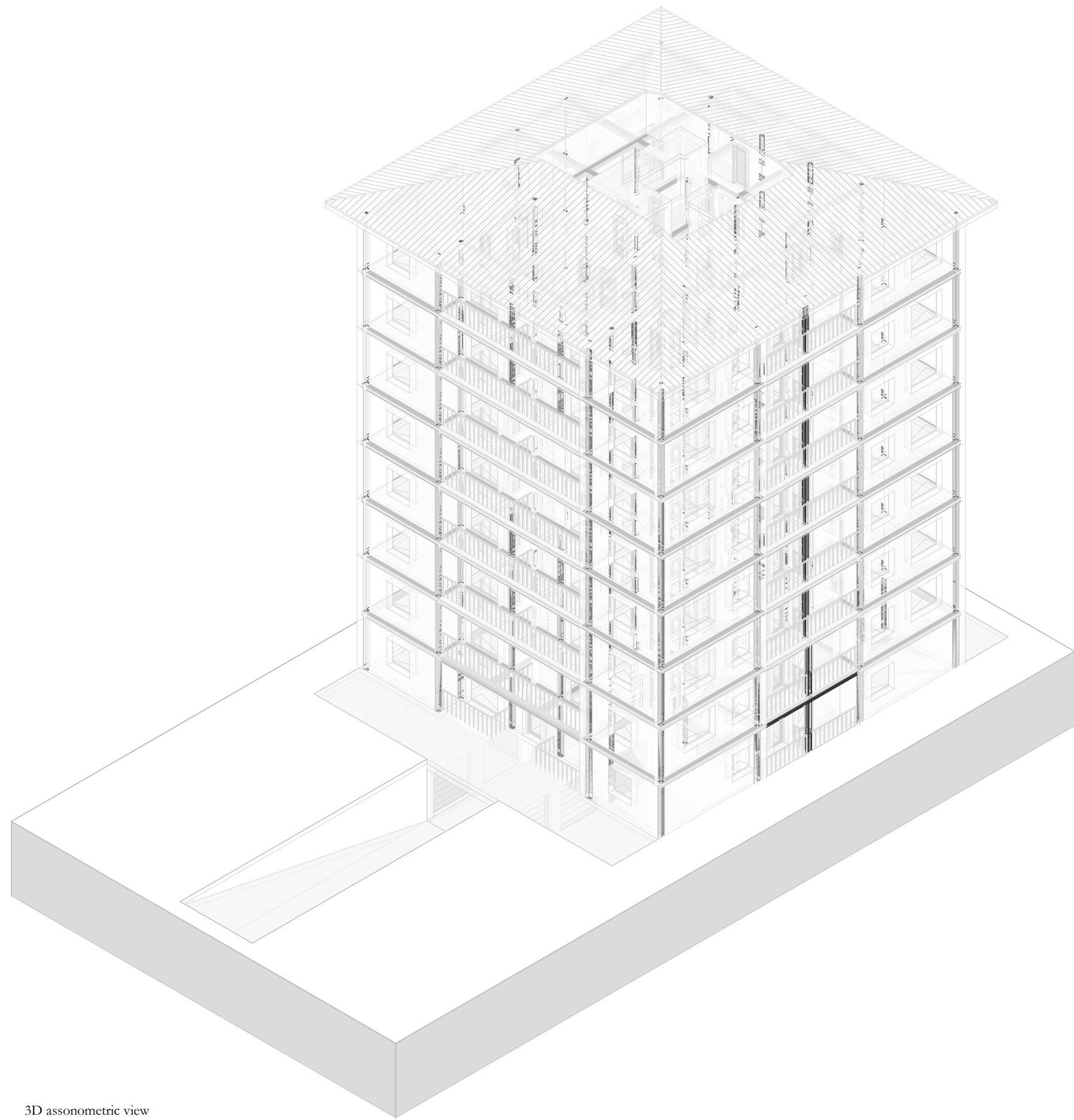
Section BB  
1:200



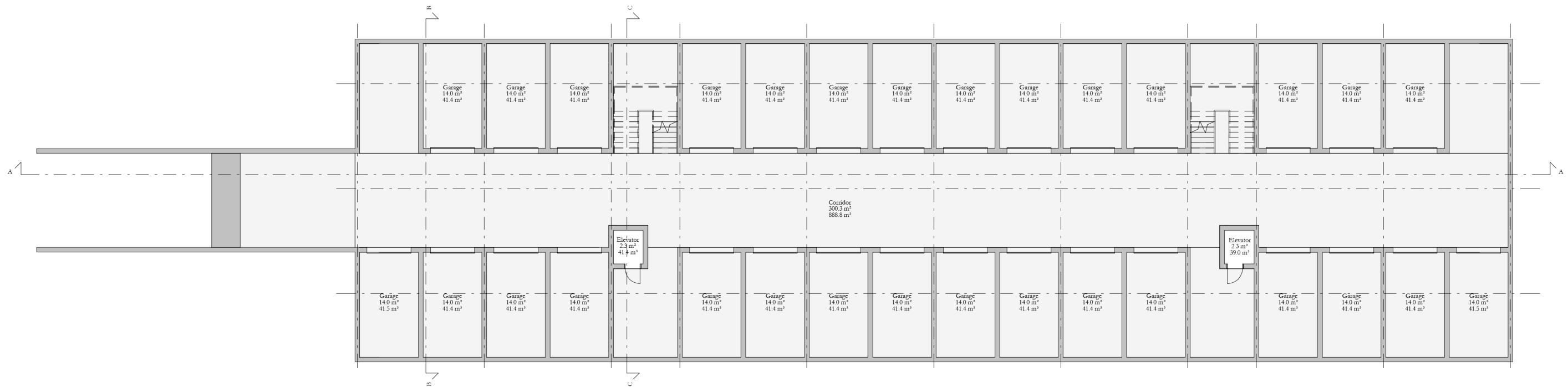
Section CC  
1:200



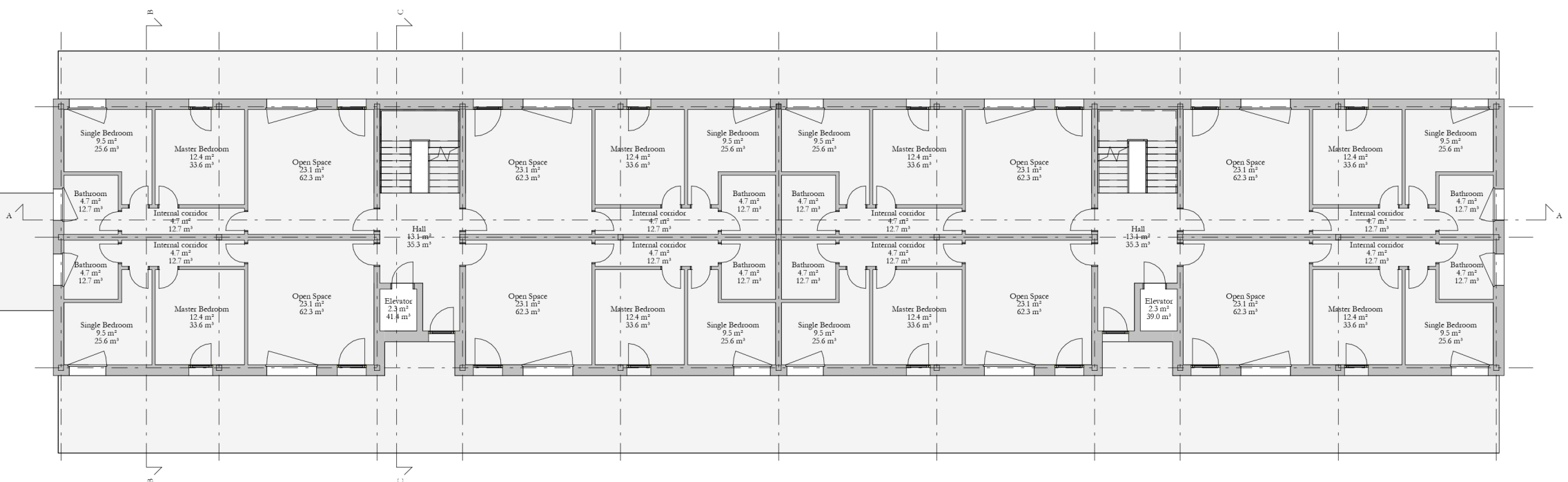
Section AA  
1:200



3D isometric view

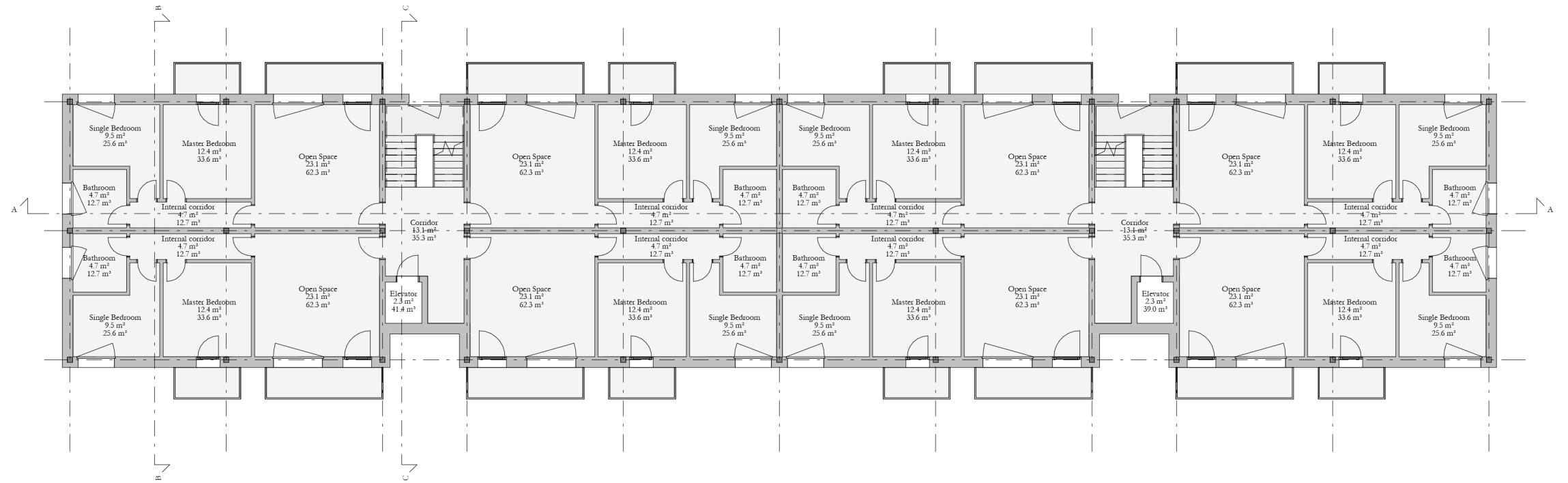


Underground floor plan  
1:200

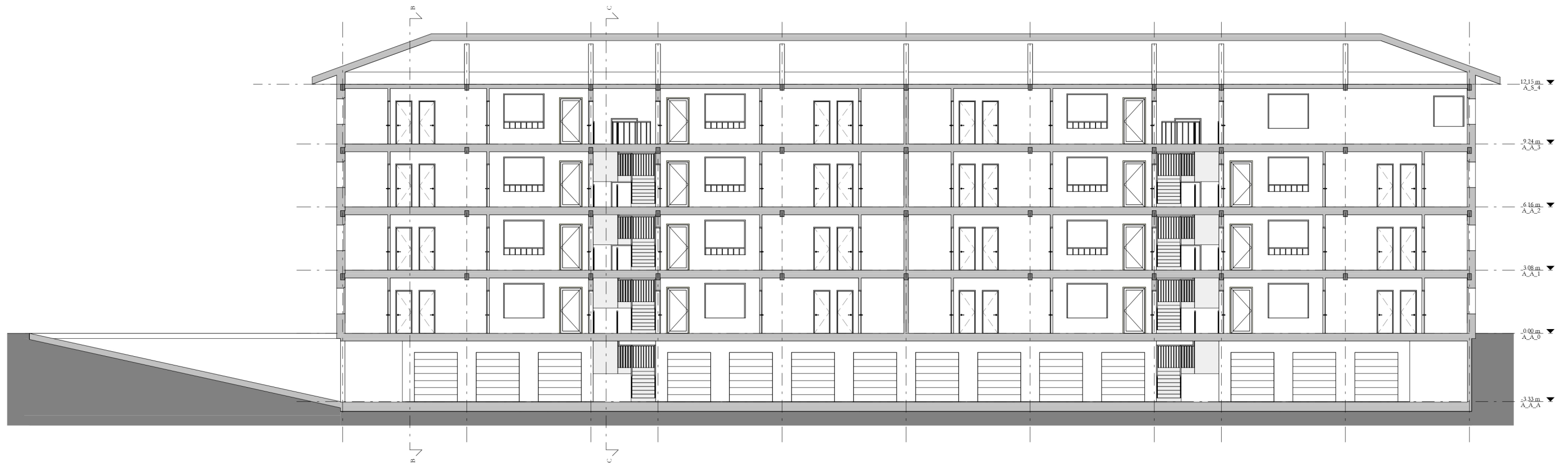


Ground floor plan  
1:200

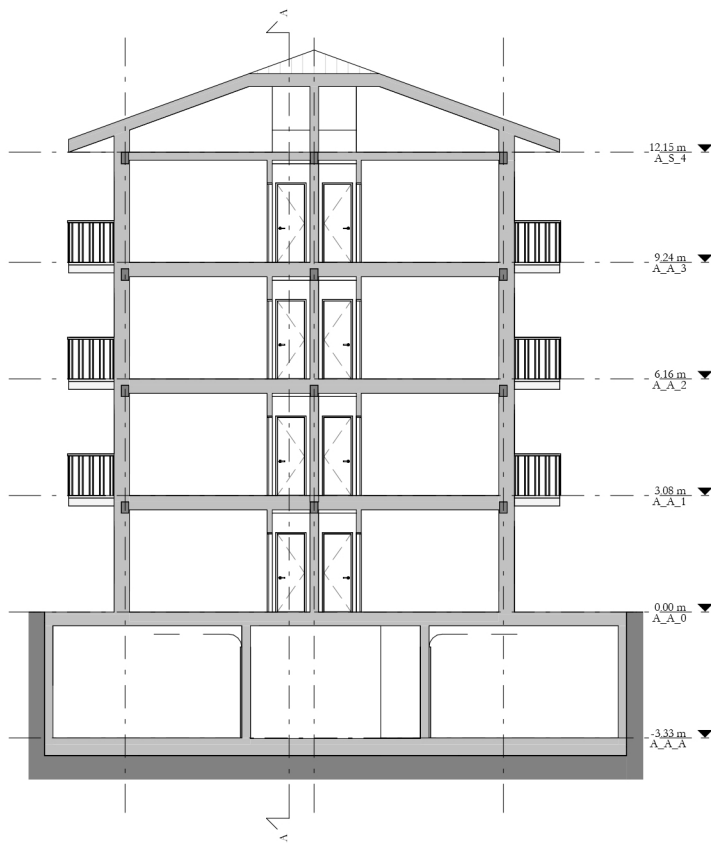




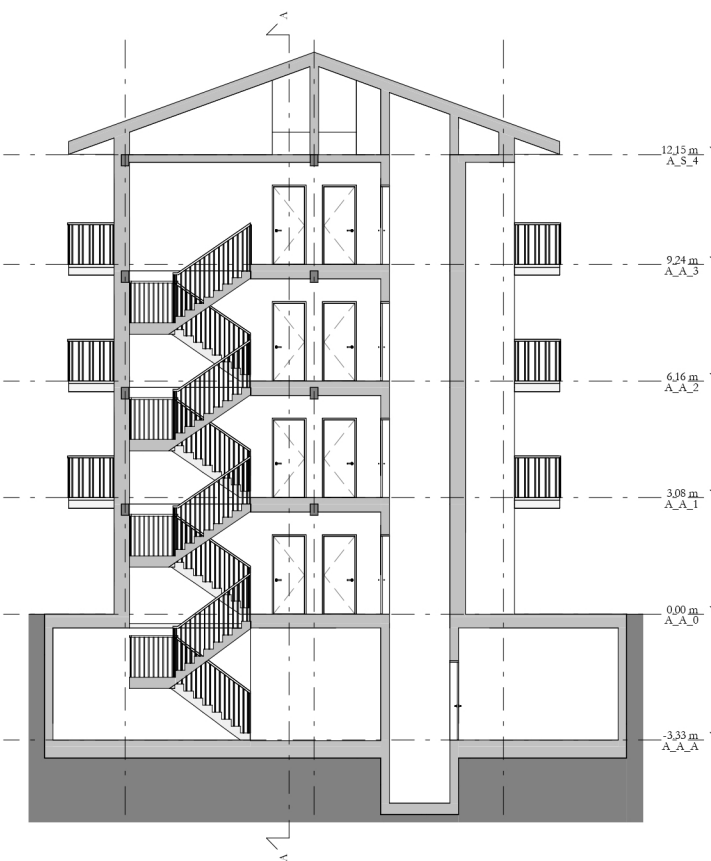
Aboveground standard floors plan  
1:200



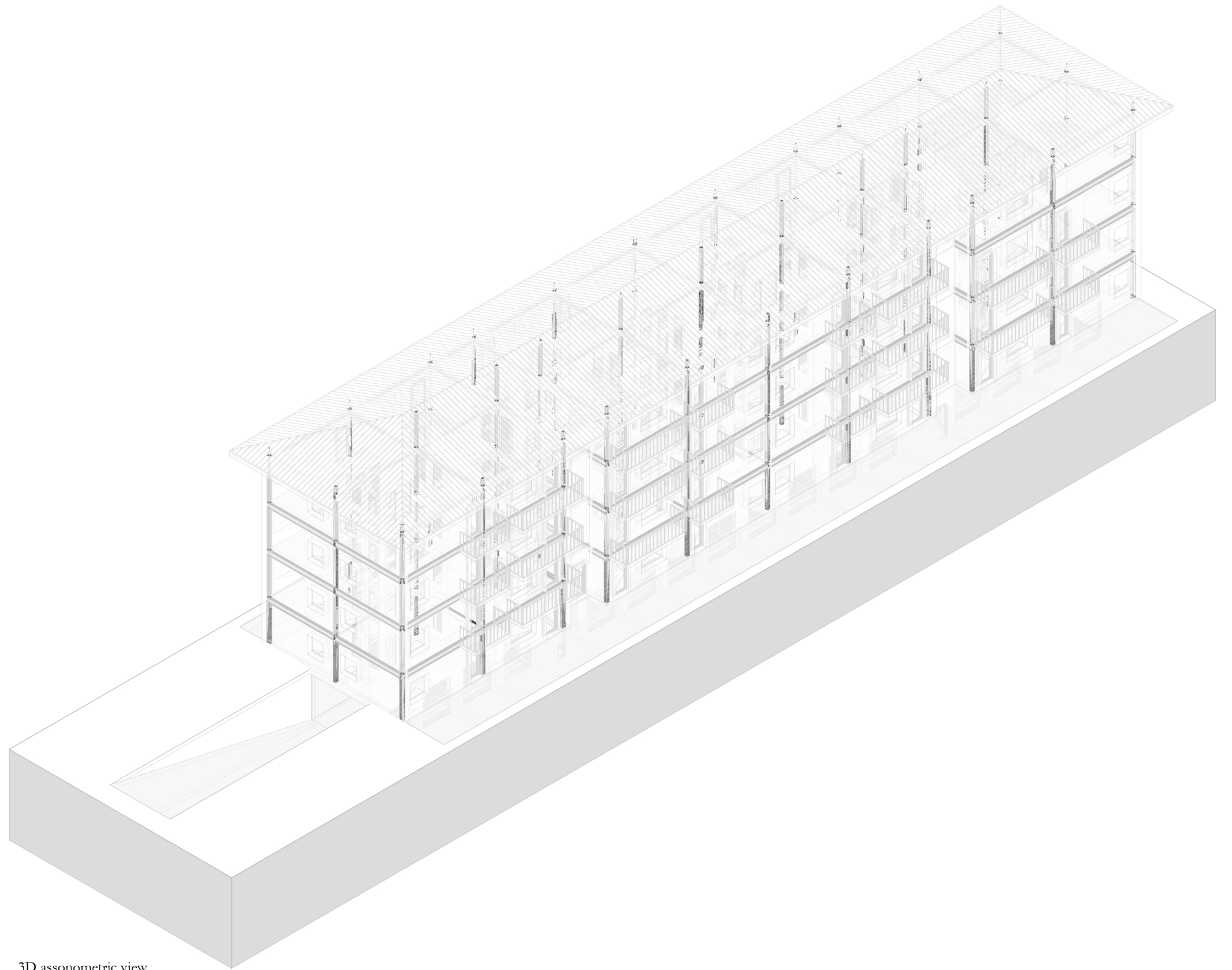
Section AA  
1:200



Section BB  
1:200



Section CC  
1:200



3D axonometric view



## **Appendice D: valori di *Material Intensity* per composizione chimica dei materiali**

In quest'appendice sono riportati i grafici torta nella torta che rappresentano i valori di *Material Intensity* a seconda della composizione chimica dei materiali. I grafici sono relativi alle tipologie abitative di bifamiliare, condominio medio, condominio orizzontale e verticale. Inoltre, vengono riportate le rappresentazioni grafiche relative alla casa singola in legno e alla bifamiliare in legno.

■ Metalli ■ Calcestruzzo ■ Mattoni ■ Malta e intonaco ■ Altri minerali ■ Organici ■ XPS ■ Fibra di legno ■ Lana di roccia ■ PVC ■ Legno

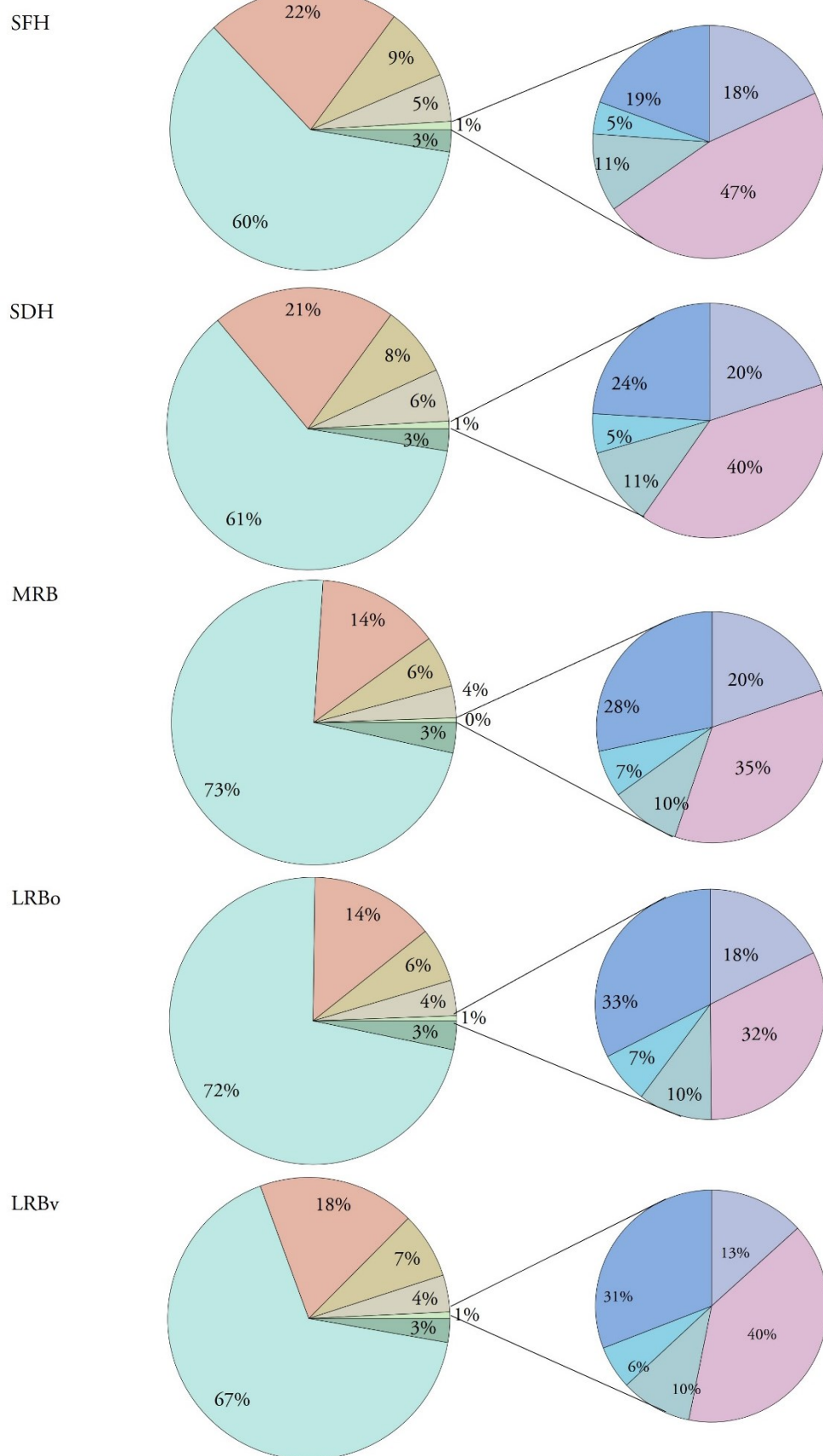
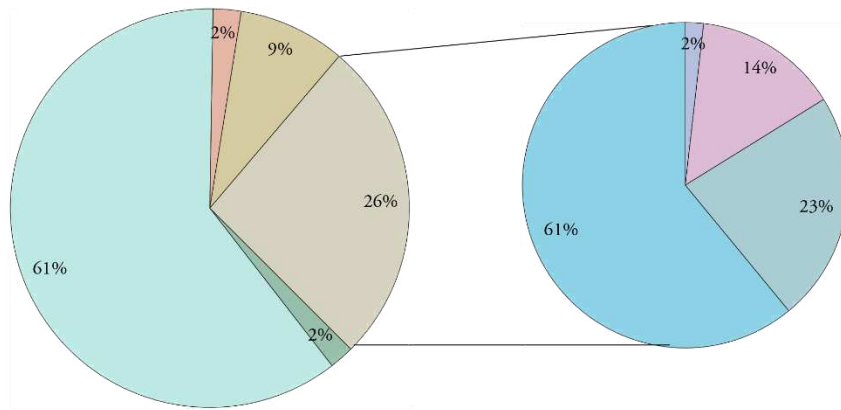


FIG. 51-Diagrammi torta nella torta per archetipi in laterocemento

■ Metalli ■ Calcestruzzo ■ Malta e intonaco ■ Altri minerali ■ Organici ■ XPS ■ Fibra di legno ■ Lana di roccia ■ Legno

SFHw



SDHw

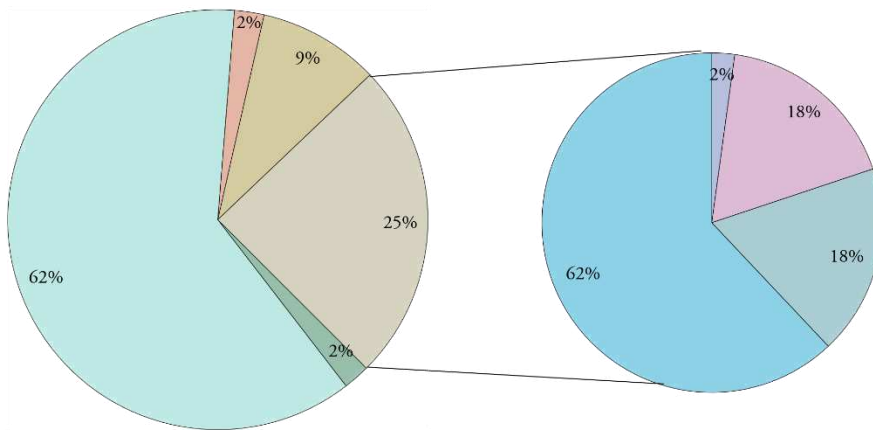


FIG. 52-Diagrammi torta nella torta per archetipi in legno



## **Appendice E: istogrammi valori di *Material Intensity* nei sistemi Uniclass**

Di seguito vengono riportati i grafici ad istogramma che raffigurano la relazione tra valori di *Material Intensity* e sistemi della classificazione Uniclass.

I grafici sono relativi alla bifamiliare, al condominio medio, al condominio verticale ed orizzontale. Oltre a questi sono riportati i grafici per la casa bifamiliare in legno.

### Semi Detaches House

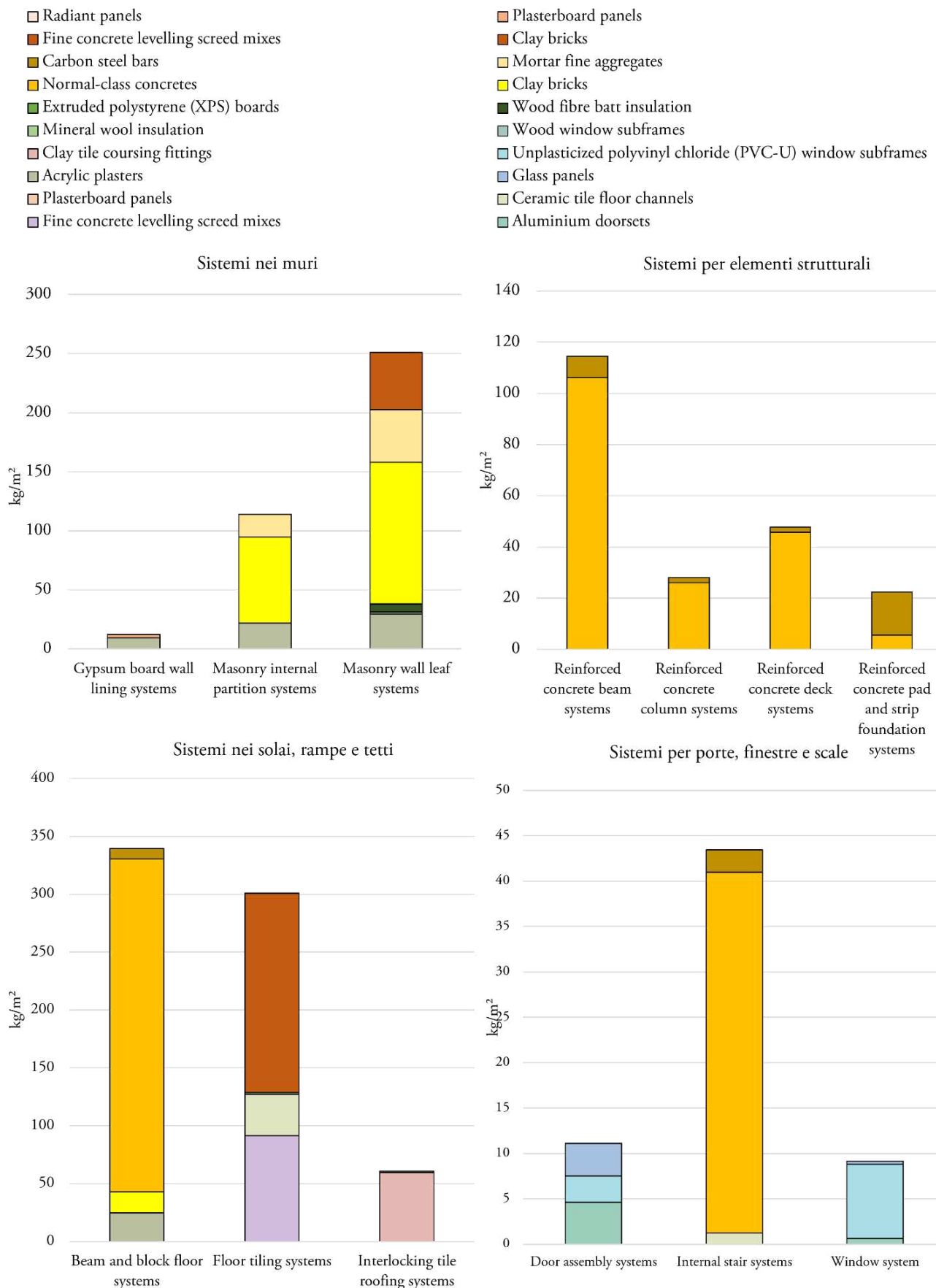


FIG. 53-Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass casa bifamiliare

### Medium Residential Building

- Radiant panels
- Fine concrete levelling screed mixes
- Carbon steel bars
- Normal-class concretes
- Extruded polystyrene (XPS) boards
- Mineral wool insulation
- Clay tile coursing fittings
- Acrylic plasters
- Plasterboard panels
- Fine concrete levelling screed mixes
- Plasterboard panels
- Clay bricks
- Mortar fine aggregates
- Clay bricks
- Wood fibre batt insulation
- Wood window subframes
- Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) window subframes
- Glass panels
- Ceramic tile floor channels
- Aluminium doorsets

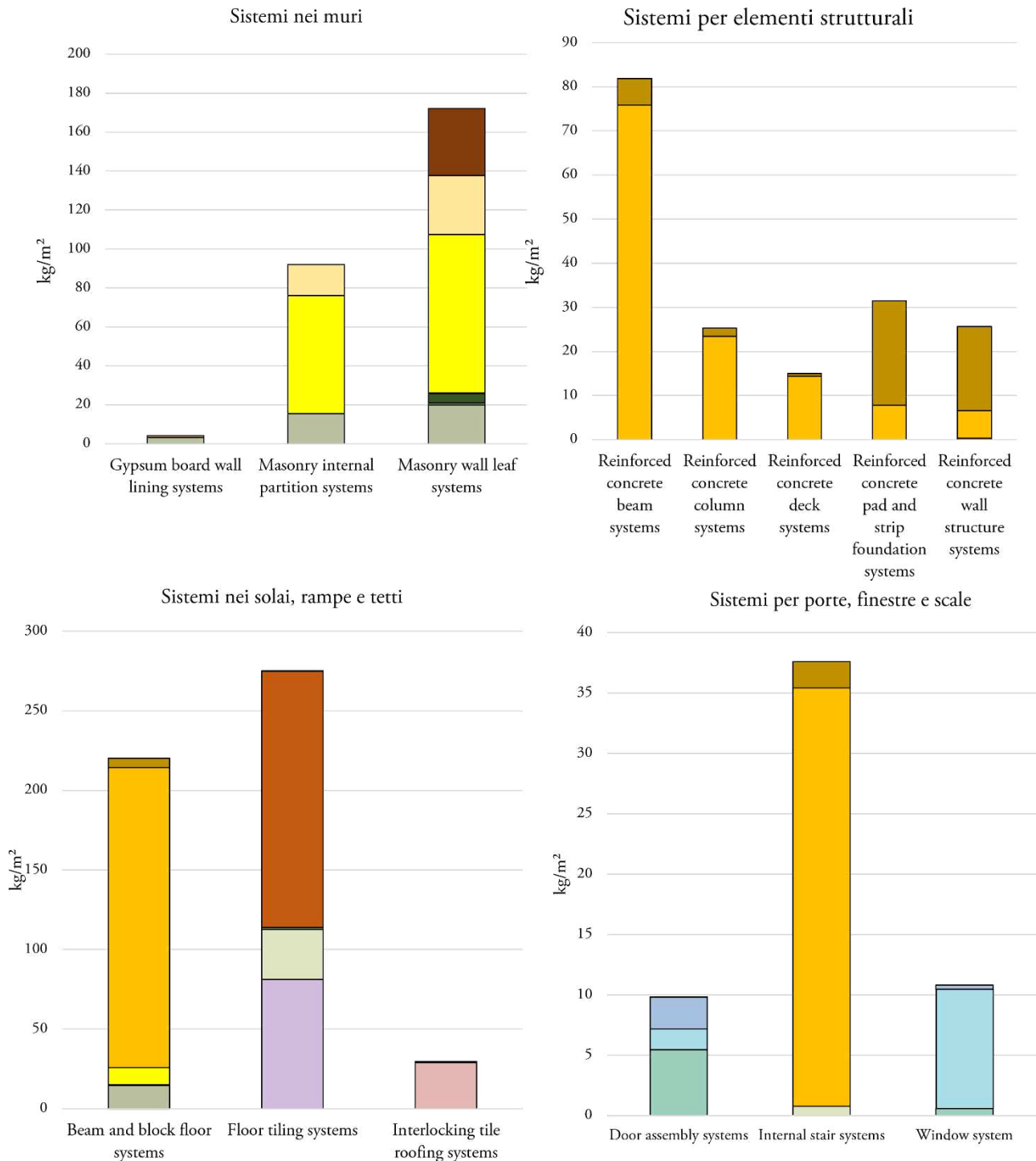


FIG. 54- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio medio

### Large Residential Building orizzontale

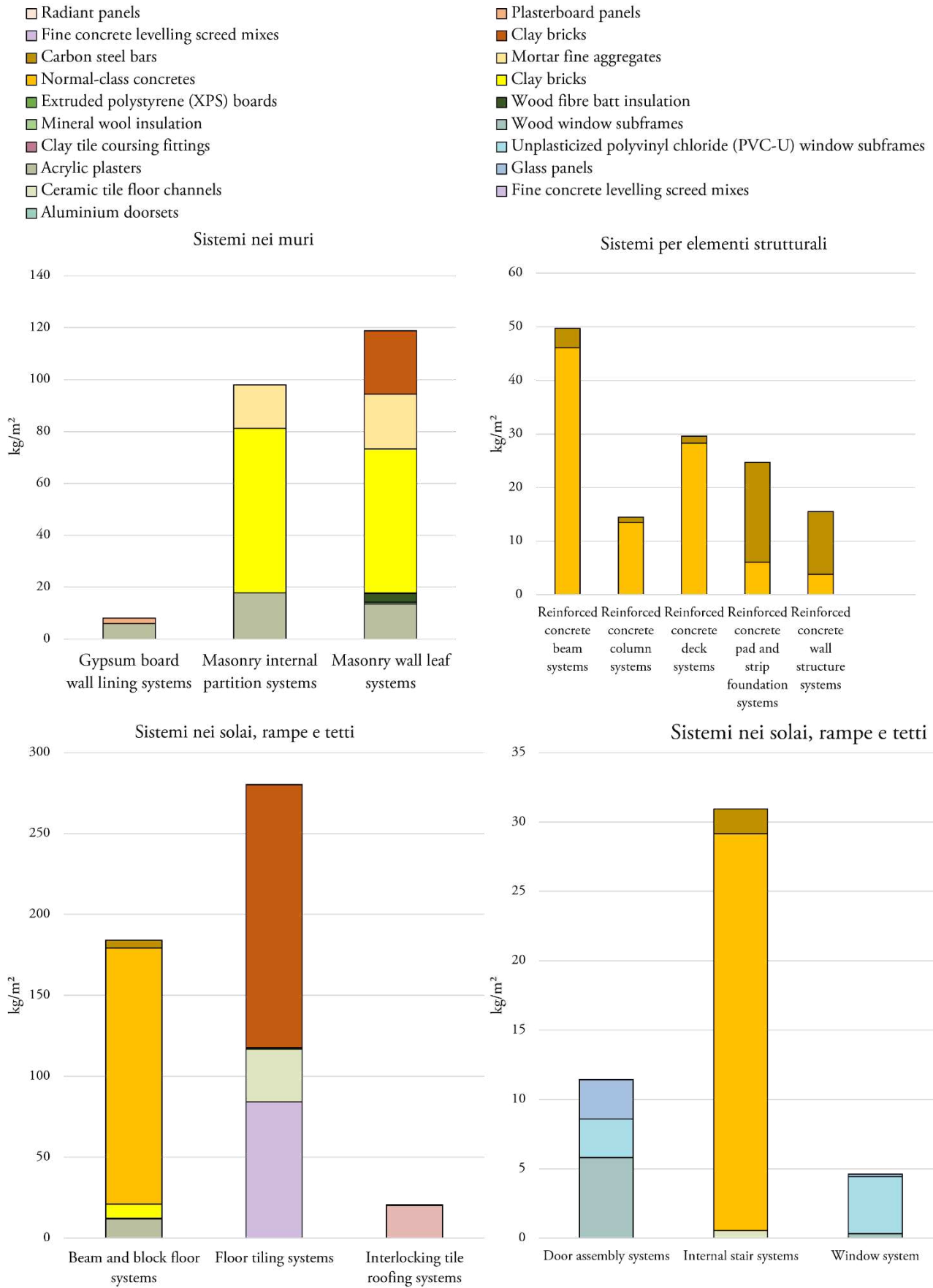


FIG. 55- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio orizzontale



### Large Residential Building vertical

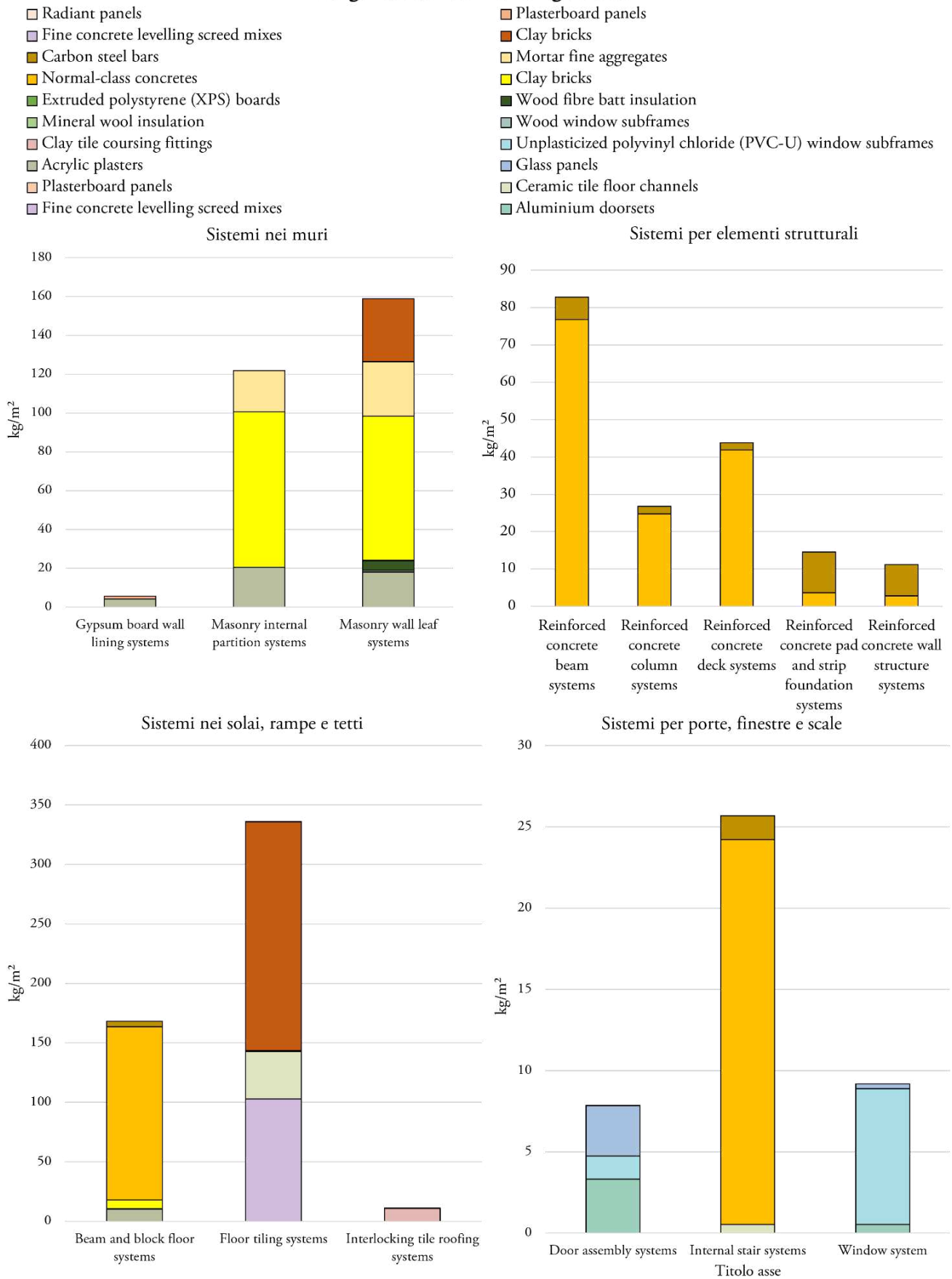


FIG. 56- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass condominio verticale

### Semi Detaches House wood

- Radiant panels
- Fine concrete levelling screed mixes
- Structural wood composites
- Normal-class concretes
- Wood fibre batt insulation
- Wood window subframes
- Unplasticized polyvinyl chloride (PVC-U) window subframes
- Glass panels
- Ceramic tile floor channels
- Aluminium doorsets
- Plasterboard panels
- Clay bricks
- Carbon steel bars
- Extruded polystyrene (XPS) boards
- Mineral wool insulation
- Clay tile coursing fittings
- Acrylic plasters
- Plasterboard panels
- Fine concrete levelling screed mixes

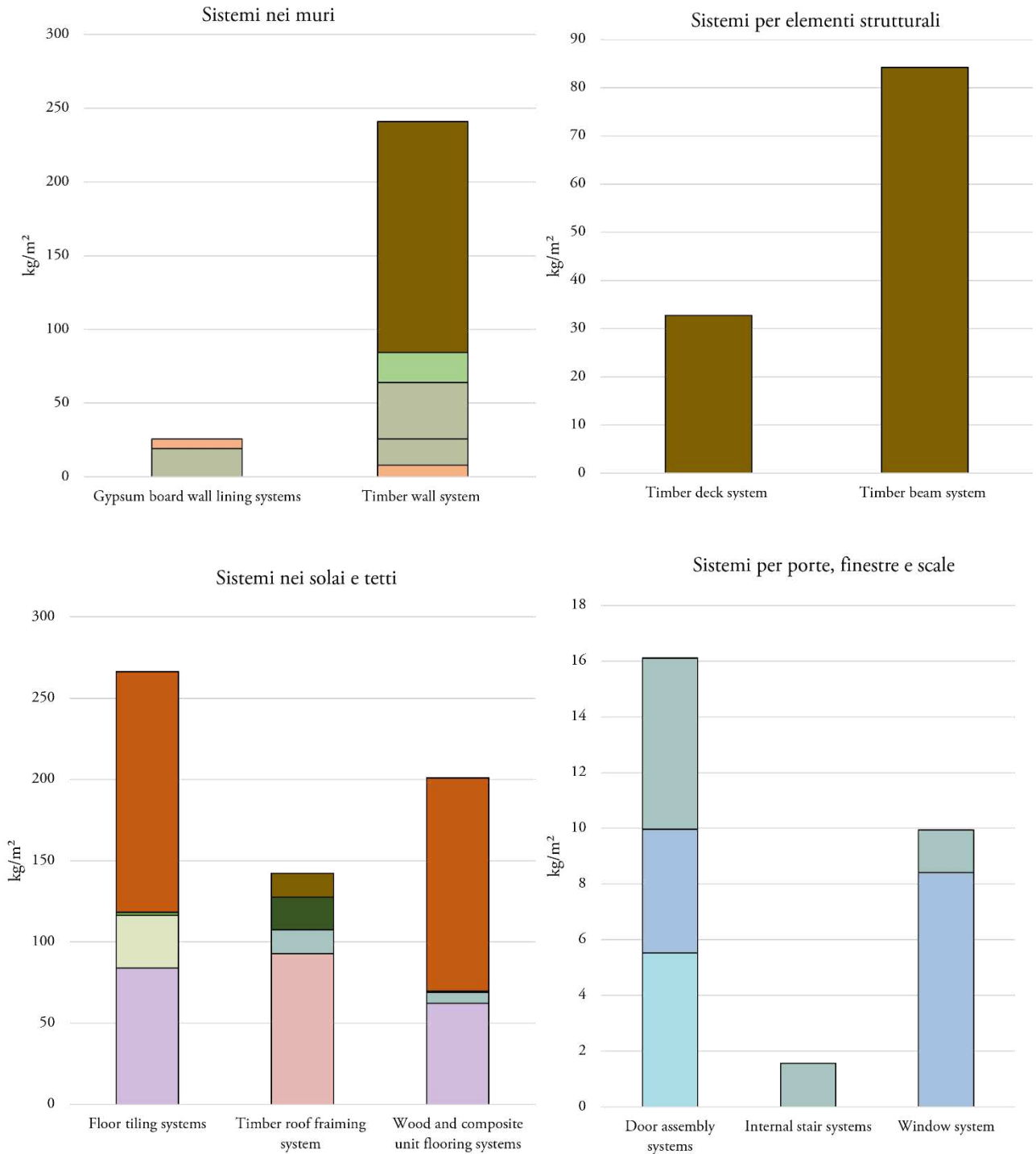


FIG. 57- Istogrammi MIs nei sistemi Uniclass casa bifamiliare in legno

## Bibliografia

- Arceo, Aldrick, Melanie Tham, Gursans Guven, Heather L. MacLean, and Shoshanna Saxe. 2021. "Capturing Variability in Material Intensity of Single-Family Dwellings: A Case Study of Toronto, Canada." *Resources, Conservation and Recycling* 175 (December). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105885>.
- Autodesk. 2022. "BIM Interoperability Tools." 2022. <https://www.youtube.com/c/BIMInteroperabilityTools>.
- Beton Wood. n.d. "Pannelli in Fibra Di Legno FiberTherm Universal Dry." Accessed October 18, 2022. Pannelli in fibra di legno FiberTherm Universal dry.
- Bianchi M. 2020. "Impiego Del Laterizio Nell'edilizia Italiana. Proposta Di Armonizzazione Delle Informazioni Di Materiale Attraverso Pratiche OpenBIM."
- British Standards Institution. 2000. *Building Materials and Products: Hygrothermal Properties: Tabulated Design Values*.
- . 2015. *BSI Standards Publication Building Construction-Organization of Information about Construction Works Part 2: Framework for Classification*.
- . 2017. *Building Components and Building Elements-Thermal Resistance and Thermal Transmittance-Calculation Methods BSI Standards Publication*.
- Cheng, Jack C.P., and Lauren Y.H. Ma. 2013. "A BIM-Based System for Demolition and Renovation Waste Estimation and Planning." *Waste Management* 33 (6): 1539–51. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>.
- Churkina, Galina, Alan Organschi, Christopher P. O. Reyer, Andrew Ruff, Kira Vinke, Zhu Liu, Barbara K. Reck, T. E. Graedel, and Hans Joachim Schellnhuber. 2020a. "Buildings as a Global Carbon Sink." *Nature Sustainability* 3 (4): 269–76. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>.
- . 2020b. "Buildings as a Global Carbon Sink." *Nature Sustainability* 3 (4): 269–76. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>.
- Consiglio dei Ministri. 1975. *Decreto Ministeriale 5 Luglio 1975*.
- . 1993. *D.P.R. 26 Agosto 1993, n. 412*.

- . 2005. *Decreto Legislativo 19 Agosto 2005, n. 192-Allegati*.
- Corrado, Vincenzo, Ilaria Ballarini, and Stefano Paolo Corgnati. 2014. *Building Typology Brochure-Italy Fascicolo Sulla Tipologia Edilizia Italiana Nuova Edizione*.
- Ekholm, Anders. 2005. “ISO 12006-2 AND IFC-PREREQUISITES FOR COORDINATION OF STANDARDS FOR CLASSIFICATION AND INTEROPERABILITY.” <http://www.itcon.org/2005/19/>.
- Enciclopedia Treccani. 2022a. “Vocabolario: Complesso Residenziale.” 2022. <https://www.treccani.it/vocabolario/residenziale/>.
- . 2022b. “Vocabolario: Condominio.” 2022. <https://www.treccani.it/vocabolario/condominio/>.
- . 2022c. “Vocabolario:Alloggio.” 2022. <https://www.treccani.it/vocabolario/ricerca/alloggio/>.
- Fabio Fantoni. 2022. “Le Zone Climatiche e Le Temperature: Quando Accendere i Termosifoni? Ecco Le Mappe Comunale Dell’Italia.” *Il Sole 24 Ore*, October. [https://www.infodata.ilsole24ore.com/2022/10/10/le-zone-climatiche-le-temperature-accendere-termosifoni-le-mappe-comunale-dellitalia/?refresh\\_ce=1](https://www.infodata.ilsole24ore.com/2022/10/10/le-zone-climatiche-le-temperature-accendere-termosifoni-le-mappe-comunale-dellitalia/?refresh_ce=1).
- Finch. 2022. “Finch Homepage.” 2022. <https://www.finch3d.com/>.
- Frate Maria Carmela. 2017a. “L’ecosostenibilità Come Matrice Del Processo Di Progettazione: Interventi Di Riqualificazione Ambientale Dell’edilizia Pubblica.” *IL PROGETTO PER LA RICERCA SULL’ARCHITETTURA, LA CITTÀ E IL PAESAGGIO*, Napoli: Università degli studi di Napoli “Federico II.”
- . 2017b. “L’ecosostenibilità Come Matrice Del Processo Di Progettazione: Interventi Di Riqualificazione Ambientale Dell’edilizia Pubblica.” *IL PROGETTO PER LA RICERCA SULL’ARCHITETTURA, LA CITTÀ E IL PAESAGGIO*, Napoli: Università degli studi di Napoli “Federico II.”
- Gelder, J. E. 2015. “The Design and Development of a Classification System for BIM.” In *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, 1:477–91. WIT Press. <https://doi.org/10.2495/bim150391>.
- Gontia, Paul, Claudio Nägeli, Leonardo Rosado, Yuliya Kalmykova, and Magnus Österbring. 2018a. “Material-Intensity Database of Residential Buildings: A Case-Study of Sweden in the

- International Context.” *Resources, Conservation and Recycling* 130 (March): 228–39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.022>.
- . 2018b. “Material-Intensity Database of Residential Buildings: A Case-Study of Sweden in the International Context.” *Resources, Conservation and Recycling* 130 (March): 228–39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.022>.
- Güven, Gursans, Aldrick Arceo, Allison Bennett, Melanie Tham, Bolaji Olanrewaju, Molly McGrail, Kaan Isin, Alexander W. Olson, and Shoshanna Saxe. 2022a. “A Construction Classification System Database for Understanding Resource Use in Building Construction.” *Scientific Data* 9 (1): 42. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01141-8>.
- . 2022b. “A Construction Classification System Database for Understanding Resource Use in Building Construction.” *Scientific Data* 9 (1): 42. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01141-8>.
- Heeren, Niko, and Tomer Fishman. 2019. “A Database Seed for a Community-Driven Material Intensity Research Platform.” *Scientific Data* 6 (1): 23. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0021-x>.
- Hertwich, Edgar G, Saleem Ali, Luca Ciacci, Tomer Fishman, Niko Heeren, Eric Masanet, Farnaz Nojavan Asghari, et al. 2019. “Material Efficiency Strategies to Reducing Greenhouse Gas Emissions Associated with Buildings, Vehicles, and Electronics—a Review.” *Environmental Research Letters* 14 (4): 043004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3>.
- Hu, Ming, Eero Nippala, Kari Kallioharju, and Sofie Pelsmakers. 2022. “Monte Carlo Simulation Approach to Understand the Cost Variance for Energy Retrofit Projects: Comparative Study of Finland and the United States.” *Construction Management and Economics* 40 (3): 207–22. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2034906>.
- ISTAT. 2020. “Dati Istat Sulle Nuove Costruzioni” 18.
- . 2022. “StatBase.” 2022. <https://www.istat.it/it/dati-analisi-e-prodotti/banche-dati/statbase>.
- Kleemann, Fritz, Jakob Lederer, Helmut Rechberger, and Johann Fellner. 2017a. “GIS-Based Analysis of Vienna’s Material Stock in Buildings.” *Journal of Industrial Ecology* 21 (2): 368–80. <https://doi.org/10.1111/jiec.12446>.
- . 2017b. “GIS-Based Analysis of Vienna’s Material Stock in Buildings.” *Journal of Industrial Ecology* 21 (2): 368–80. <https://doi.org/10.1111/jiec.12446>.
- Marinova, Sylvia, Sebastiaan Deetman, Ester van der Voet, and Vassilis Daioglou. 2020a. “Global Construction Materials Database and Stock Analysis of Residential Buildings between 1970-

- 2050.” *Journal of Cleaner Production* 247 (February): 119146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119146>.
- . 2020b. “Global Construction Materials Database and Stock Analysis of Residential Buildings between 1970-2050.” *Journal of Cleaner Production* 247 (February): 119146. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119146>.
- Mario Ridolfi. 1946. *Manuale Dell'architetto*.
- Miatto, Alessio, Claudia Sartori, Martina Bianchi, Paolo Borin, Andrea Giordano, Shoshanna Saxe, and T. E. Graedel. 2022. “Tracking the Material Cycle of Italian Bricks with the Aid of Building Information Modeling.” *Journal of Industrial Ecology* 26 (2): 609–26. <https://doi.org/10.1111/jiec.13208>.
- Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti. 2018. *Aggiornamento Delle «Norme Tecniche per Le Costruzioni»*. Vol. 20.
- NBS. 2022a. “Unified Construction Classification.” 2022. <https://uniclass.thenbs.com/>.
- . 2022b. “What Is Uniclass.” March 30, 2022. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-uniclass>.
- . 2022c. “What Is Uniclass.” March 30, 2022.
- Ortlepp, Regine, Karin Gruhler, and Georg Schiller. 2018a. “Materials in Germany’s Domestic Building Stock: Calculation Model and Uncertainties.” *Building Research & Information* 46 (2): 164–78. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1264121>.
- . 2018b. “Materials in Germany’s Domestic Building Stock: Calculation Model and Uncertainties.” *Building Research & Information* 46 (2): 164–78. <https://doi.org/10.1080/09613218.2016.1264121>.
- Pupeikis, Darius, Arunas Aleksandras Navickas, Egle Klumbyte, and Lina Seduikyte. 2022. “Comparative Study of Construction Information Classification Systems: CCI versus Uniclass 2015.” *Buildings* 12 (5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050656>.
- Rockwool. n.d. “Pannello 226.” Accessed October 18, 2022. Pannello 226.
- Sartori C. 2020. “The Evolution of the Italian Brick Industry after the 2008 Global Financial Crisis - a Material Flow Analysis.”
- Schiller, Georg, Alessio Miatto, Karin Gruhler, Regine Ortlepp, Clemens Deilmann, and Hiroki Tanikawa. 2019a. “Transferability of Material Composition Indicators for Residential

- Buildings: A Conceptual Approach Based on a German-Japanese Comparison.” *Journal of Industrial Ecology* 23 (4): 796–807. <https://doi.org/10.1111/jiec.12817>.
- . 2019b. “Transferability of Material Composition Indicators for Residential Buildings: A Conceptual Approach Based on a German-Japanese Comparison.” *Journal of Industrial Ecology* 23 (4): 796–807. <https://doi.org/10.1111/jiec.12817>.
- Sestarete.tv.it. 2022. “La Storia Del Quartiere Vallette Di Torino.” 2022. <https://sestarete.tv.it>.
- Sinopoli Nicola, and Tatano Valeria. 2016. *Sulle Tracce Dell'innovazione: Tra Tecniche e Architettura*. Milano: Serie di architettura Francoangeli. [https://books.google.com.gt/books?id=hE2JusJg6qIC&printsec=frontcover&hl=it&source=gs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=hE2JusJg6qIC&printsec=frontcover&hl=it&source=gs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Studio Petrillo. n.d. “Pesi Specifici Materiali Da Costruzione.” Accessed October 18, 2022. <https://www.studiopetrillo.com/pesi-specifici-materiali.html>.
- Tahmasebinia, F., R. Jiang, S. Sepasgozar, J. Wei, Y. Ding, and H. Ma. 2022. “Implementation of BIM Energy Analysis and Monte Carlo Simulation for Estimating Building Energy Performance Based on Regression Approach: A Case Study.” *Buildings* 12 (4). <https://doi.org/10.3390/buildings12040449>.
- Tanikawa, Hiroki, and Seiji Hashimoto. 2009. “Urban Stock over Time: Spatial Material Stock Analysis Using 4d-GIS.” *Building Research & Information* 37 (5–6): 483–502. <https://doi.org/10.1080/09613210903169394>.
- Teng, Yue, and Wei Pan. 2020a. “Estimating and Minimizing Embodied Carbon of Prefabricated High-Rise Residential Buildings Considering Parameter, Scenario and Model Uncertainties.” *Building and Environment* 180 (August): 106951. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106951>.
- . 2020b. “Estimating and Minimizing Embodied Carbon of Prefabricated High-Rise Residential Buildings Considering Parameter, Scenario and Model Uncertainties.” *Building and Environment* 180 (August): 106951. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106951>.
- TestFit Inc. 2021. “TestFit Homepage.” 2021. <https://testfit.io/>.
- . n.d. “TestFit Homepage.” Accessed October 12, 2022. <https://testfit.io/>.
- Yang, Dong, Jing Guo, Lingwen Sun, Feng Shi, Jingru Liu, and Hiroki Tanikawa. 2020a. “Urban Buildings Material Intensity in China from 1949 to 2015.” *Resources, Conservation and Recycling* 159 (August). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104824>.

- . 2020b. “Urban Buildings Material Intensity in China from 1949 to 2015.” *Resources, Conservation and Recycling* 159 (August). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104824>.