

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

Tesi di laurea

**La variabilità dell'uso dei materiali nell'edilizia residenziale  
italiana: implementazione della Monte Carlo Analysis  
attraverso modelli BIM**

Allievo: Ygor Fasanella 1177614

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. Questo dato, in relazione all'edilizia residenziale italiana dell'ultimo decennio, può rappresentare in futuro una fonte di approvvigionamento dei 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 studi a scala urbana.

Il limite della ricerca attuale sull'uso dei materiali si trova nella carenza e nell'eterogeneità di valori specifici calcolati per ogni Paese, in particolare nella realtà italiana. Inoltre, i dati ricavati in studi precedenti peccano della poca variabilità costruttiva e geometrica presa in considerazione.

In questa ricerca vengono realizzati modelli architettonici variabili dei 5 archetipi più diffusi nell'edilizia residenziale italiana. La scelta della variabilità delle caratteristiche geometriche e costruttive di ciascun modello viene eseguita secondo il Metodo Monte Carlo (Monte Carlo Analysis). L'elevato numero di modelli che si dovrebbero generare per rispondere a tutte le possibili combinazioni di variabilità rende fondamentale l'utilizzo di questo metodo: grazie alla distribuzione probabilistica nella scelta casuale delle combinazioni, infatti, si ottengono risultati affini al valor medio, rendendo lo studio attendibile e attinente alla realtà.

Lo scopo di questa trattazione è ricavare dati sull'uso dei materiali che rappresentino adeguatamente la situazione dell'edilizia residenziale in Italia nell'ultimo decennio, al fine di renderli disponibili per analisi successive, come il calcolo di *Material Intensity*. Per questo, oltre alla tradizionale tecnologia costruttiva in laterocemento, è stata trattata anche quella in legno, essendo quest'ultimo un materiale emergente in ambito di sostenibilità.

Un ulteriore fattore di aumento dell'analizzabilità dei dati è l'utilizzo del sistema di classificazione Uniclass per ogni elemento costruttivo presente nei modelli: questo garantisce una miglior comprensione dell'utilizzo dei vari materiali all'interno di ogni edificio.

La ricerca sfrutta le potenzialità della modellazione in ambiente BIM, grazie all'utilizzo dei software Revit e Dynamo. Quest'ultimo ha reso possibile l'utilizzo del Metodo Monte Carlo attraverso la creazione automatizzata di un elevato numero di modelli rispondenti alle caratteristiche geometriche e costruttive ricavate nella fase di analisi. L'esportazione di un'elevata quantità di dati ha permesso un'analisi a livello statistico accurata al fine di rispecchiare la realtà quanto più possibile.



# Sommario

<b>Abstract</b>	<b>3</b>
<b>1. Introduzione</b>	<b>15</b>
1.1 Definizione e obiettivi del progetto	15
1.1.1 Struttura della tesi	15
1.2 Materiali nell'edilizia italiana: impatto ambientale e strategie per la creazione di un database	16
1.3 Studi precedenti nella letteratura scientifica	18
1.3.1 Material Intensity	18
1.3.2 <i>Building Information Modeling</i> (BIM) e metodo Monte Carlo ( <i>Monte Carlo Analysis</i> )	19
<b>2. Caso studio: l'edilizia residenziale italiana</b>	<b>21</b>
2.1 L'edilizia residenziale pubblica italiana nell'ultimo secolo	21
2.2 Le zone climatiche in Italia	24
2.3 Definizione degli archetipi edilizi	25
<b>3. Metodologia di lavoro</b>	<b>29</b>
3.1 Il flusso di lavoro	29
3.2 Raccolta dei dati	30
3.2.1 Analisi delle volumetrie degli archetipi edilizi	30
3.2.2 Definizione delle tecnologie costruttive	35
3.3 Nomenclatura degli elementi costruttivi	38
3.3.1 Schema di nomenclatura	38
3.3.2 Classificazione Uniclass	41
3.3.3 Nomenclatura e classificazione all'interno dei modelli BIM	44
3.4 Gli archetipi costruttivi	46
3.4.1 Definizione dei modelli costruttivi	46
3.4.1.1 <i>Single Family House (SFH)</i>	47
3.4.1.2 <i>Single Family House Wood (SFHw)</i>	48
3.4.1.3 <i>Semi Detached House (SDH)</i>	49
3.4.1.4 <i>Semi Detached House Wood (SDHw)</i>	50
3.4.1.5 <i>Medium Residential Building (MRB)</i>	51
3.4.1.6 <i>Large Residential Building Vertical (LRBv)</i>	52
3.4.1.7 <i>Large Residential Building Horizontal (LRBo)</i>	54

3.4.2	La variabilità dei modelli	56
3.4.2.1	<i>Archetipi in laterocemento</i>	56
3.4.2.2	<i>Archetipi in legno</i>	59
3.4.2.3	<i>Parametri geometrici e volumetrie medie</i>	61
3.5	Implementazione della variabilità	63
3.5.1	Il <i>Building Information Modeling (BIM)</i>	63
3.5.2	Il metodo Monte Carlo	64
3.5.3	La modellazione parametrica in Revit	64
3.5.3.1	<i>I parametri</i>	64
3.5.3.2	<i>I vincoli</i>	67
3.5.4	La modifica dei modelli con Dynamo	70
3.5.4.1	<i>Gli script Dynamo</i>	70
3.5.4.2	<i>Importazione dei dati</i>	72
3.5.4.3	<i>Modifica del modello</i>	74
3.5.4.4	<i>Esportazione dei dati e salvataggio</i>	75
3.5.5	L'elaborazione dei dati in Excel	79
3.5.6	La creazione dei modelli federati	81
<b>4.</b>	<b>Risultati</b>	<b>83</b>
4.1	I dataset	83
4.2	Volumetrie degli archetipi	85
4.3	Calcestruzzo, laterizio e legno	88
<b>5.</b>	<b>Discussione</b>	<b>93</b>
5.1	Archetipi in laterocemento	93
5.2	Confronto tra le volumetrie degli archetipi in laterocemento e in legno	94
5.3	La distribuzione dei materiali da costruzione negli archetipi	96
5.4	Il BIM	97
5.5	La reale rappresentatività dei dati	98
5.6	Sviluppi futuri	99
<b>6.</b>	<b>Conclusione</b>	<b>101</b>
<b>7.</b>	<b>Appendice A: analisi delle volumetrie di riferimento degli archetipi</b>	<b>103</b>
<b>8.</b>	<b>Appendice B: abachi degli elementi costruttivi</b>	<b>107</b>
8.1	Abaco dei materiali	107
8.2	Abaco degli elementi strutturali	111
8.3	Abaco delle pareti verticali	112
8.4	Abaco degli orizzontamenti	120

8.5	Abaco delle coperture	124
8.6	Abaco delle finestre	126
8.7	Abaco delle porte	129
<b>9.</b>	<b>Appendice C: tavole architettoniche degli archetipi costruttivi</b>	<b>133</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>157</b>





## Indice delle figure

FIG. 1 - Concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera negli anni in relazione allo sviluppo industriale (Churkina et al. 2020).....	16
FIG. 2 - Emissioni e assorbimento di anidride carbonica di 1 tonnellata di cemento, acciaio e legno (Churkina et al. 2020).....	17
FIG. 3 - Regressione lineare dei dati basati sulla tecnologia costruttiva del tetto (Tahmasebinia et al. 2022) .....	19
FIG. 4 - Sensibilità del carbonio incorporato negli edifici in diversi scenari e combinazioni (Teng e Pan 2020) .	20
FIG. 5 - Basso livello di dettaglio di un modello Testfit (TestFit Inc. 2021).....	20
FIG. 6 - Casa a schiera ad un piano (Ina Casa 1953).....	22
FIG. 7 - Esempi di strutture in cemento armato, estratto del Manuale dell'architetto (Mario Ridolfi 1946).....	23
FIG. 8 - Torino, quartiere Vallette, 1966 (Sestarete.tv.it 2022).....	23
FIG. 9 - Gradi giorno e zone climatiche in Italia (Fabio Fantoni 2022).....	25
FIG. 10 - "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana, per l'area climatica media, con illustrazione degli edifici tipo (Corrado, Ballarini, e Corgnati 2014).....	26
FIG. 11 - Schema flusso di lavoro.....	29
FIG. 12 - Stratigrafie minime (Corrado, Ballarini, e Corgnati 2014).....	35
FIG. 13 - Diagramma UML per la nomenclatura degli elementi costruttivi.....	39
FIG. 14 - Concetto di classificazione e relazione tra i membri (British Standards Institution 2015) .....	41
FIG. 15 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFH.....	47
FIG. 16 - SFH: piante piano terra e piano primo.....	47
FIG. 17 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFHw.....	48
FIG. 18 - SFHw: piante piano terra e piano primo.....	48
FIG. 19 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDH.....	49
FIG. 20 - SDH: piante piano terra e piano primo.....	49
FIG. 21 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDHw.....	50
FIG. 22 - SDHw: piante piano terra e piano primo.....	50
FIG. 23 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria MRB .....	51
FIG. 24 - MRB: pianta piano tipo.....	51
FIG. 25 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBv.....	52
FIG. 26 - LRBv: pianta piano tipo.....	53
FIG. 27 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBo.....	54
FIG. 28 - LRBo: pianta piano tipo, metà Ovest.....	55
FIG. 29 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in laterocemento.....	56
FIG. 30 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in legno.....	59
FIG. 31 - L'ontologia BIM, modello di conoscenza visiva (BIMe Initiative 2022b).....	63
FIG. 32 - Gerarchia delle proprietà degli elementi in Revit.....	65
FIG. 33 - Revit: proprietà di famiglia, tipo e istanza di un muro in Revit.....	65

FIG. 34 - Revit: parametri globali.....	66
FIG. 35 - Revit: parametri di progetto.....	67
FIG. 36 - Revit: vincoli.....	68
FIG. 37 - Revit: esempio di vincoli associati ad una istanza di scala.....	69
FIG. 38 - Dynamo: interfaccia utente del software.....	70
FIG. 39 - Diagramma UML delle operazioni in Dynamo.....	71
FIG. 40 - Dynamo: nodo <i>LoopWhile</i> .....	72
FIG. 41 - Excel: file Variabilità, scheda SFH_Tipologie.....	73
FIG. 42 - Excel: file Variabilità, scheda SFH_Variabilità.....	73
FIG. 43 - Dynamo: importazione dei dati.....	74
FIG. 44 - Dynamo: nodo Passthrough.....	74
FIG. 45 - Dynamo: modifica del parametro geometrico <i>AltezzaInterpiano</i> .....	75
FIG. 46 - Revit: abaco <i>07_Room Schedule</i> .....	76
FIG. 47 - Revit: abaco <i>Material Takeoff</i> .....	76
FIG. 48 - Revit: abaco <i>Material TakeoffSTR.BRC</i> .....	77
FIG. 49 - Revit: abaco <i>Material TakeoffSTR.CNC</i> .....	77
FIG. 50 - Revit: estratto dell'abaco <i>Material Takeoff Systems</i> .....	77
FIG. 51 - Dynamo: nodo <i>Schedule.GetData</i> .....	78
FIG. 52 - Dynamo: nodo <i>Data.ExportToExcel</i> .....	78
FIG. 53 - Dynamo: nodo <i>Document.SaveAs</i> .....	78
FIG. 54 - Dettaglio costruttivo solaio in laterocemento.....	80
FIG. 55 - Federato modelli <i>Single Family House</i> .....	82
FIG. 56 - Ingrandimento federato modelli <i>Single Family House</i> .....	82
FIG. 57 - Database <i>SFH - Computo edifici</i> .....	83
FIG. 58 - Database <i>SFH - Computo locali</i> .....	84
FIG. 59 - Database <i>SFH - Computo materiali</i> .....	84
FIG. 60 - Database <i>SFH - Computo materialiXsistemi</i> .....	84
FIG. 61 - Diagramma a baffi della superficie utile media dei mille modelli per ogni archetipo.....	86
FIG. 62 - Diagramma a baffi del volume utile medio dei mille modelli per ogni archetipo.....	86
FIG. 63 - Diagramma a baffi del volume lordo medio dei mille modelli per ogni archetipo.....	86
FIG. 64 - Diagramma a barre di confronto tra le superfici utili ricavate dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo.....	87
FIG. 65 - Diagramma a barre di confronto tra i volumi utili ricavati dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo.....	87
FIG. 66 - Diagramma a barre di confronto tra i volumi lordi ricavati dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo.....	87
FIG. 67 - Grafico a dispersione del volume del calcestruzzo di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente.....	88
FIG. 68 - Grafico a dispersione del volume del laterizio di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente.....	89

FIG. 69 - Grafico a dispersione del volume del legno di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente.....	89
FIG. 70 - Grafico a dispersione delle volumetrie di calcestruzzo e laterizio nei modelli di SFH e legno nei modelli di SFHw rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente.....	90
FIG. 71 - Grafico a dispersione delle volumetrie di calcestruzzo e laterizio nei modelli di SDH e legno nei modelli di SDHw rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente.....	91
FIG. 72 - Confronto superficie utile tra archetipi in legno e in laterocemento.....	94
FIG. 73 - Confronto volume utile tra archetipi in legno e in laterocemento.....	95
FIG. 74 - Confronto volume lordo tra archetipi in legno e in laterocemento.....	95



## Indice delle tabelle

Tabella 1 - Numero di fabbricati residenziali totale annuo e volume v/p totale annuo (ISTAT 2020).....	30
Tabella 2 - Numero di abitazioni totale annuo (ISTAT 2020).....	30
Tabella 3 - Superficie utile abitabile totale annua (ISTAT 2022).....	31
Tabella 4 - Numero di fabbricati residenziali nuovi per numero di abitazioni e relativo volume v/p (ISTAT 2020) .....	31
Tabella 5 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2014 al 2018 .....	34
Tabella 6 - Numero di abitazioni e superficie utile totale annui, annata dal 2019 al 2021 (ISTAT 2022).....	34
Tabella 7 - Valori medi delle volumetrie delle singole abitazioni per categoria, annate dal 2019 al 2021 .....	35
Tabella 8 - Valori minimi della trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali espressa in $W/m^2K$ . Appendice A (Consiglio dei Ministri 2005) .....	36
Tabella 9 - Valori convenzionali di resistenza superficiale (British Standards Institution 2017).....	37
Tabella 10 - Definizione degli spessori stratigrafici delle murature in relazione all'isolante utilizzato .....	38
Tabella 11 – Esempi di nomenclatura degli elementi costruttivi.....	40
Tabella 12 - Esempio di classificazione Uniclass di un elemento di un hotel (NBS 2022).....	43
Tabella 13 – Esempio di classificazione Uniclass di un muro esterno.....	43
Tabella 14- Esempio di classificazione Uniclass dei materiali di un muro esterno.....	44
Tabella 15 - Abaco dei sistemi per edifici in laterocemento.....	45
Tabella 16 - Abaco dei sistemi per edifici in legno.....	45
Tabella 17 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature esterne.....	57
Tabella 18 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di murature interne.....	57
Tabella 19 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici di interpiano.....	58
Tabella 20 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di pavimenti architettonici contro terra.....	58
Tabella 21 - Variabilità tecnologica archetipi in laterocemento: tipi di finestre.....	58
Tabella 22 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali strutturali esterne.....	60
Tabella 23 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pareti verticali interne .....	60
Tabella 24 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici di interpiano.....	60
Tabella 25 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di pavimenti architettonici contro terra.....	60
Tabella 26 - Variabilità tecnologica archetipi in legno: tipi di finestre.....	61
Tabella 27 - Range di variazione dei parametri geometrici degli archetipi edilizi divisi per categoria.....	61
Tabella 28 - Confronto tra le volumetrie ricavate dalle analisi e quelle ricavate dal modello medio di partenza di ogni archetipo.....	62
Tabella 29 – Lista degli abachi presenti nei modelli .....	76
Tabella 30 - Associazione abachi in Revit e fogli in Excel.....	78
Tabella 31 - Caratteristiche blocchi forati in laterizio e malta.....	79
Tabella 32 - Percentuali acciaio di armatura e malta negli elementi costruttivi.....	81
Tabella 33 - Verifica del metodo Monte Carlo sui valori medi attesi.....	85

Tabella 34 - Confronto tra le volumetrie medie degli archetipi in legno con le corrispondenti in laterocemento	94
Tabella 35 - Confronto tra il numero totale di fabbricati costruiti tra i 2014 e il 2018 (ISTAT 2020) e il numero di modelli realizzati.....	99
Tabella 36 - Abaco dei materiali (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2018).....	107
Tabella 37 - Abaco degli elementi strutturali in calcestruzzo.....	111
Tabella 38 - Abaco degli elementi strutturali in legno.....	111
Tabella 39 - Abaco delle murature.....	112
Tabella 40 - Abaco delle pareti in legno.....	117
Tabella 41 - Abaco degli orizzontamenti in laterocemento.....	120
Tabella 42 - Abaco degli orizzontamenti in legno.....	122
Tabella 43 - Abaco delle coperture in laterocemento.....	124
Tabella 44 - Abaco delle coperture in legno.....	125
Tabella 45 - Abaco delle finestre.....	126
Tabella 46 - Abaco delle porte.....	129

# 1. 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 la collega Marta Mainardi. 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, prosegue con la descrizione tecnica delle tipologie abitative e spiega il metodo e la strategia utilizzati in questo progetto per la realizzazione del database.

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

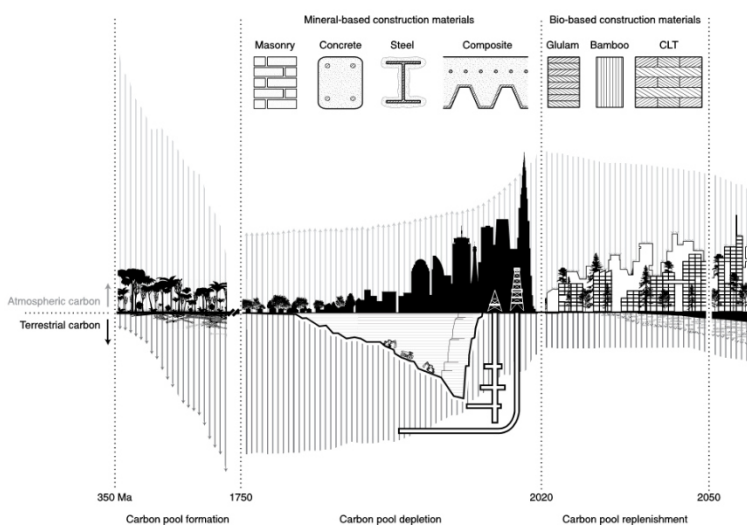
La conclusione chiude la ricerca.

L'appendice contiene dati aggiuntivi sulle analisi effettuate, gli abachi degli elementi costruttivi e le planimetrie dei modelli realizzati 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. 2020). 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. 2020), 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.



Il primo pannello rappresenta il periodo carbonifero, determinato dalla presenza al suolo di molte piante di grandi dimensioni capaci di trasferire in maniere 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

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



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.

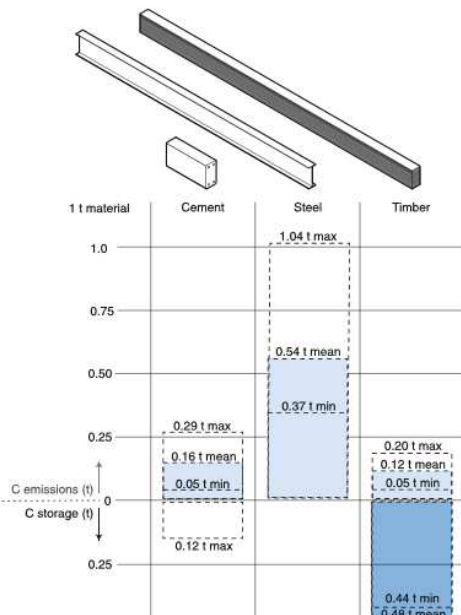


FIG. 2 - Emissioni e assorbimento di anidride carbonica di 1 tonnellata di cemento, acciaio e legno (Churkina et al. 2020)

Questo studio, inoltre, mette a confronto le capacità di assorbire 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. 2020).

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. 2020).

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 e 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 e 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. 2020). 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 e 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, e Schiller 2018). 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. 2017).

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. 2019). Nello studio del database svedese (Gontia et al. 2018) 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 (Yang et al. 2020) 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.

---

<sup>1</sup> Si utilizza il termine inglese per facilità di comprensione rispetto agli studi in letteratura

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. 2022). 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 BIM 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

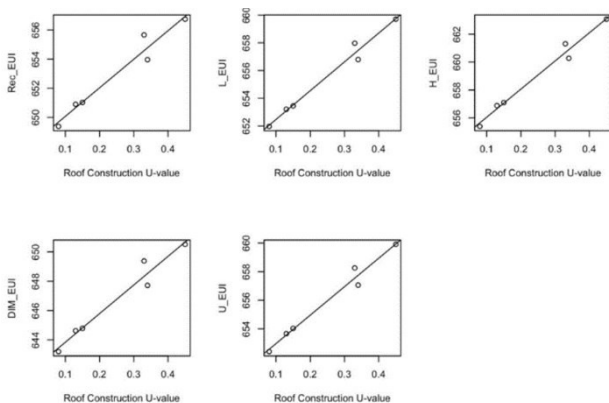


FIG. 3 - Regressione lineare dei dati basati sulla tecnologia costruttiva del tetto (Tahmasebinia et al. 2022)

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).

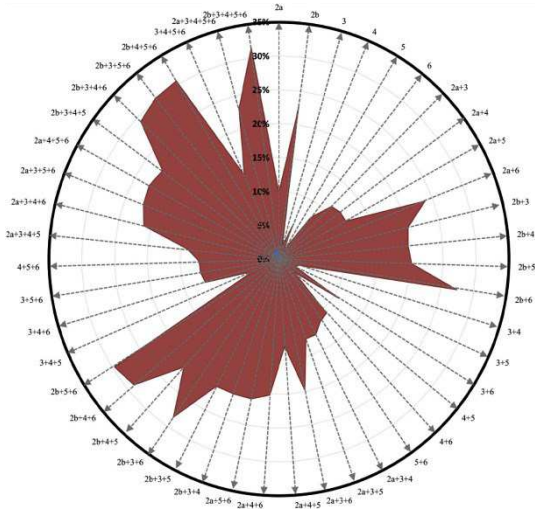


FIG. 4 - Sensibilità del carbonio incorporato negli edifici in diversi scenari e combinazioni (Teng e Pan 2020)

Un'ulteriore considerazione deve essere fatta sui software che utilizzano algoritmi di intelligenza artificiale come Testfit (TestFit Inc. 2021) o Spacemaker (Autodesk 2022b). Questi permettono la creazione di un modello di edifici a livello urbanistico, 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 generare

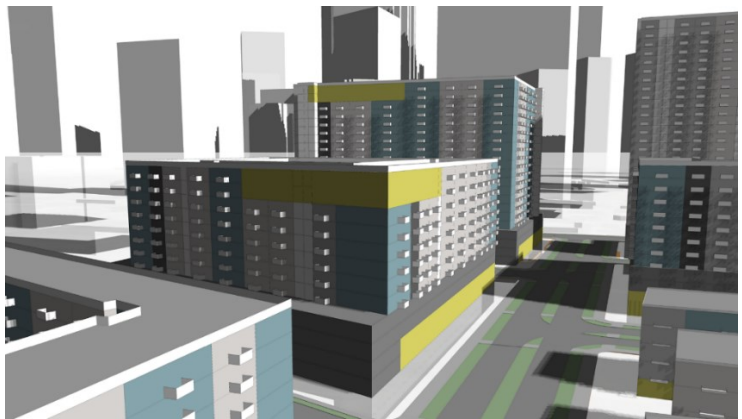


FIG. 5 - Basso livello di dettaglio di un modello Testfit (TestFit Inc. 2021)

un'anteprima dell'organizzazione planimetrica di un intero quartiere analizzando tutte le possibili configurazioni secondo le proprie esigenze al fine di utilizzarla come spunto di partenza del progetto vero e proprio. 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.

## 2. Caso studio: l'edilizia residenziale italiana

Nel seguente capitolo vengono definiti gli ambiti della ricerca. Lo studio si focalizza sull'ambito residenziale italiano: vengono considerati i metodi costruttivi tipici della zona climatica media con lo scopo di definire degli archetipi costruttivi attinenti alla 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 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 tradizione architettonica dello scorso secolo. 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 l' *“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 (Frate 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 e 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 muri, tramezze, logge e balconi) rispettivamente per abitazioni con 1, 2, 3, 4, o 5 vani utili i cui

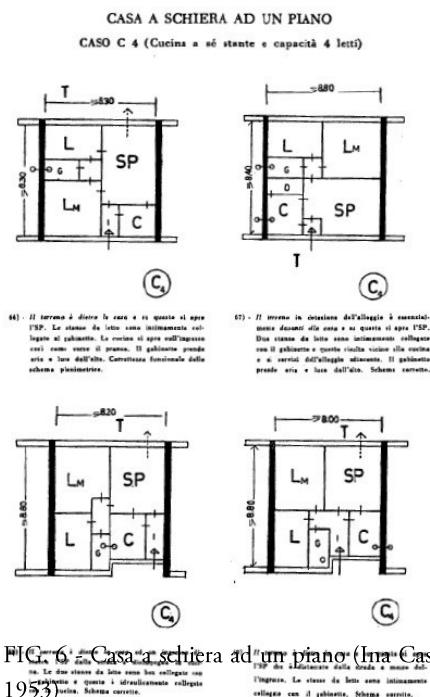


FIG. 6 - Casa a schiera ad un piano (Ina Casa 1953)

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 (FIG. 7) 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

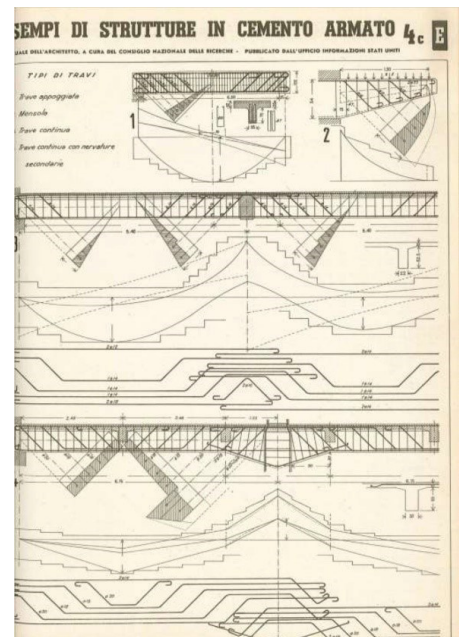


FIG. 7 - Esempi di strutture in cemento armato, estratto del Manuale dell'architetto (Mario Ridolfi 1946)



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, e 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






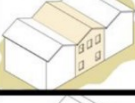







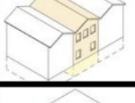


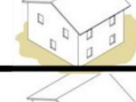
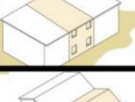


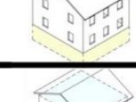
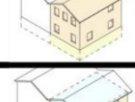


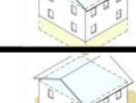
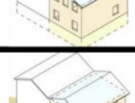





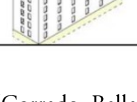
<i>Area climatica media</i>		CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
<b>CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE</b>	<b>1</b> Fino al 1900				
	<b>2</b> 1901-1920				
	<b>3</b> 1921-1945				
	<b>4</b> 1946-1960				
	<b>5</b> 1961-1975				
	<b>6</b> 1976-1990				
	<b>7</b>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

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



### 3. Metodologia di lavoro

La ricerca è finalizzata a produrre un dataset estimativo delle volumetrie dei materiali presenti negli edifici dell'edilizia residenziale italiana, attraverso l'ausilio del BIM, 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>.

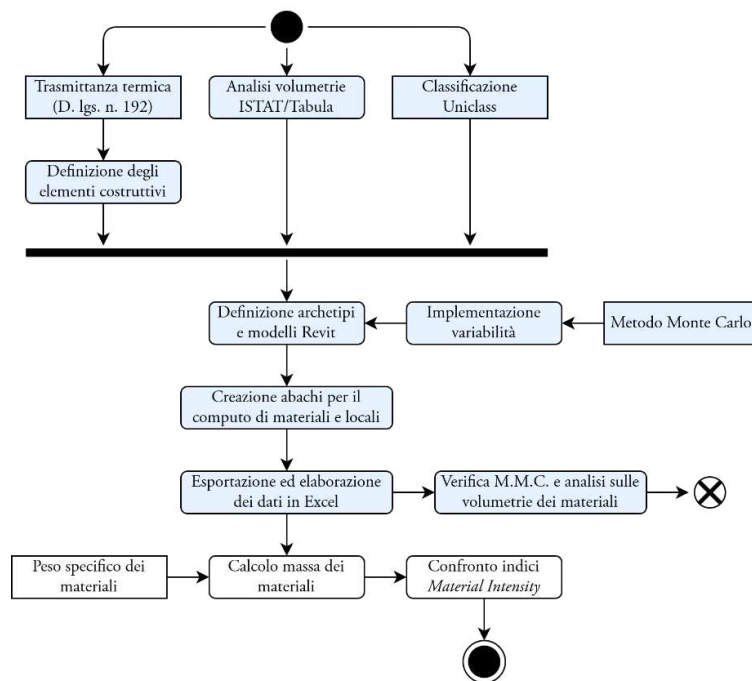


FIG. 11 - Schema flusso di lavoro

<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 la collega Marta Mainardi. Per la completa comprensione del lavoro, in particolare per quanto riguarda le ultime fasi del metodo, si rimanda all'elaborato di tesi della 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 quella sulle 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 riferito 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;

---

<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; vedi FIG. 54) e 10 cm di strato architettonico (massetto impiantistico, massetto di allettamento e pavimentazione).



- *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 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 categoria 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. 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.

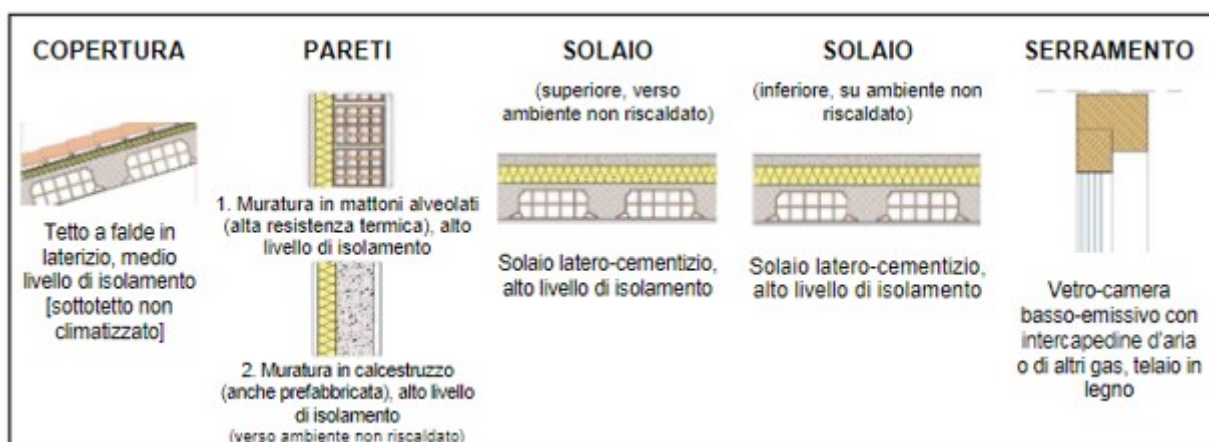


FIG. 12 - Stratigrafie minime (Corrado, Ballarini, e Corgnati 2014)

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.

$$U = \frac{1}{R_{TOT}} \quad 1.1$$

Dove:

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

$R_{TOT}$  è la resistenza termica totale [ $m^2K/W$ ] (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.

$$R_{TOT} = R_{Si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{Se} \quad 1.2$$

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 [ $m^2K/W$ ]

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad 1.3$$

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)

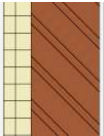
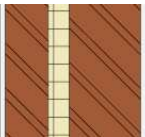
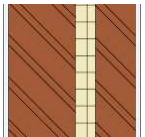
Direzione del flusso di calore orizzontale	Resistenza superficiale [ $m^2K/W$ ]
$R_{Si}$	0,13
$R_{Se}$	0,04

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
	rifodera	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
	rifodera	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 capito si spiega come è stato realizzato la 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.

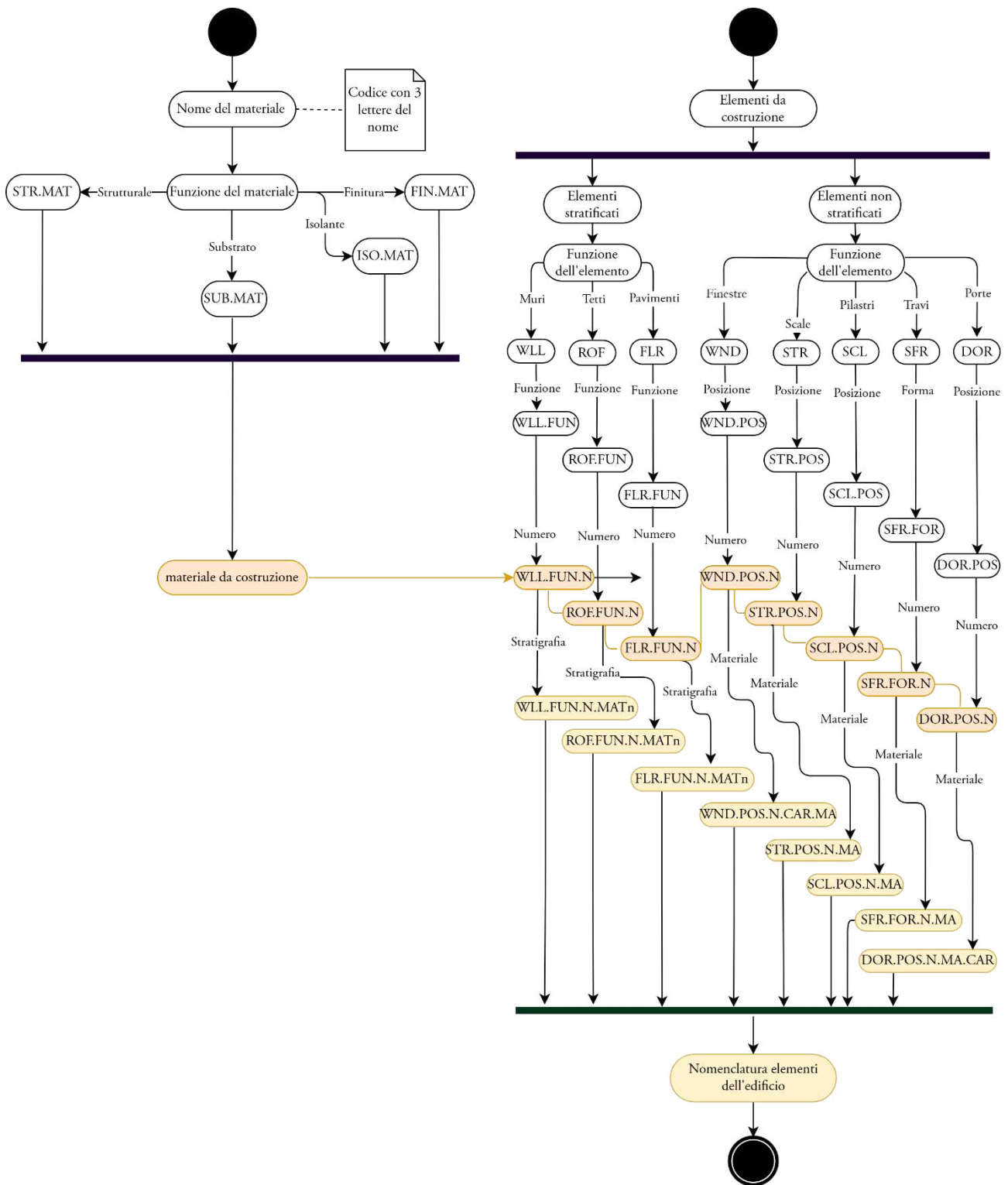


FIG. 13 - Diagramma UML per la nomenclatura degli elementi costruttivi

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 nomenclatura e classificazione Uniclass associate, di tutti gli elementi costruttivi si rimanda agli abachi presenti in “Appendice B: abachi degli elementi costruttivi”.

Il calcolo della *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 2022a). Per l'isolante in lana di roccia si fa riferimento alle caratteristiche dichiarate da un produttore in particolare (Rockwool 2022), così come per i pannelli in fibra di legno (Beton Wood 2022). 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 della metodologia 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.

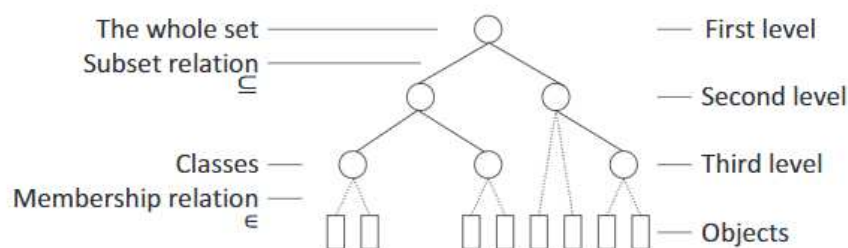


FIG. 14 - Concetto di classificazione e relazione tra i membri (British Standards Institution 2015)

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 (CO)* per la definizione dell'edificio nel suo insieme;
- *Spaces/locations (SL)* per la catalogazione dei locali presenti in ogni edificio;
- *Elements/functions (SL)* 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 prendendo a riferimento 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/location* sono destinate a diverse *activities* (divertimento o incontri lavorativi). L'edificio dell'hotel è formato 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 13 è riportata l'esemplificazione della classificazione Uniclass del muro esterno tipo 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	
<i>EF.Number</i>	EF_25_10_25	
<i>EF.Description</i>	External walls	Muro esterno
<i>Ss.Number</i>	Ss_25_13_50_51	
<i>Ss.Description</i>	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 e/o prodotti, anch'essi prima nominati 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 8.3 in appendice B).

La classificazione dei materiali può essere 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).

### 3.3.3 Nomenclatura e classificazione all'interno dei modelli 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 2022a). I dettagli sui parametri di Revit usati per l'implementazione della classificazione verranno illustrati al capitolo 3.5.3.1.

Di seguito viene riportato un elenco dei 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 anche 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 mille 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.

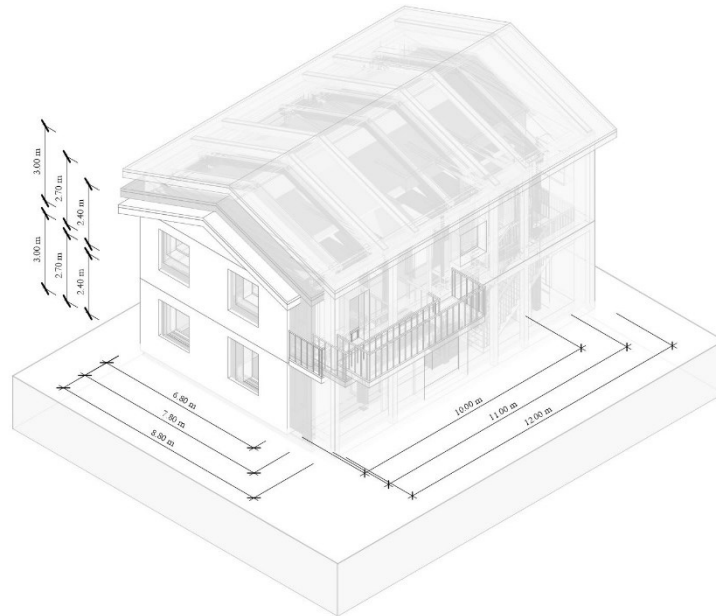


FIG. 15 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFH

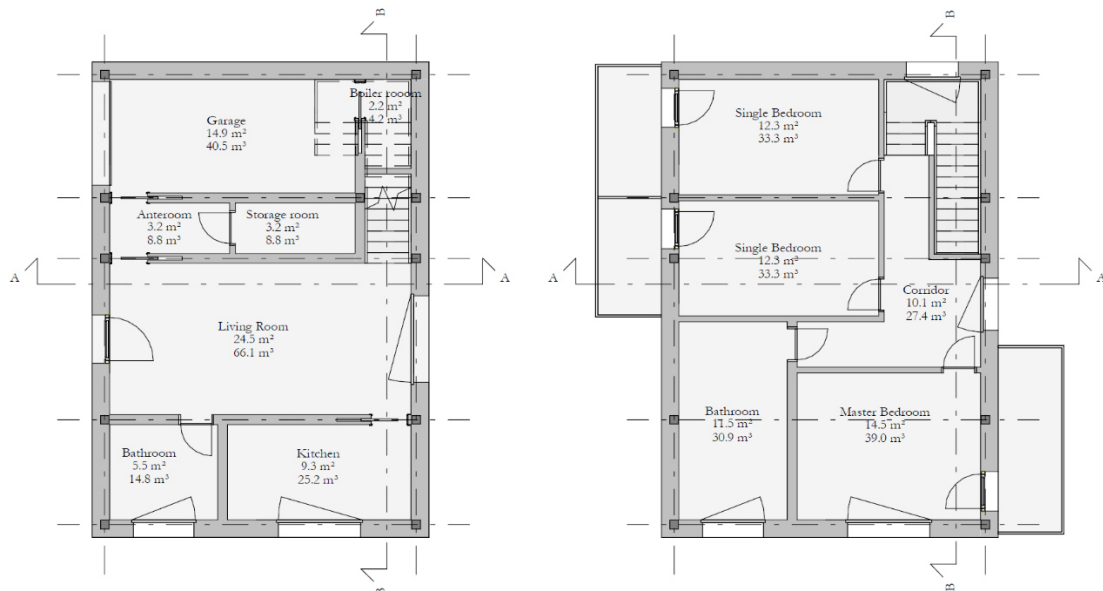


FIG. 16 - SFH: piante piano terra e piano primo

### 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.

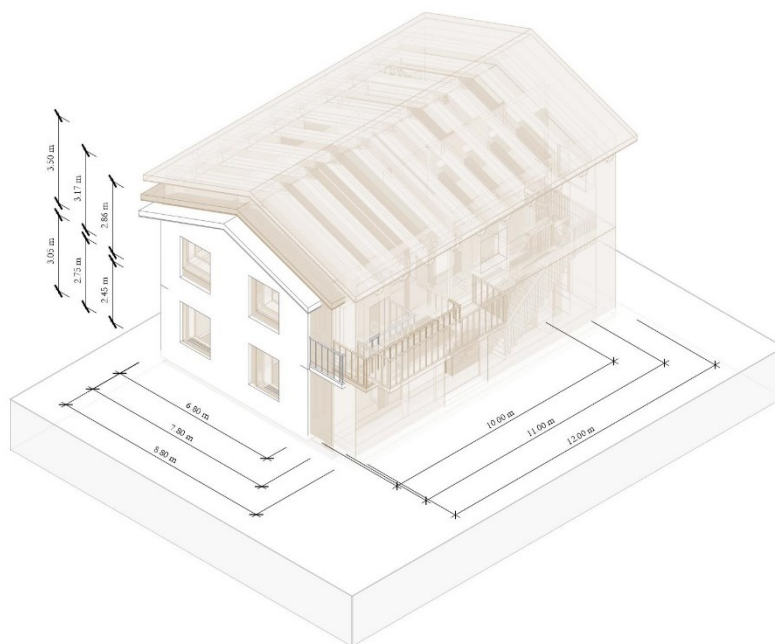


FIG. 17 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SFHw

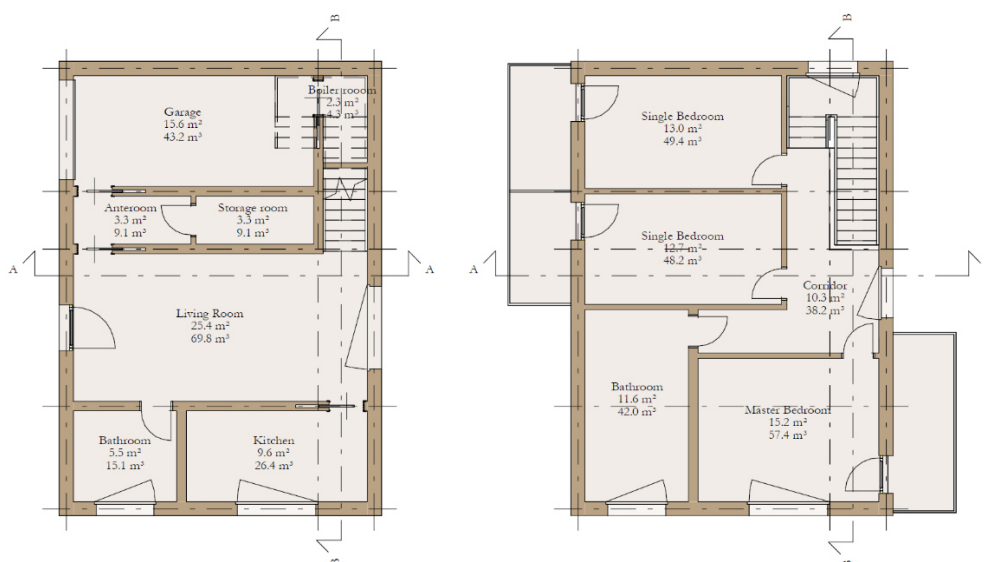


FIG. 18 - SFHw: piante piano terra e piano primo



### 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.

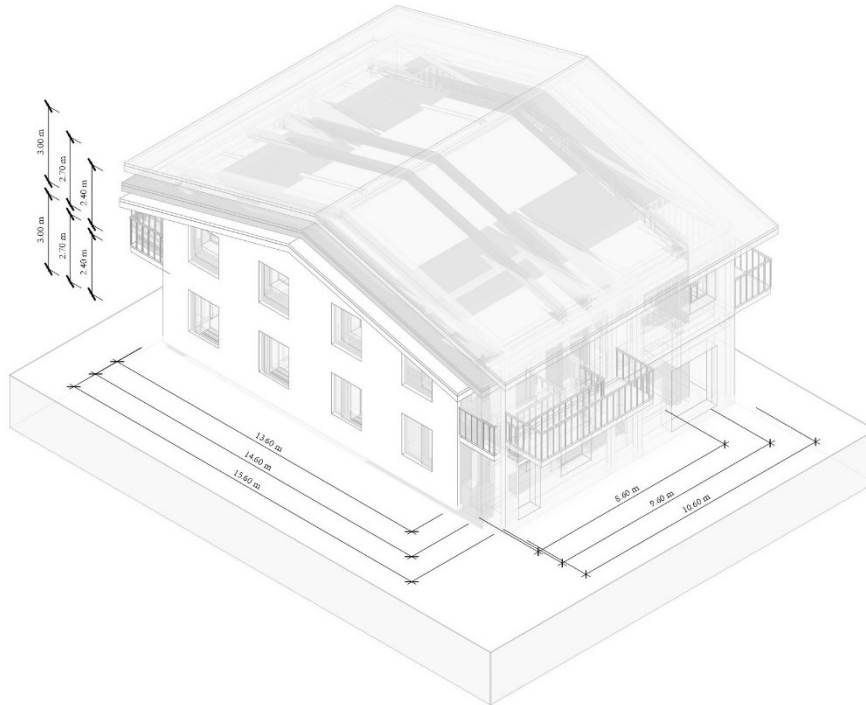


FIG. 19 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDH

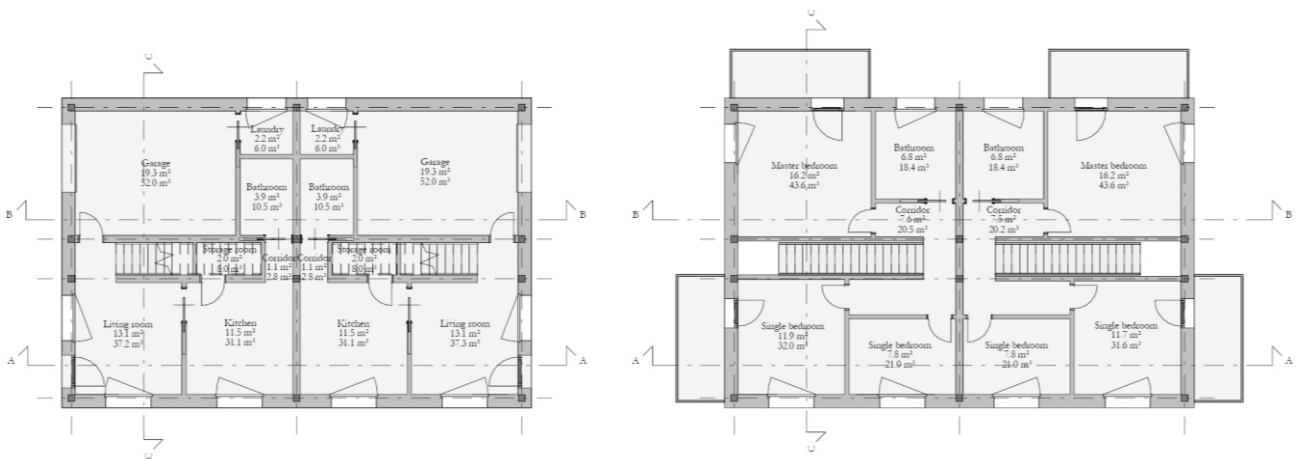


FIG. 20 - SDH: piante piano terra e piano primo

### 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.

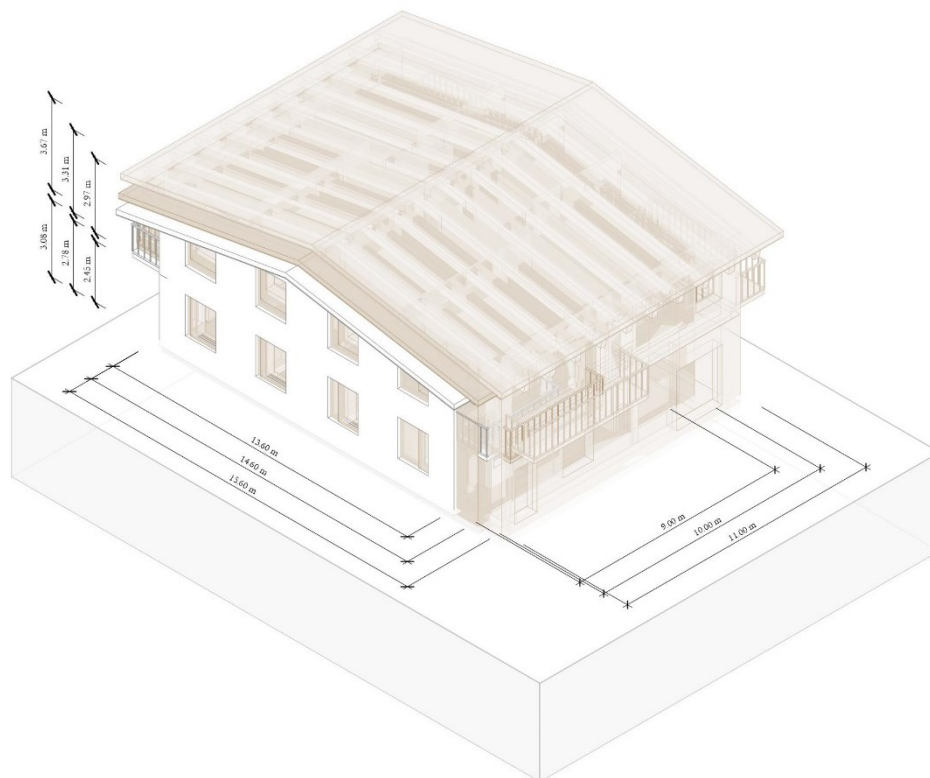


FIG. 21 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria SDHw

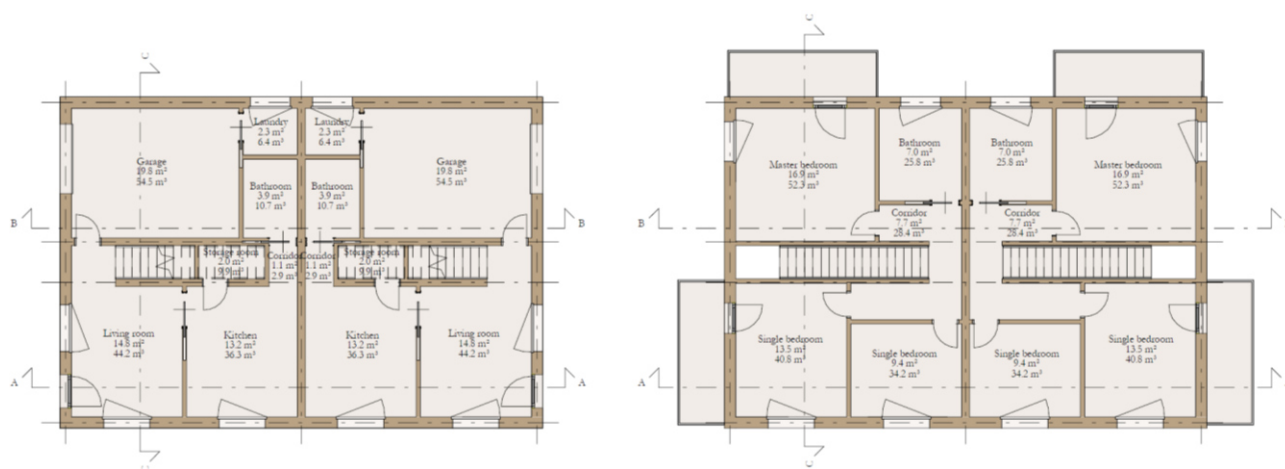


FIG. 22 - SDHw: piante piano terra e piano primo

### 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.

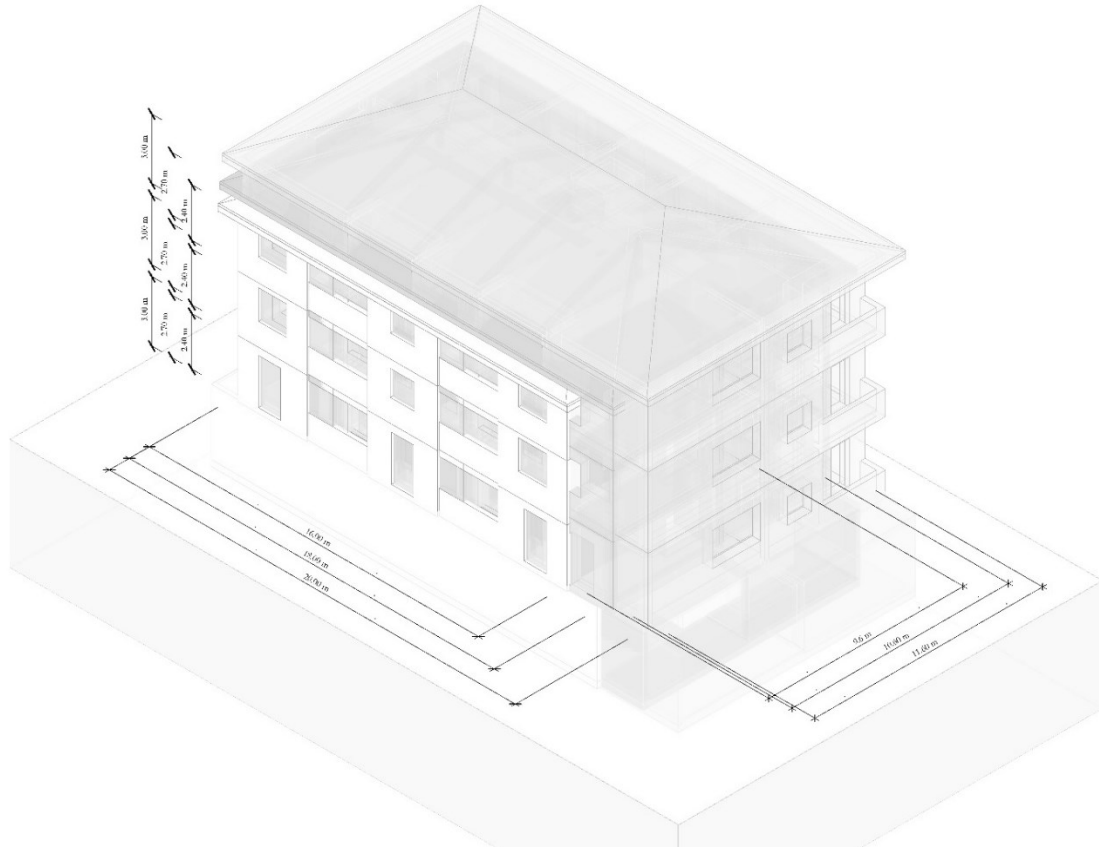


FIG. 23 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria MRB

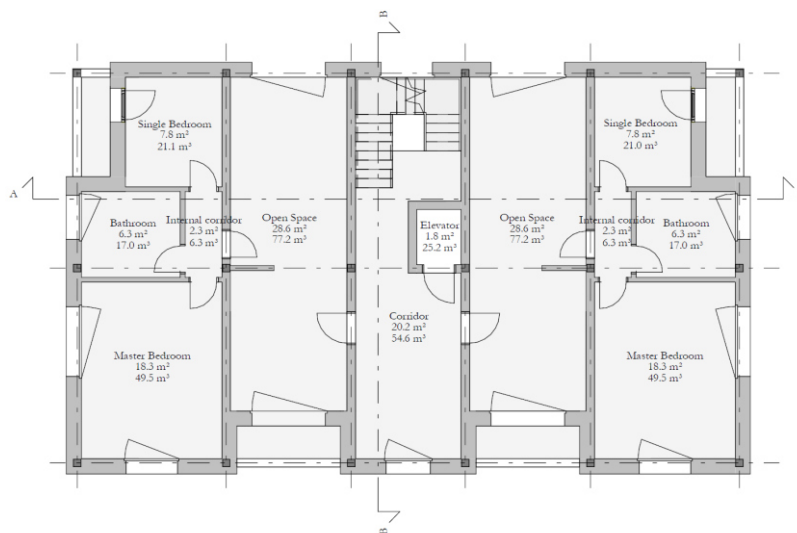


FIG. 24 - MRB: pianta piano tipo

### 3.4.1.6 *Large Residential Building Vertical (LRBv)*

Condominio con 30 appartamenti, corrispondente alla classe di “edifici con 16+ abitazioni”. Fabbricato residenziale con 8 piani fuori terra, ciascuno quindi con 4 appartamenti, ad eccezione del piano terra che si divide in 2 appartamenti e locali tecnici vari, piano interrato dedicato ai garage, vano scala e ascensore in ambiente comune, sottotetto e attico. Ogni appartamento dispone di 2 camere da letto, un bagno e un *open space* in cui sono presenti cucina, sala da pranzo e salotto.

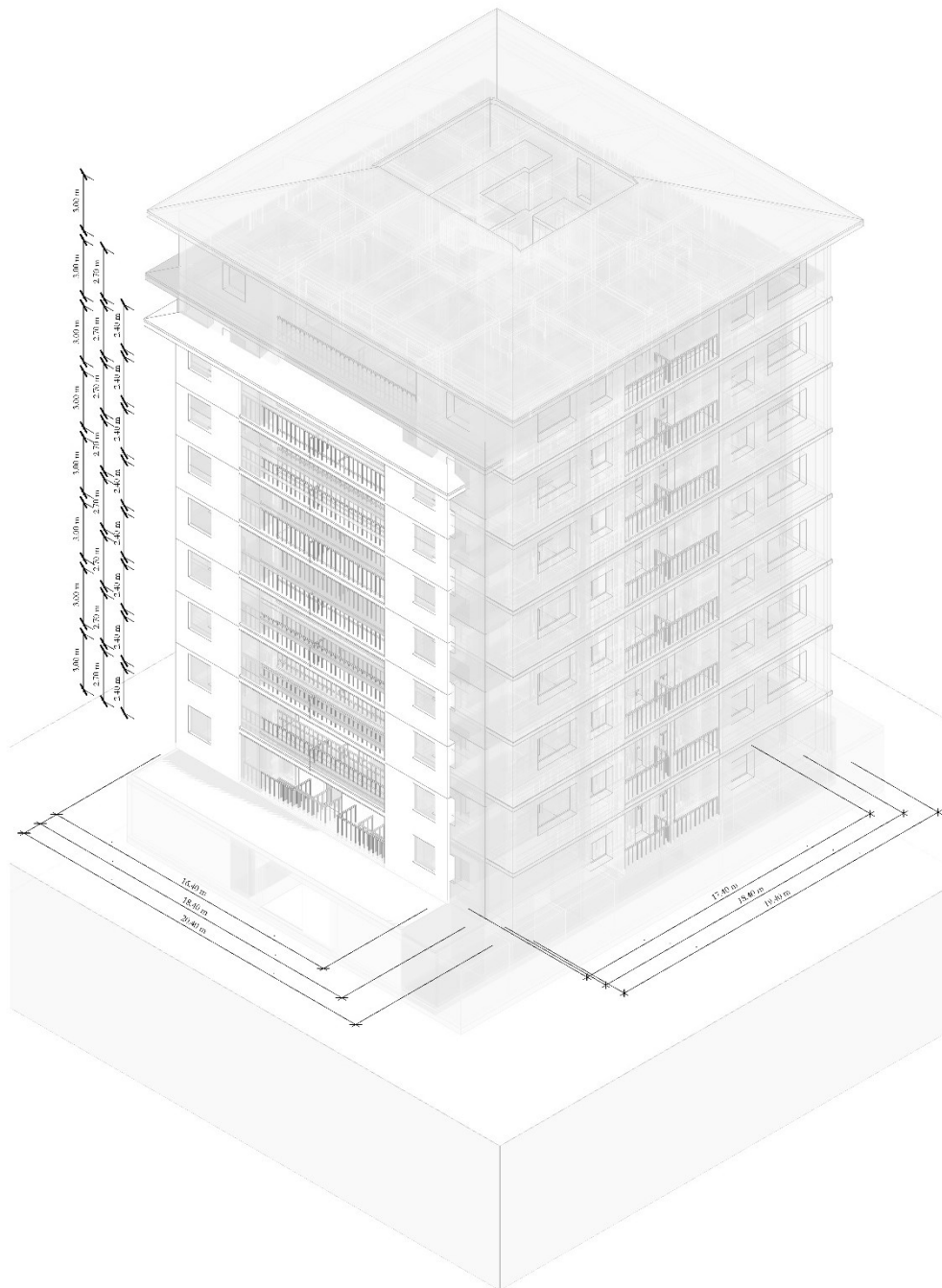


FIG. 25 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBv

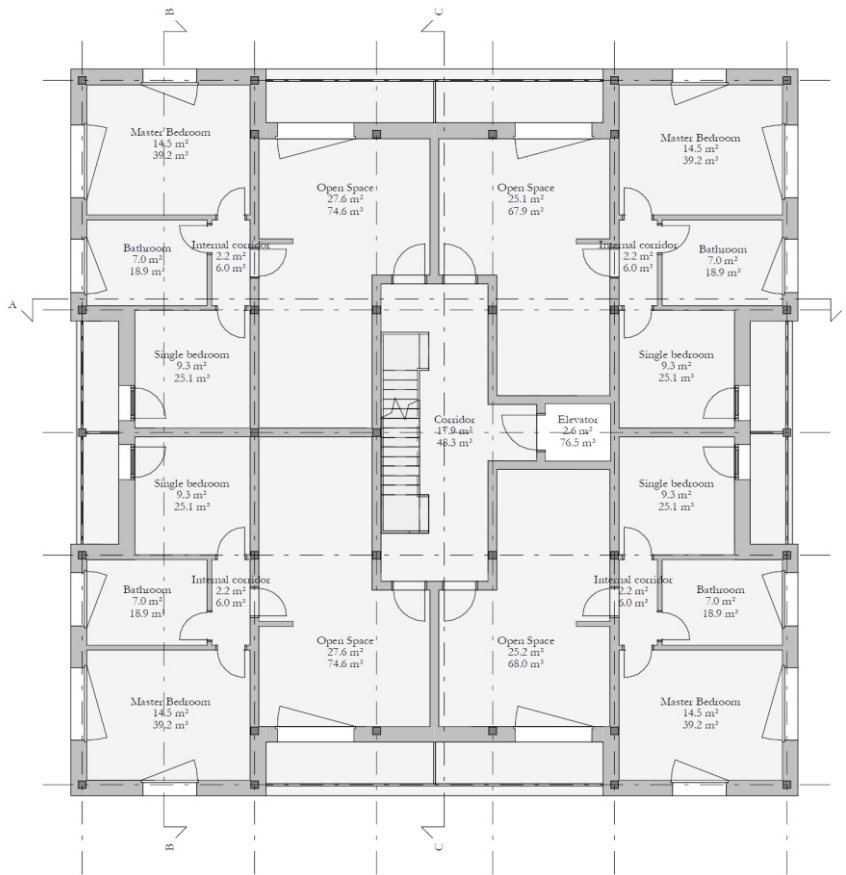


FIG. 26 - LRBv: pianta piano tipo

### 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.

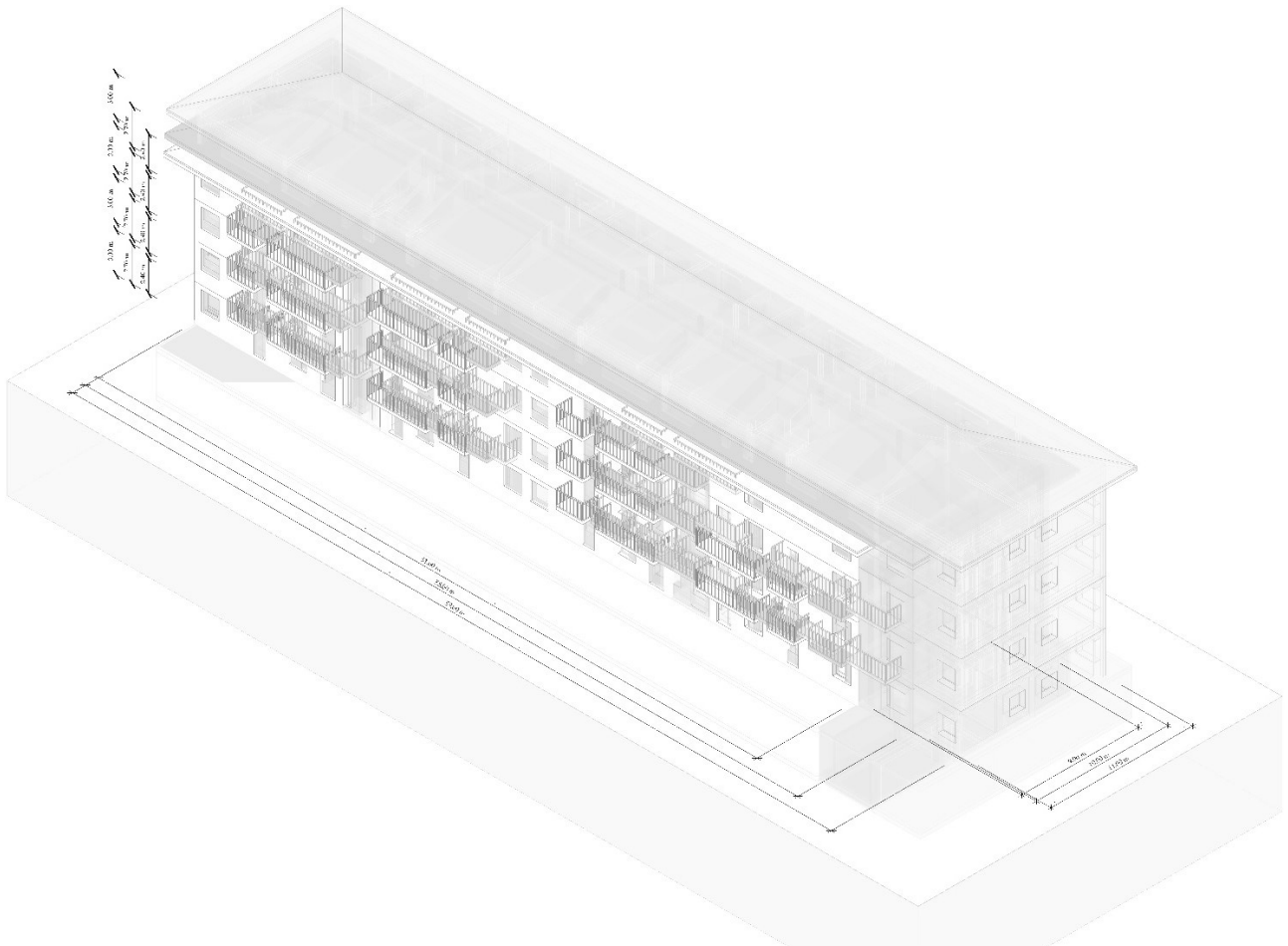


FIG. 27 - Rappresentazione 3D degli archetipi minimo, medio e massimo per la categoria LRBo

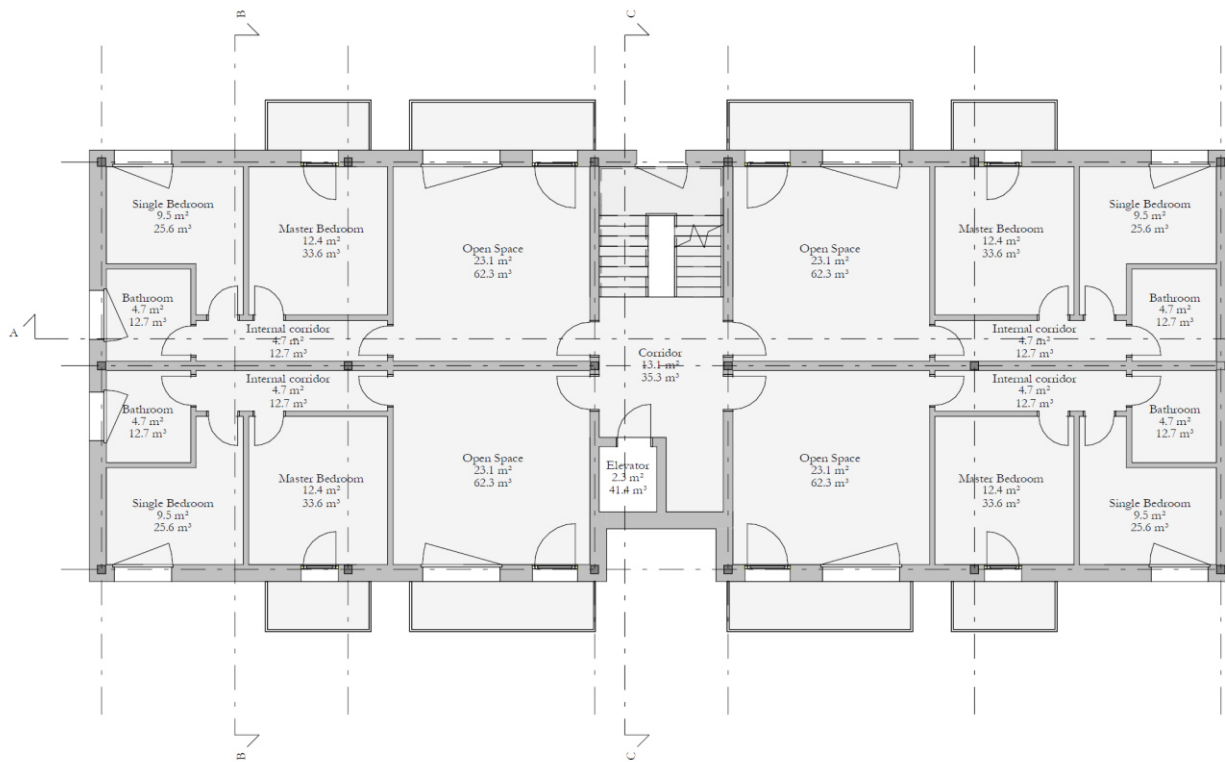


FIG. 28 - LRBo: pianta piano tipo, metà Ovest

### 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

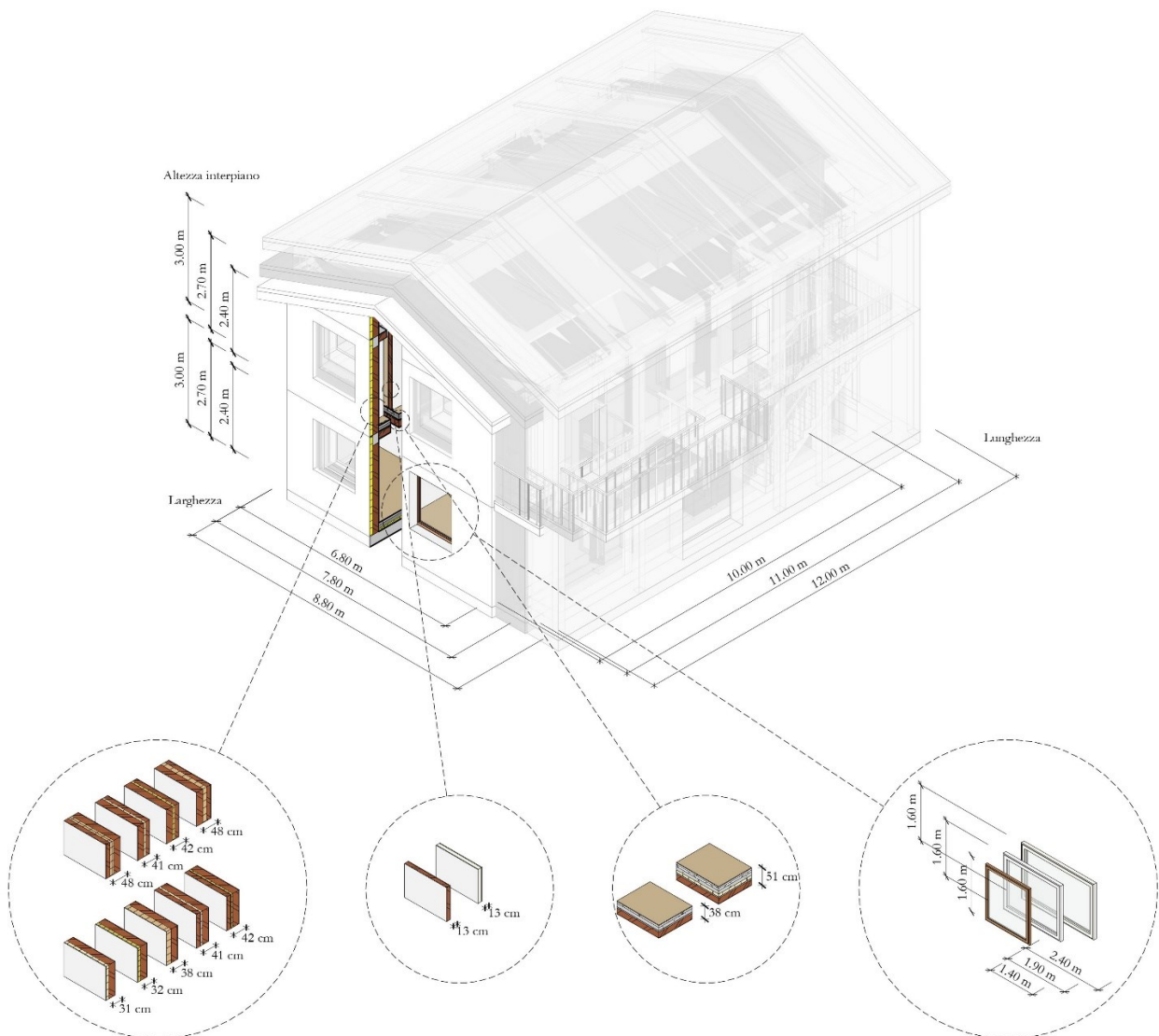


FIG. 29 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in laterocemento



## 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

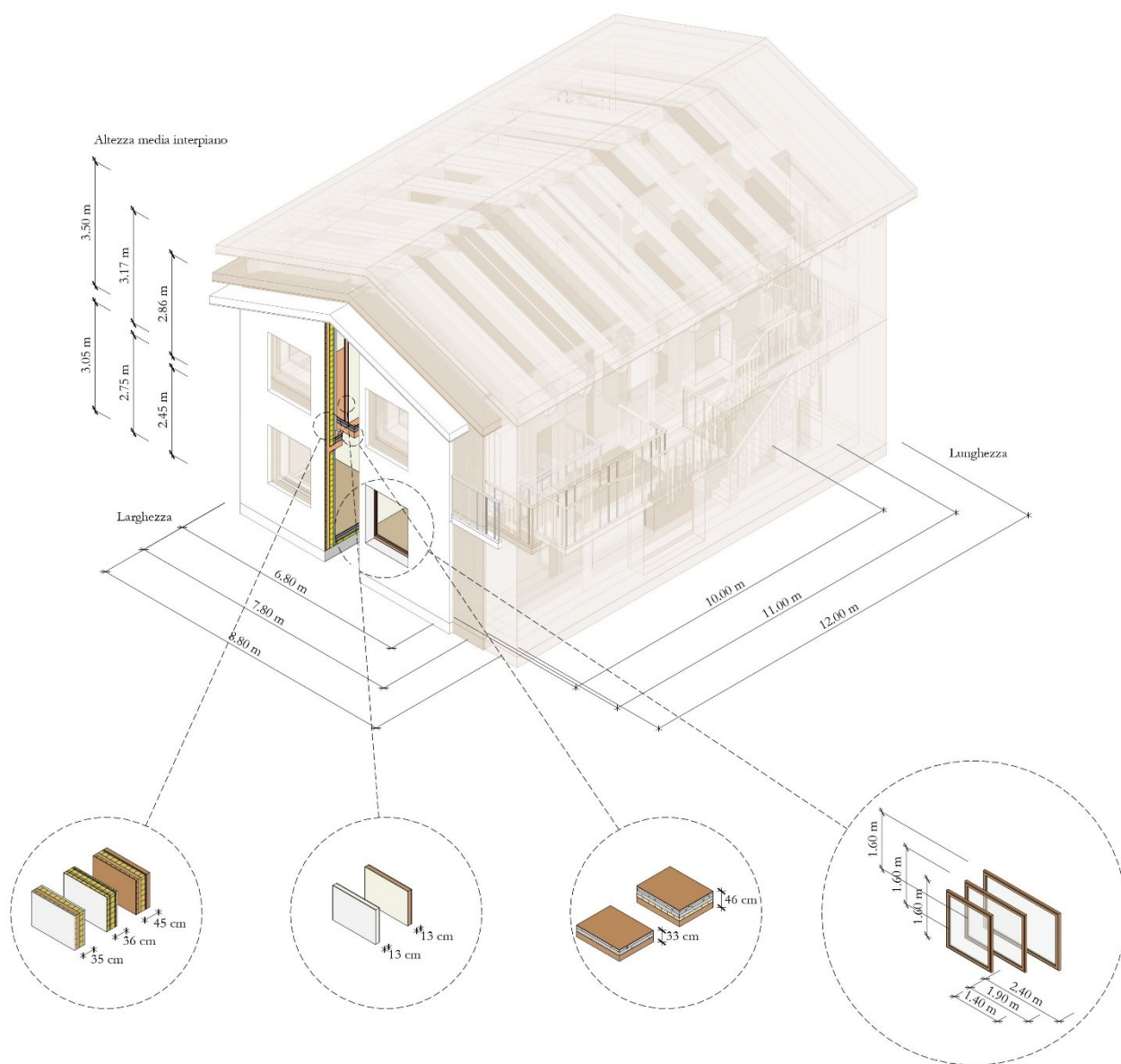


FIG. 30 - Rappresentazione visuale della variabilità degli archetipi in legno

#### 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 3.4.1. 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 partenza 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 lordo 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 Implementazione della variabilità

#### 3.5.1 Il *Building Information Modeling* (BIM)

Come definito dalla norma UNI EN ISO 19650-1, il Building Information Modeling (BIM) è “*l'utilizzo di una rappresentazione digitale condivisa di un cespite immobile per facilitare i processi di progettazione, di costruzione e di esercizio, in modo da creare una base decisionale affidabile*” (Ente Italiano di Normazione 2019).

Il BIM è un insieme di tecnologie, processi e procedure che permettono a diversi soggetti interessati di progettare, costruire e gestire in modo collaborativo un'opera in un ambiente virtuale (BIMe Initiative 2022c). Il BIM è la rappresentazione virtuale di un edificio e ne permette un'accurata riproduzione di ogni singolo elemento costruttivo, consente attività di controllo e analisi lungo tutto il processo edilizio e il ciclo di vita della struttura. Fornisce inoltre la possibilità di estrazione di dati durante le fasi progettuale, esecutiva e di gestione (InfoBuild 2022). Queste informazioni possono essere sfruttate per una moltitudine di analisi e verifiche sul modello virtuale che simulano eventi reali: analisi energetiche, verifiche strutturali, computi metrici e molte altre ancora (InfoBuild 2022). Il significato del termine BIM è cresciuto enormemente nel corso degli anni ed ha ora assunto quello di "innovazione digitale" per il settore delle costruzioni (BIMe Initiative 2022c). Secondo la community BIMe Initiative, inoltre, il BIM può essere utilizzato per una molteplicità di scopi che sono identificati come *Model Uses*. Essi identificano e raccolgono i requisiti informativi che devono essere implementati all'interno dei modelli digitali 3D secondo la relativa categoria di appartenenza, ossia secondo lo scopo che si vuole raggiungere con il modello in questione. Definiti come “blocchi di conoscenza”, gli usi del modello fanno parte di un

linguaggio modulare più ampio che collega i requisiti di informazione con le unità di sistema, i ruoli definiti e gli elementi di competenza (BIMe Initiative 2022a).

Per questi motivi il BIM è stato identificato come la tecnologia più adatta agli obiettivi di questo lavoro: l'esatto computo di tutti i materiali di un edificio correlato alla possibilità di integrazione di una molteplicità di altre informazioni su di essi sono qui caratteristiche fondamentali ed imprescindibili. In particolare l'uso del modello che si fa in questa ricerca viene identificato nel *Quantity Take-off use* (BIMe Initiative 2022a).

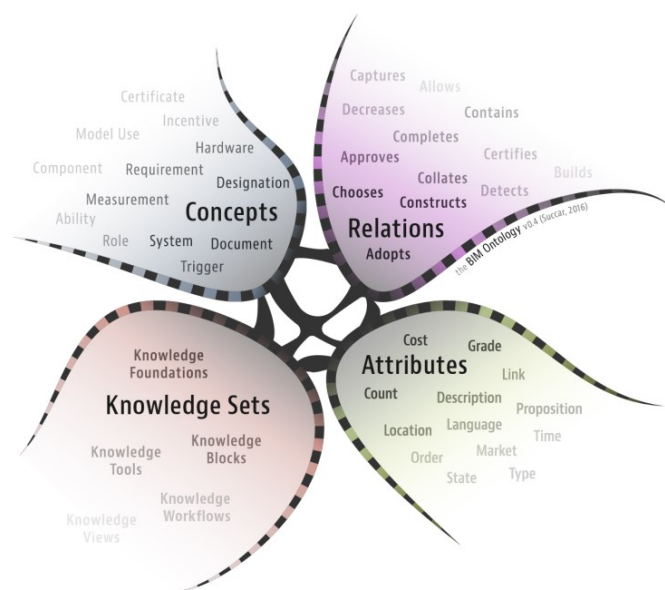


FIG. 31 - L'ontologia BIM, modello di conoscenza visiva (BIMe Initiative 2022b)

### 3.5.2 Il metodo Monte Carlo

La realtà edilizia residenziale italiana è vasta e spesso complessa da rappresentare. Lo studio e la definizione di ogni singolo edificio presente sul territorio non sono possibili a causa di limiti temporali ed economici. Pertanto, in questa tesi viene utilizzato il metodo Monte Carlo per la definizione di una simulazione della realtà al fine di una estrapolazione di dati quanto più attinente possibile alla situazione reale.

Il metodo Monte Carlo è una tecnica matematica inventata durante la Seconda Guerra Mondiale da John von Neumann e Stanislaw Ulam per migliorare il processo decisionale in situazioni incerte. A differenza di un normale metodo di previsione questa analisi produce una serie di risultati sulla base di un intervallo di input variabile sfruttando la distribuzione di probabilità. Questo esercizio può essere ripetuto all'infinito cambiando di volta in volta i dati in input pescati dal paniere inizialmente definito. All'aumentare del numero di input cresce anche il numero di possibili risultati, per questo la precisione di questo metodo aumenta con l'aumentare delle iterazioni eseguite, producendo una gamma di espressioni probabilistiche per ogni input (Andrieu 2003).

In questo studio il metodo Monte Carlo viene utilizzato per produrre mille modelli di ogni categoria di archetipo di edificio, descritti al capitolo 3.4.1, partendo da un modello di base e scegliendo come dati di input una lista di caratteristiche per ogni tecnologia costruttiva tra quelle disponibili descritte al capitolo 3.4.2.

### 3.5.3 La modellazione parametrica in Revit

Il punto di partenza per una corretta implementazione del metodo Monte Carlo nei modelli è fare in modo che ciascuno di essi possa permettersi di variare le caratteristiche dei propri elementi costruttivi e i propri parametri geometrici senza alterare la natura del modello stesso. Il software BIM utilizzato in questa ricerca è Autodesk Revit 2022. Grazie al plugin Dynamo è stato possibile implementare il metodo Monte Carlo all'interno di Revit ed esportare i dati interessati nel software di calcolo Excel.

#### 3.5.3.1 I parametri

Ogni elemento della modellazione in Revit è strutturato per *famiglie*, *tipi* ed *istanze*. Le famiglie possono essere paragonate ad un determinato sistema costruttivo: ad esempio in un edificio tutte le murature sono raggruppate sotto la famiglia "Muri di base"; le caratteristiche costruttive di ogni sistema, come ad esempio la stratigrafia di un muro o le dimensioni di una finestra, sono raggruppate come *parametri* all'interno dei tipi: ogni muro può essere realizzato secondo diverse tecnologie costruttive, per questo ogni famiglia è divisa in sottoinsiemi minori che sono proprio i tipi; infine le istanze identificano ogni singolo elemento modellato all'interno del progetto: un edificio è composto da un certo numero di muri di una determinata famiglia e di un certo tipo, ognuno di essi è identificato come istanza, e anch'esse posso avere



i propri parametri. È importante sottolineare che i parametri di tipo modificano tutte le istanze presenti nel progetto appartenenti a quel tipo, mentre i parametri di istanza modificano solamente quella singola istanza.

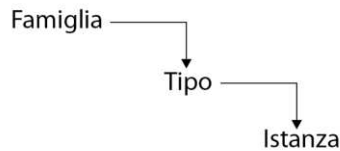


FIG. 32 - Gerarchia delle proprietà degli elementi in Revit

In FIG. 33 è raffigurata l'interfaccia Revit che meglio identifica la categorizzazione di un elemento per famiglia, tipo e istanza. In rosso è evidenziata la famiglia, in verde il tipo e i relativi parametri mentre in blu al centro è selezionata un'istanza di muro con i suoi parametri sulla sinistra.

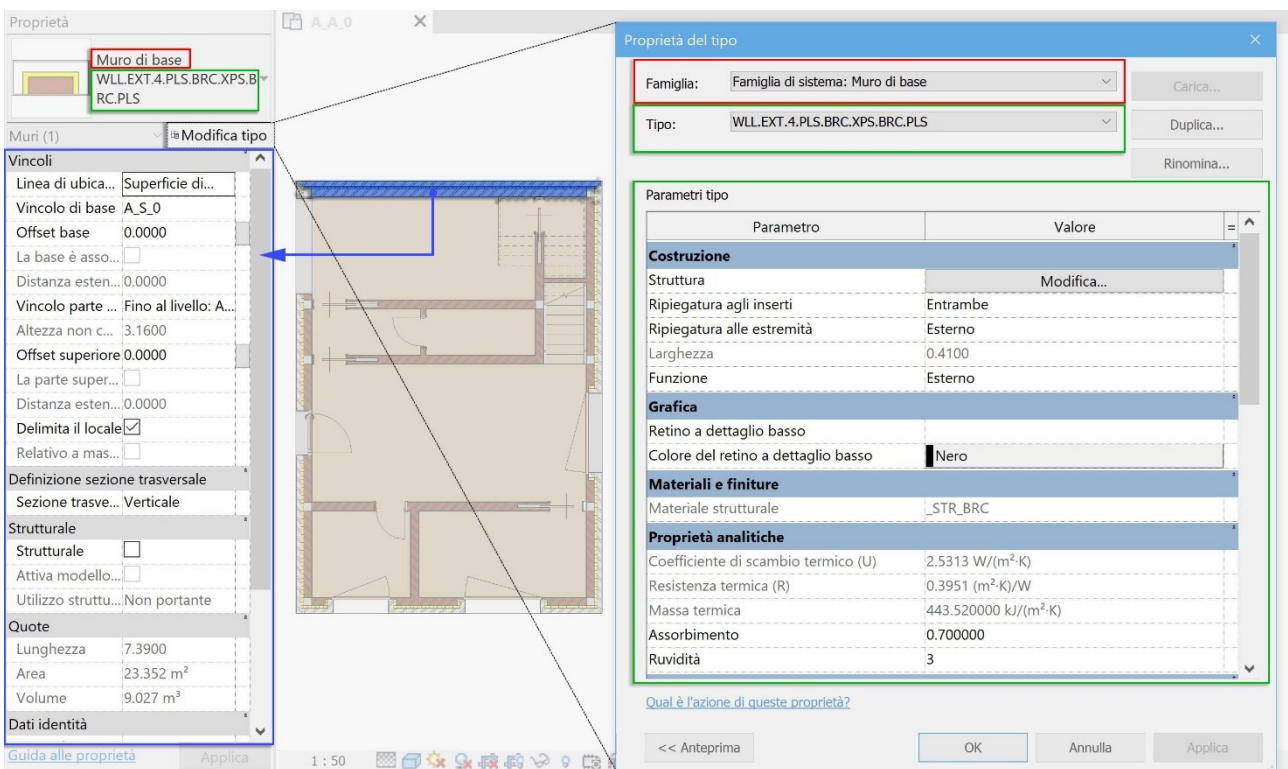


FIG. 33 – Revit: proprietà di famiglia, tipo e istanza di un muro in Revit

All'interno di un progetto possono inoltre essere definiti i *parametri globali* che non appartengono a nessun tipo o istanza, ma possono essere associati a qualsiasi altro parametro della stessa disciplina (cioè un parametro di testo non può essere associato ad un parametro numerico e così via). È possibile quindi associare a più parametri di tipo o di istanza lo stesso parametro globale semplificando così il processo di modifica.

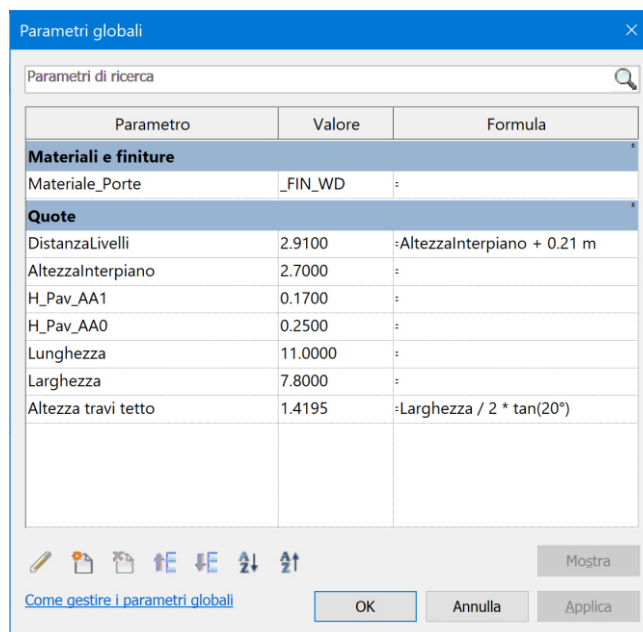


FIG. 34 - Revit: parametri globali

In FIG. 34 sono elencati i parametri globali utilizzati in tutti i modelli per definire la geometria dell'edificio: *Lunghezza*, *Larghezza*, *AltezzaInterpiano*; questi parametri sono collegati alle quote tra i piani di riferimento e i livelli. Viene inoltre definito un altro parametro globale che identifica il materiale per le porte: *Materiale\_Porte*; a differenza dei precedenti questo non è di tipo lunghezza ma è un parametro di tipo materiale e viene associato all'interno delle proprietà di tipo delle famiglie delle porte al relativo parametro che identifica il materiale di esse.

Come si può notare sono presenti anche altri parametri globali che sono essenziali per la realizzazione dei modelli. Essi possono essere visti come parametri secondari in quanto non subiscono direttamente delle variazioni, ma sono legati alla variazione delle caratteristiche geometriche principali, tramite una formula (*Altezza travi tetto* e *DistanzaLivelli*) o tramite il valore di un altro parametro (*H\_Pav\_AA1* e *H\_Pav\_AA0*). Nello specifico la modifica di questi ultimi due necessita dell'utilizzo di Dynamo, che verrà spiegato in seguito.

Un'altra tipologia di parametri utilizzata nella modellazione dei modelli sono i *parametri di progetto*. Questi parametri, a differenza dei parametri globali, vengono aggiunti solamente a determinate categorie selezionate, come parametro di istanza o di tipo, e inoltre possono essere visualizzati negli abachi, funzione fondamentale in seguito per l'organizzazione e l'esportazione dei dati. I parametri di progetto utilizzati in questa ricerca sono visualizzati in FIG. 35.

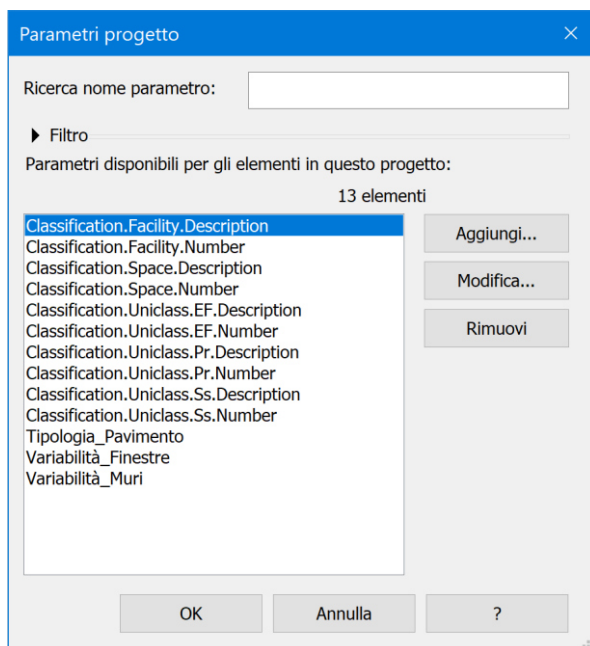


FIG. 35 - Revit: parametri di progetto

I primi dieci sono utilizzati per contenere le informazioni relative alla classificazione di tutti gli elementi, come descritto negli abachi in “Appendice B: abachi degli elementi costruttivi”.

Gli ultimi tre invece servono per la distinzione delle istanze in fase di modifica dei tipi. Il parametro *Tipologia\_Pavimento* è un parametro di testo e contiene tutte i nomi delle tipologie dei pavimenti utilizzati: “Ascensore”, “Controtterra”, “Copertura”, “Rampa”, “Solaio interpiano”, “Sotterraneo” e “Terrazzo”. I parametri *Variabilità\_Finestre* e *Variabilità\_Muri* invece sono di tipo Si/No e servono per identificare rispettivamente le finestre e i muri modificabili, in quanto appunto non tutte le istanze di queste due categorie devono essere modificate.

### 3.5.3.2 I vincoli

La parametrizzazione di ogni modello è basata sull'impostazione di *vincoli geometrici* che ancorano le singole istanze, tra loro o a delle quote lineari, in modo tale che ognuna possa spostarsi in maniera congrua al variare delle dimensioni o al cambio del tipo degli elementi, senza creare errori né al modello né alle tecnologie costruttive.

La realizzazione del modello parte dalla definizione dei *piani di riferimento*. Nel caso rappresentato in FIG. 36 (modello base della categoria Single Family House) i piani creati sono PF\_Nord, PF\_Est, PF\_Sud, PF\_Ovest e PF\_Centro. La posizione di questi piani può essere bloccata in una desiderata posizione o vincolata tramite delle quote. Come si vede in figura, i simboli evidenziati dai quadrati rossi evidenziano che i piani PF\_Ovest e PF\_Nord sono stati bloccati con l'apposito comando “Blocca” e non possono subire alcuna modifica della loro posizione o geometria. Gli altri 3 piani invece non sono bloccati, ma sono vincolati: ciò significa che la loro posizione varia in funzione dei vincoli posti, ovvero le *quote*

(rettangoli gialli in FIG. 36). A loro volta queste quote fanno riferimento al relativo parametro globale, come si può notare dal simbolo della matita presente a fianco del valore della quota.

Questo non è l'unico metodo con cui sono state utilizzate le quote nella modellazione. Come evidenziato dai rettangoli verdi, infatti, ci sono altre due funzionalità utilizzate. La quota più in basso tra le due evidenziate è stata bloccata sul suo stesso valore, come evidenziato dal simbolo del lucchetto. Questo significa che la quota non fa riferimento a nessun altro parametro ma è vincolata sempre a quello stesso valore che non cambierà, a meno di modifiche manuali. L'altra quota invece è caratterizzata dalla presenza della sigla "EQ". Questa è una quota multipla, cioè che fa riferimento ad almeno tre oggetti, e dinamica, ossia che non è bloccata come la precedente ma il suo valore può subire modifiche. La sua peculiarità è quella di mantenere i tre punti di riferimento selezionati degli oggetti host sempre alla stessa distanza tra loro, anche in caso di modifica della lunghezza della quota.

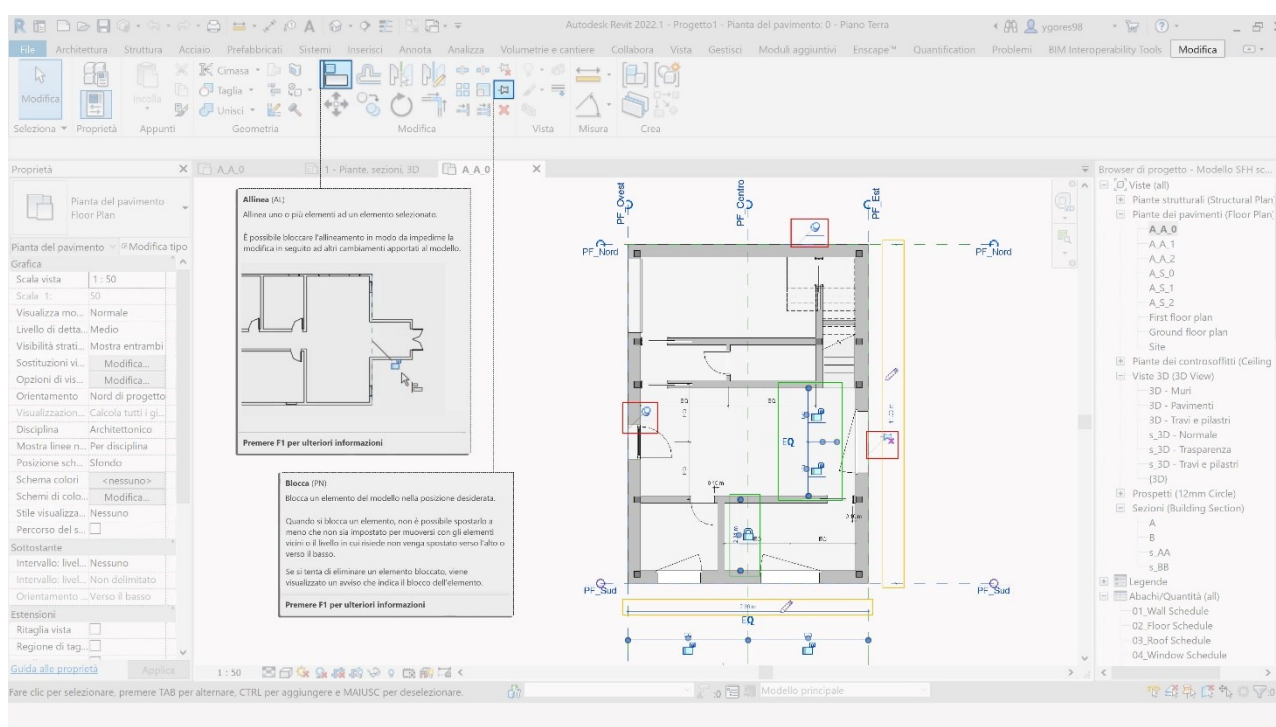


FIG. 36 – Revit: vincoli

Il collegamento più importante che poi fa funzionare tutti questi vincoli è quello tra i piani di riferimento e le murature esterne. Grazie al comando di allineamento, sono stati vincolati i muri ai piani, permettendo così il loro movimento, e di conseguenza quello di tutti gli altri elementi, in caso di modifiche dei parametri globali ai quali sono associate le quote relative tra i piani. È importante dire che i piani devono essere allineati sulla stessa linea di ubicazione del muro (parametro di istanza dei muri) cosicché la modifica del tipo dei muri non generi variazioni di posizioni e conseguenti possibili errori.

Con queste tecniche di modellazione sono stati realizzati e vincolati tutti i modelli di partenza di ogni categoria. Ogni singola istanza è stata allineata e bloccata ad un'altra in modo tale che, ad ogni qualsivoglia variazione dei parametri o dei tipi, il modello reagisca dinamicamente spostando tutti gli elementi tra loro

collegati. Ovviamente più l'edificio è complesso più risulta elaborata questa fase e più saranno i vincoli e gli elementi da connettere tra loro.

Quando si seleziona un'istanza in Revit vengono mostrati anche tutti i vincoli a cui è sottoposta. In FIG. 37 è stata selezionata l'istanza della scala e si possono notare tutti i vincoli, diretti o indiretti, a cui è sottoposta: ciò significa che una sua variazione può portare alla modifica di uno o più degli elementi collegati ai vincoli evidenziati e viceversa.

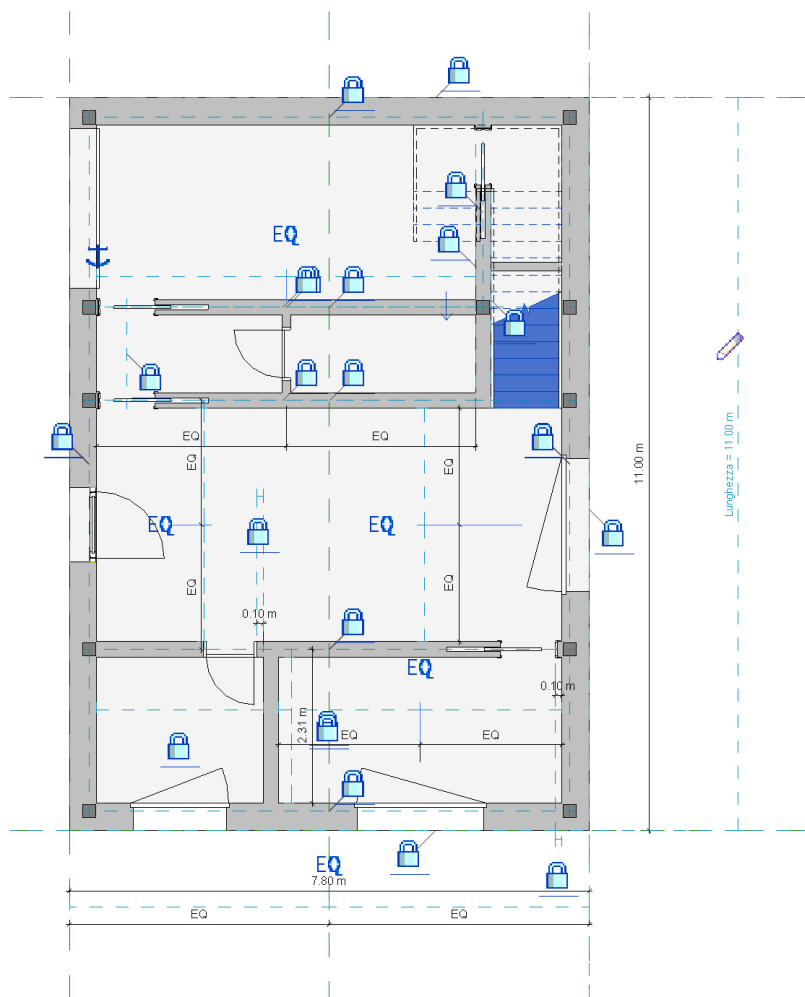


FIG. 37 – Revit: esempio di vincoli associati ad una istanza di scala

### 3.5.4 La modifica dei modelli con Dynamo

La realizzazione dei 1000 modelli per ogni archetipo di edificio parte dalla scelta semi-casuale delle caratteristiche di ogni elemento, le quali dovranno essere importate in Revit per effettuare le variazioni desiderate. Il secondo passaggio consiste appunto nell'applicazione di queste nuove caratteristiche e infine si conclude con l'esportazione e l'aggiustamento dei dati interessati. L'implementazione di queste tre fasi viene eseguita attraverso il software Dynamo, utilizzato come plugin di Revit, e i fogli di calcolo con Microsoft Excel.

#### 3.5.4.1 Gli script Dynamo

Dynamo è un software di programmazione visuale. Ciò significa che l'interfaccia utente non è tipicamente quella di un software di programmazione in cui è necessario compilare le righe di codice, bensì è strutturato per blocchi e nodi (vedi FIG. 38). Ogni nodo è compilato in modo tale da eseguire determinate operazioni, ma senza dover produrre testualmente il codice che permette l'elaborazione di determinate funzioni. Ogni nodo è strutturato in modo tale da avere degli input e restituire degli output. Vengono collegati tra loro attraverso una linea che unisce gli output di un nodo agli input del successivo per creare una catena di operazioni. Ogni nodo può ospitare una sola linea per ogni parametro di input, mentre ogni output può essere collegato a più input di altri nodi (vedi FIG. 38). Possono essere inoltre creati nodi personalizzati che contengono al loro interno un insieme di nodi, oppure possono essere creati dei nodi che svolgono determinate funzioni scritte dall'utente in formato Python, grazie all'accesso delle funzioni di Revit tramite API.

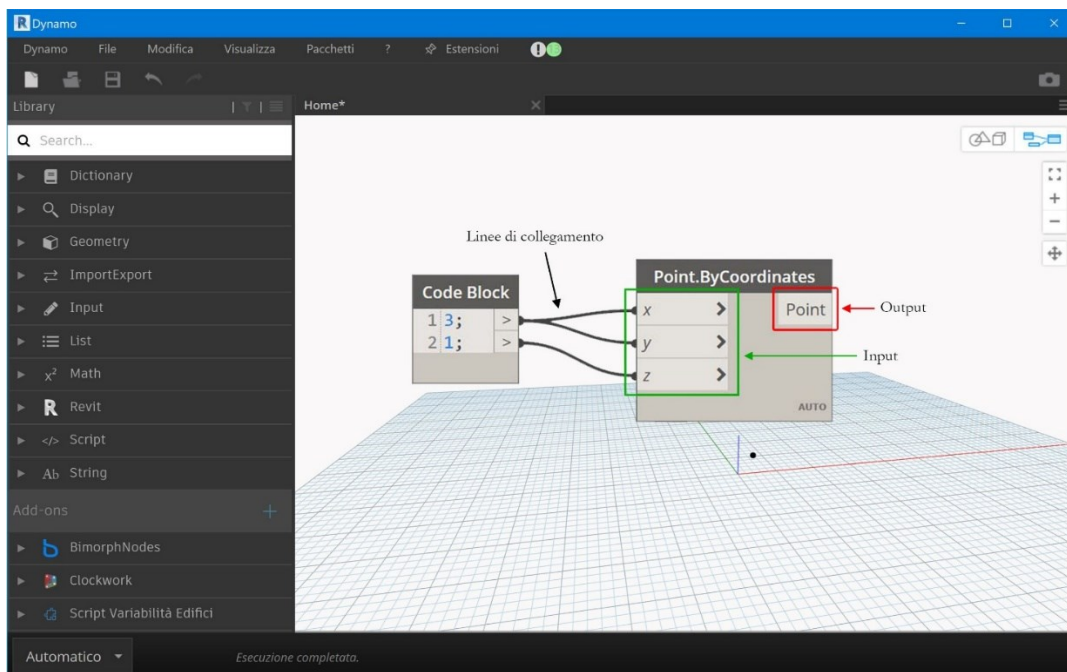


FIG. 38 - Dynamo: interfaccia utente del software

In questa ricerca si è reso necessario creare uno script che esegua sempre le stesse determinate operazioni più volte per creare un modello, ne esporti i dati e salvi il file. Alla fine di ogni ciclo di modifiche deve poi ricominciare e ripetere le stesse operazioni per creare il successivo, fino al raggiungimento del numero di modelli prefissato. In FIG. 39 è riportato un diagramma concettuale di tutte le operazioni che esegue lo script realizzato in Dynamo per la modifica dei modelli.

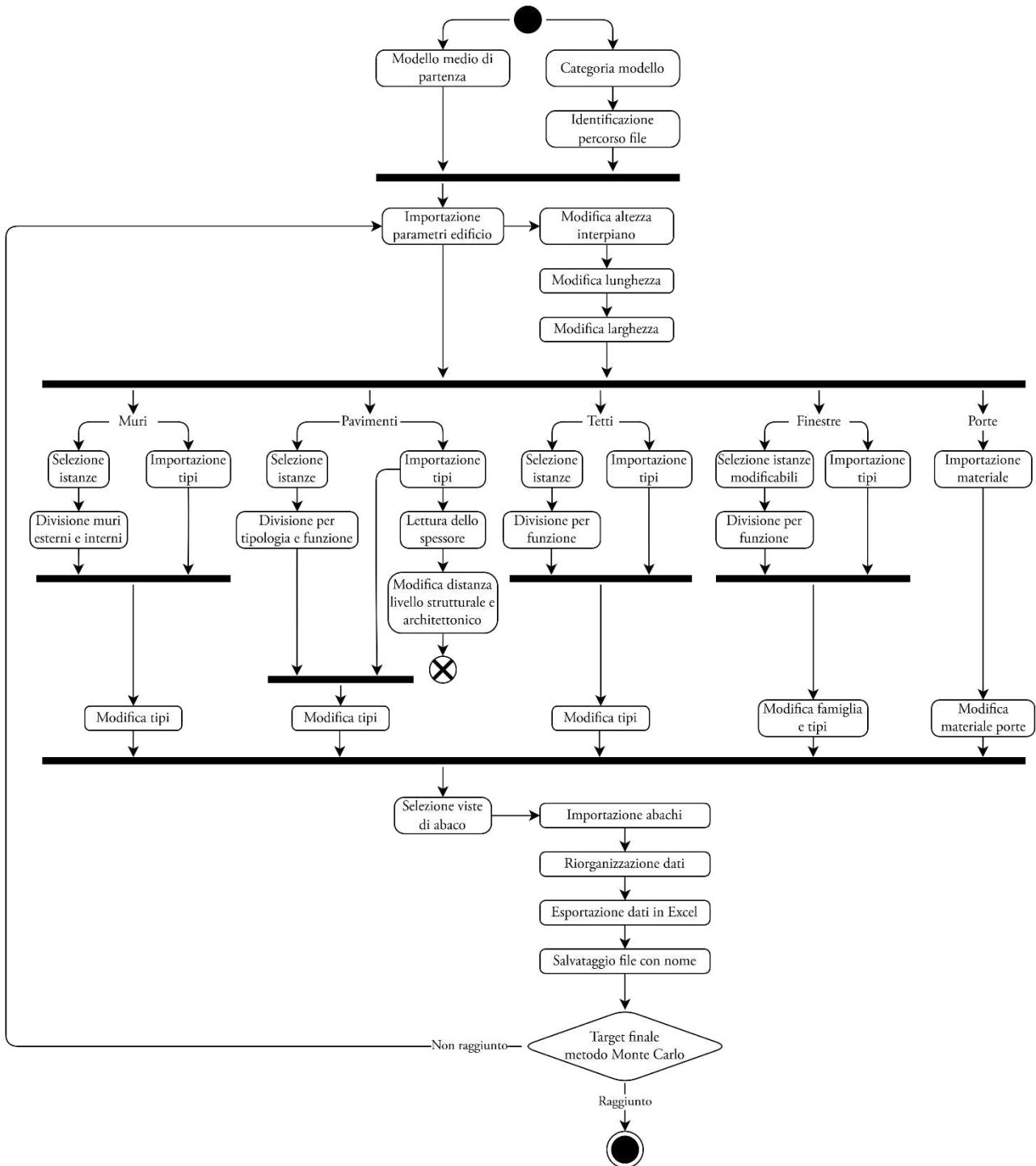


FIG. 39 – Diagramma UML delle operazioni in Dynamo

Come si nota in FIG. 39 i due input iniziali sono il modello medio da cui partire con le modifiche e la categoria di modelli a cui far riferimento per la scelta delle caratteristiche di variabilità da applicare al nuovo modello. Dopo aver importato questi dati lo script procede prima con la modifica dei parametri geometrici e successivamente con la modifica di famiglia, tipi e parametri relativi agli elementi costruttivi. Le ultime fasi sono quelle di esportazione dei dati sui materiali ricavati dagli abachi di Revit e il salvataggio del file. Questo processo viene ripetuto per ogni edificio fino al raggiungimento del numero di modelli prefissato (1000 modelli per ogni categoria nel caso di questa ricerca).

Il nodo fondamentale che rende possibile questo processo è il nodo *LoopWhile*. Questo, come suggerisce il nome, esegue operazioni in *ciclo finchè* non sono state raggiunte determinate condizioni. Questo nodo per cui necessita di tre input: il valore iniziale da cui partire (*initialValue*), la condizione per cui il ciclo deve continuare (*continueWhile*) e le operazioni che deve eseguire ad ogni ciclo (*loopBody*). In FIG. 40 è rappresentato il nodo in questione.



FIG. 40 - Dynamo: nodo *LoopWhile*

Tutte le operazioni e i nodi che consentono la modifica dei modelli sono stati inseriti all'interno di un nodo personalizzato, per una migliore organizzazione dello script. Nei seguenti capitoli verrà descritto nel dettaglio questo nodo personalizzato, ossia il modo con cui sono state implementate in Dynamo tutte le operazioni da eseguire ad ogni ciclo descritte in FIG. 39.

#### 3.5.4.2 *Importazione dei dati*

Come spiegato nei precedenti capitoli, Revit necessita di informazioni specifiche per capire quali elementi e quali caratteristiche di essi deve modificare.

Il primo passo per la compilazione dei modelli, è quindi scegliere per ognuno di essi le caratteristiche da variare, ovvero scegliere i tipi degli elementi e i valori dei parametri da applicare. Per fare ciò è stato realizzato un file Excel di importazione denominato "Variabilità.xlsx". Questo file contiene due schede per ogni archetipo: il paniere con tutte le possibilità di scelta (es. *SFH\_Tipologie*, FIG. 41) e la scheda con le scelte effettuate (*SFH\_Variabilità*, FIG. 42). La struttura di quest'ultima scheda è fatta in modo tale che tutte le caratteristiche relative ad un solo edificio siano contenute in una sola riga e che ognuna di esse sia scelta casualmente, con la funzione `RANDBETWEEN()`, all'interno della relativa colonna della prima scheda.



La variabilità dell'uso dei materiali nell'edilizia residenziale italiana:  
implementazione della Monte Carlo Analysis attraverso modelli BIM

FIG. 41 - Excel: file Variabilità, scheda SFH\_Tipologie

FIG. 42 - Excel: file Variabilità, scheda SFH\_Variabilità

Il secondo passo di questa fase è importare queste scelte in Revit automaticamente. Viene quindi realizzata la prima parte del nodo personalizzato. In FIG. 43 vengono importati i dati dal file Excel "Variabilità.xlsx"

e vengono organizzati in una lista. Viene inoltre definito il *contatore*, ossia la variabile che tiene conto del numero di iterazioni effettuate.

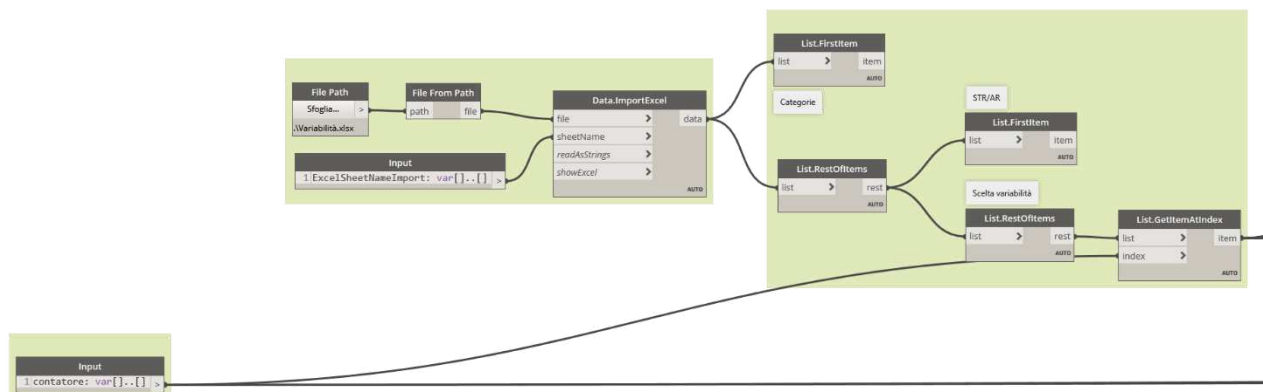


FIG. 43 - Dynamo: importazione dei dati

### 3.5.4.3 Modifica del modello

La seconda fase si articola in due parti: nella prima parte vengono modificati i parametri geometrici, mentre nella seconda vengono modificati i parametri tecnologici, ovvero i tipi delle famiglie di muri, pavimenti, tetti, finestre e porte. Qui entra in gioco un nodo fondamentale per il corretto funzionamento dei vincoli posti in Revit: il nodo *Passthrough*. Questo è un nodo della libreria esterna *Clockwork* e risulta fondamentale in questo lavoro in quanto non è possibile modificare contemporaneamente più parametri globali, riferiti a delle quote tra i piani di riferimento, senza generare errori tra i vincoli posti.

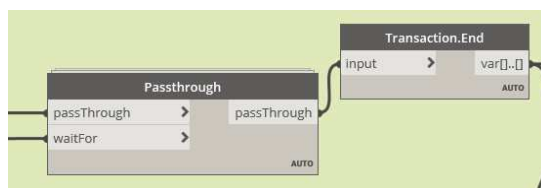


FIG. 44 - Dynamo: nodo Passthrough

Come si vede in FIG. 44 questo nodo restituisce come output le informazioni inserite nell'input *passThrough* solamente dopo che sono state eseguite le operazioni all'input *waitFor*. Combinato al nodo *Transaction.End* viene garantita la fine dell'esecuzione delle operazioni precedenti prima dell'inizio delle successive. Questi due nodi sono stati inseriti alla fine di ogni gruppo di nodi atti alla modifica di un parametro geometrico.

In FIG. 45 viene riportato il gruppo di nodi per la modifica di un parametro geometrico, in questo caso *AltezzaInterpiano*. Lo script ricava dalla lista importata nella fase precedente il valore relativo al parametro

interessato e ne effettua la modifica tramite il nodo *GlobalParameter.SetValue*. Questo gruppo di nodi viene ripetuto anche per gli altri due parametri: *Lunghezza* e *Larghezza*.

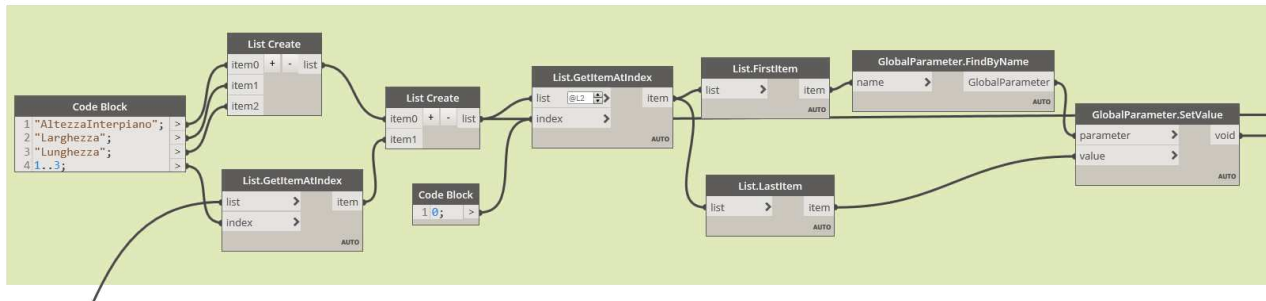


FIG. 45 – Dynamo: modifica del parametro geometrico *AltezzaInterpiano*

La seconda parte della fase di modifica del modello si occupa della modifica di famiglie, tipi e parametri riferiti agli elementi costruttivi. Questa fase è strutturata “in parallelo” e non “in serie”: ciò significa che non si generano conflitti durante la modifica degli elementi e quindi non è necessario l’utilizzo del nodo *Passthrough* tra una modifica e l’altra.

Riferendosi nuovamente al diagramma in FIG. 39 per ogni elemento costruttivo vanno eseguite determinate operazioni che variano per ognuno di essi. La partenza e la fine sono quasi sempre le stesse, ossia la selezione di tutte le istanze del modello appartenenti alla stessa categoria e l’importazione del nuovo tipo la cui impostazione ne conclude le modifiche. Le operazioni intermedie invece variano: i muri vengono divisi tra interni ed esterni; i pavimenti vengono divisi prima per tipologia e poi per funzione (strutturale o architettonico) ed inoltre viene letto il relativo spessore per poter impostare il nuovo valore dei parametri *H\_Pav\_AA0* e *H\_Pav\_AA1*, già introdotti al paragrafo 3.5.3.1 in FIG. 35; i tetti vengono divisi per funzione; delle finestre vengono selezionate solamente quelle che devono essere modificate e, a differenza degli altri elementi, in funzione del materiale scelto viene cambiata anche la famiglia, non solo il tipo; infine viene modificato il parametro globale associato ai parametri che modificano il materiale del telaio delle porte. In questa fase la divisione delle istanze di ogni categoria viene fatta grazie alla lettura dei valori dei parametri di progetti definiti in FIG. 35.

L’intera fase di modifica viene conclusa nuovamente dal nodo *Passthrough*.

#### 3.5.4.4 Esportazione dei dati e salvataggio

La terza ed ultima fase è quella che finalmente estrae dal modello i dati per costruire il dataset di materiali al fine di abilitare la Material Intensity.

Preliminarmente all’esportazione vera e propria dei dati però vanno costituiti gli abachi all’interno del modello Revit. Lo script per questa fase è stato codificato secondo precise terminologie e posizioni, per questo ognuno di essi deve essere impostato con opportuni campi e filtri. Di seguito sono elencati tutti gli abachi presenti nei modelli.

Tabella 29 – Lista degli abachi presenti nei modelli

Nome dell'abaco	Descrizione
01_Wall Schedule	Abaco dei muri
02_Floor Schedule	Abaco dei pavimenti
03_Roof Schedule	Abaco dei tetti
04_Window Schedule	Abaco delle finestre
05_Door Schedule	Abaco delle porte
06_Railing Schedule	Abaco delle ringhiere e parapetti
07_Room Schedule	Abaco dei locali
08_Stair Schedule	Abaco delle scale
09_Structural Column Schedule	Abaco dei pilastri strutturali
10_Structural Framing Schedule	Abaco delle travi strutturali
Zz_01_Material Takeoff	Abaco dei materiali
Zz_02_Material Takeoff STR.BRC	Abaco del materiale laterizio
Zz_03_Material Takeoff STR.CNC	Abaco del materiale calcestruzzo
Zz_04_Material Takeoff Systems	Abaco dei materiali divisi per sistema di appartenenza

Tuttavia solo alcuni di essi sono utilizzati per l'esportazione:

- *07\_Room Schedule*: elenca per nome i locali e ne visualizza area e volume;

A	B	C	D	E	F	G
Name	Number	Level	Area	Volume	Classification.Space.Description	Classification.Space.Number
Anteroom	13	A_A_0	3.25 m²	8.77 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Attic	14	A_A_2	66.31 m²	39.30 m³	Utility rooms	SL_45_10_09
Bathroom	<variabile>	<variabile>	16.94 m²	45.74 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Boiler room	6	A_A_0	2.20 m²	4.20 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Corridor	10	A_A_1	10.15 m²	27.40 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Garage	2	A_A_0	14.88 m²	40.53 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Kitchen	1	A_A_0	9.33 m²	25.19 m³	Kitchen-dining rooms	SL_45_10_44
Living Room	3	A_A_0	24.46 m²	66.06 m³	Kitchen-dining-living rooms	SL_45_10_45
Master Bedroom	8	A_A_1	14.45 m²	39.02 m³	Bedrooms	SL_45_10_09
Single Bedroom	<variabile>	A_A_1	24.68 m²	66.63 m³	Bedrooms	SL_45_10_09
Storage room	12	A_A_0	3.25 m²	8.77 m³	Utility rooms	SL_45_10_93
Grand total: 13			189.90 m²	371.60 m³		

FIG. 46 – Revit: abaco *07\_Room Schedule*

- *Zz\_01\_Material Takeoff*: elenca per nome i materiali e ne visualizza il volume;

A	B
Material: Name	Material: Volume
_FIN_ALM	0.22 m³
_FIN_CNC	7.54 m³
_FIN_CRM	3.11 m³
_FIN_GLS	0.55 m³
_FIN_PLS	12.90 m³
_FIN_TL	5.59 m³
_FIN_WD	1.43 m³
_INS_XPS	22.37 m³
_STR_BRC	93.57 m³
_STR_CNC	53.22 m³
_SUB_BRC	22.59 m³
_SUB_CNC	13.55 m³
_SUB_DRW	0.00 m³
	236.64 m³

FIG. 47 – Revit: abaco *Material Takeoff*

- *Zz\_02\_Material Takeoff STR.BRC*: elenca per nome le famiglie che contengono il materiale STR.BRC e ne restituisce il volume;

A	B	C	D	E
Famiglia	Classification.Uniclass.Ss.Description	Classification.Uniclass.Ss.Number	Materiale: Nome	Materiale: Volume
Pavimento	Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_BRC	20.03 m³
Tetto di base	Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_BRC	16.65 m³
Totale generale: 3				36.68 m³

FIG. 48 – Revit: abaco *Material Takeoff STR.BRC*

- *Zz\_03\_Material Takeoff STR.CNC*: elenca le famiglie che contengono il materiale STR.CNC e ne restituisce il volume del materiale;

A	B	C	D	E	F
Classification.Uniclass.EF.Description	Classification.Uniclass.EF.Number	Classification.Uniclass.Ss.Description	Classification.Uniclass.Ss.Number	Materiale: Nome	Materiale: Volume
				_STR_CNC	1.76 m³
Floors	EF_30_20	Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_CNC	5.01 m³
Roofs, floor and paving elements	EF_30_10	Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_CNC	4.16 m³
Ramps	EF_35_20	Ground bearing external ramp systems	Ss_35_10_25_34	_STR_CNC	0.00 m³
Internal stairs	EF_35_10_40	Internal stair systems	Ss_35_10_40_42	_STR_CNC	1.76 m³
Structural elements	EF_20	Reinforced concrete beam systems	Ss_20_20_75_70	_STR_CNC	9.09 m³
Structural elements	EF_20	Reinforced concrete column systems	Ss_20_30_75_70	_STR_CNC	2.65 m³
Floors	EF_30_20	Reinforced concrete deck systems	Ss_30_12_85_70	_STR_CNC	3.04 m³
Floors	EF_30_20	Reinforced concrete pad and strip foundation systems	Ss_20_05_15_70	_STR_CNC	25.74 m³
Wall and barrier elements	EF_25_10	Reinforced concrete wall structure systems	Ss_25_11_16_70	_STR_CNC	0.00 m³
Totale generale: 57					53.22 m³

FIG. 49 – Revit: abaco *Material Takeoff STR.CNC*

- *Zz\_04\_Material Takeoff Systems*: elenca i sistemi per nome e ne visualizza per ognuno la volumetria di tutti i materiali in esso utilizzati, ordinati per nome;

A	B	C	D
Classification.Uniclass.Ss.Description	Classification.Uniclass.Ss.Number	Materiale: Nome	Materiale: Volume
Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_FIN_PLS	3.33 m³
Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_BRC	36.68 m³
Beam and block floor systems	Ss_30_12_05	_STR_CNC	9.17 m³
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22	_FIN_ALM	0.22 m³
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22	_FIN_GLS	0.22 m³
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22	_FIN_WD	1.18 m³
Door assembly systems	Ss_25_30_20_22	_INS_XPS	0.03 m³
Floor tiling systems	Ss_30_42_32	_FIN_CNC	7.54 m³
Floor tiling systems	Ss_30_42_32	_FIN_CRM	3.01 m³
Floor tiling systems	Ss_30_42_32	_INS_XPS	5.68 m³
Floor tiling systems	Ss_30_42_32	_SUB_CNC	13.55 m³
Ground bearing external ramp systems	Ss_35_10_25_34	_STR_CNC	0.00 m³
Gypsum board wall lining systems	Ss_25_25_45_35	_FIN_PLS	0.00 m³
Gypsum board wall lining systems	Ss_25_25_45_35	_SUB_DRW	0.00 m³
Interlocking tile roofing systems	SS_30_40_95_40	_FIN_TL	5.59 m³
Interlocking tile roofing systems	SS_30_40_95_40	_INS_XPS	5.37 m³
Internal stair systems	Ss_35_10_40_42	_FIN_CRM	0.05 m³

FIG. 50 – Revit: estratto dell'abaco *Material Takeoff Systems*

A questo punto è possibile passare alla descrizione della parte dello script Dynamo che si occupa dell'esportazione di questi abachi. Anche qui, come per la fase di modifica dei tipi, le operazioni sono eseguite "in parallelo", cioè tutti gli abachi vengono esportati contemporaneamente. Oltre agli abachi vengono scritte nel file Excel anche le caratteristiche di ogni edificio scelte in fase di importazione. Il file Excel di destinazione è uno per ogni categoria ed è nominato con la sigla dell'archetipo seguita da

“*Material Takeoff*” (es. *SFH\_Material Takeoff*). In Tabella 30 viene mostrata l’associazione di ogni abaco al relativo foglio nel file Excel.

Tabella 30 - Associazione abachi in Revit e fogli in Excel

Abaco in Revit	Foglio in Excel
07_Room Schedule	Rooms
Zz_01_Material Takeoff	Takeoff-Volume
Zz_02_Material Takeoff STR.BRC	Takeoff-Volume-STR.BRC
Zz_03_Material Takeoff STR.CNC	Takeoff-Volume-STR.STL
Zz_04_Material Takeoff Systems	Takeoff-Systems

I nodi fondamentali in questo processo sono *Schedule.GetData* in FIG. 51 e *Data.ExportToExcel* in FIG. 52. Il primo riceve come input la vista relativa all’abaco interessato, importa in Dynamo i dati in esso scritti e restituisce una lista annidata delle righe e delle colonne sotto forma di stringhe. Il secondo nodo prende i dati precedenti, correttamente riorganizzati rispetto al primo nodo attraverso altre operazioni intermedie, collegati nell’input *data* e li scrive nel file Excel inserito come collegamento in *filePath*, nella scheda indicata in *sheetName*, partendo dalla cella che interseca i numeri di riga e colonna scritti in *startRow* e *startColumn*.

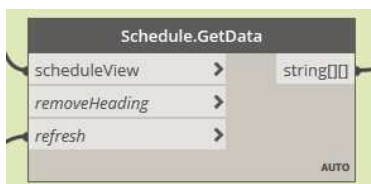


FIG. 51 - Dynamo: nodo *Schedule.GetData*



FIG. 52 - Dynamo: nodo *Data.ExportToExcel*

La fase di esportazione si conclude con il nodo *Passthrough* per proseguire con la fase di salvataggio del file. In quest’ultima fase Dynamo salva con nome il file sul quale ha eseguito tutte le precedenti operazioni e ricomincia il ciclo dall’inizio. Grazie a al nodo *Document.SaveAs* (FIG. 53) viene salvato singolarmente ogni modello, così da rendere possibile l’apertura di qualsivoglia file in futuro in caso di necessità.



FIG. 53 - Dynamo: nodo *Document.SaveAs*

### 3.5.5 L'elaborazione dei dati in Excel

Gli elementi costruttivi in Revit composti secondo una stratigrafia, come ad esempio muri e pavimenti, sono modellati per strati monomateriale affiancati l'uno all'altro. Questo è un problema per quegli strati composti come ad esempio il calcestruzzo armato, presente da solo nelle solette delle terrazze e nelle cappe dei solai in laterocemento, e lo strato in cui blocchi di laterizio e malta formano le murature. Per questo motivo i dati appena esportati da Revit non sono pronti per essere analizzati, ma necessitano di alcune modifiche al fine di ricavare la volumetria di quei materiali che sono presenti ma non sono effettivamente modellati. I materiali in esame sono STR.STL e STR.MRT che indicano rispettivamente l'acciaio di armatura e la malta.

L'approccio adottato per ricavare il computo di questi materiali si basa sul calcolo percentuale del loro volume rispetto al totale del volume dello strato del materiale a cui sono riferiti.

#### *Percentuale di malta*

Il volume della malta viene calcolato rispetto al volume del laterizio, ossia .STR.MRT su STR.BRC e SUB.BRC. Tuttavia va fatta un'ulteriore distinzione tra murature e solai in quanto hanno medesimo materiale con diverso sistema di assemblaggio in cantiere.

Per questo calcolo è necessario riprendere i pesi specifici di malta e laterizio dall'Abaco dei materiali, da cui si ricavano rispettivamente i valori di 19 kN/m<sup>3</sup> e 8 kN/m<sup>3</sup>. Consultando il sito del produttore dei mattoni forati utilizzati nella definizione degli archetipi degli edifici (Stabila 2022) si hanno le caratteristiche riportate in Tabella 31, per quanto riguarda i pesi della combinazione tra blocchi di laterizio e malta.

Tabella 31 - Caratteristiche blocchi forati in laterizio e malta

Numero di blocchi forati al m <sup>2</sup>	16,13
Massa di un blocco forato [kg]	9,80
Massa blocco forato e malta [kg/m <sup>2</sup> ]	197,78

Considerando 1 m<sup>2</sup> di muratura si ricava il peso di 1,55 kN di laterizio e 0,39 kN di malta. Al fine di ricavare la percentuale volumetrica si dividono questi valori per il rispettivo peso specifico ottenendo che in 1 m<sup>2</sup> di muratura sono presenti 0,19 m<sup>3</sup> di laterizio e 0,02 m<sup>3</sup> di malta. Da qui si ricava che il volume totale di STR.BRC e SUB.BRC esportato dall'abaco *Material Takeoff STR.BRC* in FIG. 48 è composto per il 90% da laterizio e per il 10% da malta.

#### *Percentuale di acciaio di armatura*

Ragionamento simile è stato effettuato per il calcolo del volume dell'acciaio di armatura (STR.STL) contenuto all'interno del calcestruzzo armato (STR.CNC). In questo caso però la percentuale di armatura può variare a seconda dell'elemento costruttivo preso in considerazione, per cui è necessario fare una distinzione del calcestruzzo contenuto in travi, pilastri, murature sotterranee, solai, scale e solette di

fondazione. Alcune percentuali sono state fornite direttamente da professionisti, ed opportunamente controllati, mentre altre sono state calcolate tramite la definizione del dettaglio costruttivo di riferimento.

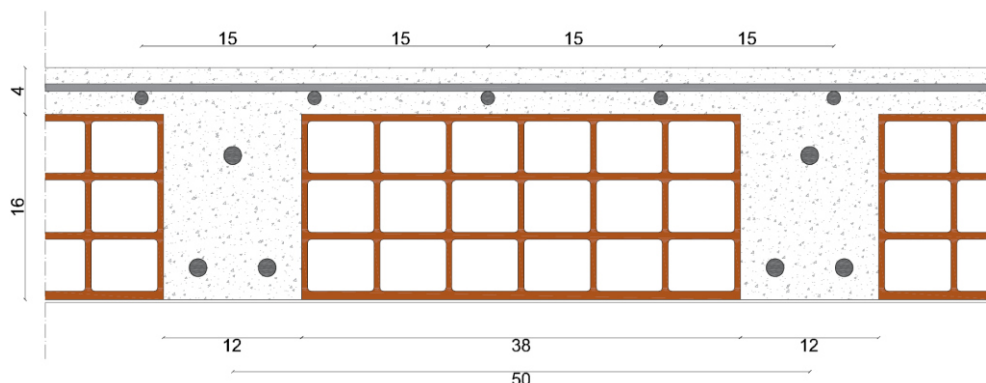


FIG. 54 - Dettaglio costruttivo solaio in laterocemento

Il primo calcolo viene effettuato sulla percentuale di armatura che costituisce la rete metallica elettrosaldata all'interno della cappa in calcestruzzo dei solai. Si considera un solaio di dimensioni 5 x 5 m con una cappa integrativa in calcestruzzo di spessore pari a 4 cm; la rete elettrosaldata contenuta nella cappa invece è organizzata in una maglia di 15 x 15 cm composta da ferri di armatura di diametro 6 mm (Studio Petrillo 2022b). Il volume occupato dall'armatura è pari a 0,0096 m<sup>3</sup> su un totale di 1 m<sup>3</sup>. Ciò significa che il totale del volume della cappa dei solai è composto per l'1% da acciaio e il 99% da calcestruzzo.

In secondo luogo viene calcolata la percentuale di acciaio che costituisce i ferri di armatura dei travetti strutturali di un solaio interposti tra una pignatta e l'altra. In questo caso si deve effettuare un doppio calcolo in quanto è prima necessario ricavare il volume percentuale dei travetti rispetto al volume totale e successivamente la percentuale volumetrica di acciaio all'interno del volume dei travetti. Si considera lo stesso dettaglio precedente di un solaio di dimensioni 5 x 5 m in cui i travetti sono disposti con interasse di 50 cm e aventi sezione pari a 16 cm in altezza e 12 cm in larghezza. Per ognuno di essi si utilizzano 3 ferri di armatura dal diametro di 8 mm la cui area netta è di 1,51 cm<sup>2</sup>. Il volume dei travetti risulta 0,96 m<sup>3</sup> sul totale di 4 m<sup>3</sup> pari al 24%. I ferri di armatura invece occupano 0,0045 m<sup>3</sup> pari all'1% del volume totale dello strato. In conclusione lo strato di pignatte e travetti dei solai è composto dal 75% di pignatte, dal 24% di calcestruzzo e dall'1% di acciaio di armatura.

In Tabella 32 si riportano tutte le percentuali volumetriche utilizzate. Nella colonna *materiale utilizzato* viene riportato il nome del materiale esportato da Revit dal quale è stato ricavato il volume del materiale indicato nella prima colonna.



Tabella 32 - Percentuali acciaio di armatura e malta negli elementi costruttivi

Materiali ricavato	Materiale iniziale	Elemento costruttivo	Percentuale	Fonte
STR.CNC	STR.BRC	Travetti nei solai in laterocemento	24 %	Dettaglio costruttivo
STR.MRT	STR.BRC SUB.BRC	Malta in murature interne ed esterne	10 %	(Stabila 2022)
STR.STL	STR.BRC	Armatura travetti solai	1 %	Dettaglio costruttivo
STR.STL	STR.CNC	Rete metallica solai	1 %	Dettaglio costruttivo
STR.STL	STR.CNC	Armatura murature sotterranee	2 %	Indicazione da professionista
STR.STL	STR.CNC	Armatura scale	2 %	Indicazione da professionista
STR.STL	STR.CNC	Armatura solette di fondazione, solai monolitici o terrazzi	1,5 %	Indicazione da professionista
STR.STL	STR.CNC	Armatura travi strutturali	2,5 %	Indicazione da professionista
STR.STL	STR.CNC	Armatura pilastri strutturali	2,5 %	Indicazione da professionista

I calcoli di STR.STL e STR.MRT con queste percentuali sono eseguiti in Excel nel file *Material Takeoff* per ogni categoria di archetipi: nelle schede *Takeoff-Volume-STR.STL* e *Takeoff-Volume-STR.MRT*, a fianco alle colonne dei valori esportati da Revit, sono state aggiunte alcune colonne in cui sono state implementate le formule per ricalcolare le nuove volumetrie dei materiali.

Al fine di riordinare questi nuovi valori sono state realizzate due nuove schede che riportano i valori definitivi dei volumi dei materiali: *Takeoff-Materials* che riporta i volumi totali dei materiali e *MaterialsXSystems* che riporta i volumi dei materiali suddivisi per sistema di appartenenza. Oltre a queste due schede sono fondamentali le schede *Edifici* e *Rooms*, le quali contengono rispettivamente la lista delle caratteristiche di variabilità di ogni edificio e il computo delle volumetrie utili e lorde dei locali.

### 3.5.6 La creazione dei modelli federati

La creazione di un file diverso per ogni edificio richiede l'apertura manuale di ognuno di essi per poterne visualizzare le caratteristiche, ed inoltre non si dispone di una visione d'insieme di tutti i modelli. per questo si è deciso di realizzare un modello federato. Revit infatti dispone della possibilità di poter importare più file all'interno di uno stesso progetto. Più precisamente non si tratta di *importazione*, ma di *collegamento*. Partendo da un nuovo file di Revit, infatti, grazie all'ausilio di un altro script Dynamo

appositamente realizzato, vengono collegati in esso tutti i mille file dei mille modelli. L'istanza di ogni collegamento viene creata in una posizione precisa in modo che gli edifici non si sovrappongano tra loro e siano ordinati. Come si può notare in FIG. 55 i mille modelli della *Single Family House* sono posizionati uno affianco all'altro, così da poterne avere una visione d'insieme. In FIG. 56 è riportato un ingrandimento a colori della vista generale, così da apprezzarne meglio la variabilità tra i diversi modelli.

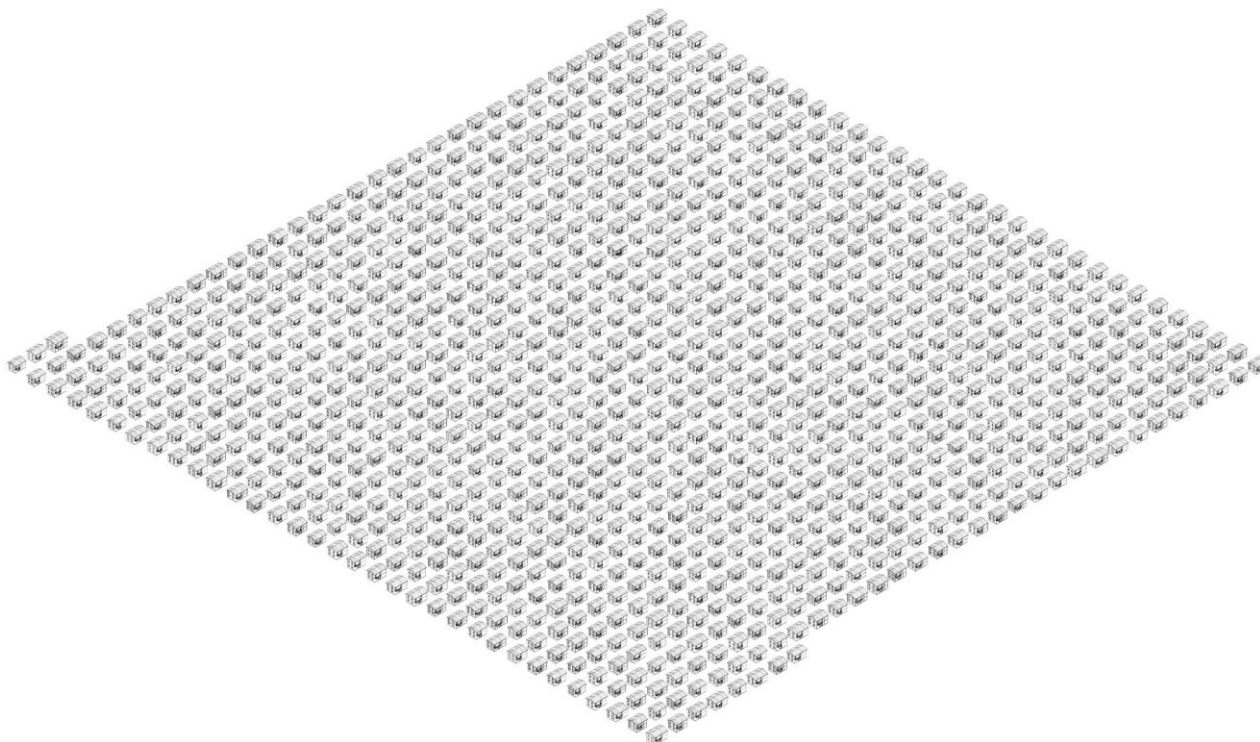


FIG. 55 - Federato modelli *Single Family House*



FIG. 56 - Ingrandimento federato modelli *Single Family House*

## 4. Risultati

### 4.1 I dataset

La creazione dei mille modelli attraverso il metodo Monte Carlo e l'esportazione del computo dei materiali da ognuno di essi ha permesso il raggiungimento dello scopo iniziale: la creazione di un dataset che rispecchiasse la situazione edilizia residenziale italiana.

Per ogni archetipo residenziale sono stati prodotti 4 diversi database:

- *Computo edifici*, in cui sono presenti le caratteristiche dimensionali e costruttive di variabilità di ogni edificio;
- *Computo locali*, in cui sono riportate le volumetrie utili di ogni locale degli edifici e i totali utili e lordi relativi sia all'edificio nel complesso che alle singole abitazioni. La colonna evidenziata indica che quel locale non è considerato nel calcolo delle volumetrie utili;
- *Computo materiali*, in cui sono riportate le volumetrie di ogni materiale presente in ogni edificio, e il totale di materiale utilizzato sia per edificio che per abitazione;
- *Computo materialiXsistemi*, in cui la volumetria di ogni materiale è divisa per sistema di appartenenza in ogni edificio, sono calcolati anche i totali per sistema, per materiale, per edificio e per abitazione.

Questi dataset sono riportati nella loro completezza in Allegato A, di seguito vengono riportati solamente degli estratti per la categoria *Single Family House* a fine esemplificativo.

Numero edificio	Altezza abitazione	Lunghezza edificio	Larghezza edificio	MURI ESTERNI		MURI INTERNI		PAVIMENTO CONTROTERRA		SOLAI DI PIANO		TERRAZZO		COPERTURA		SERRAMENTI		Dimensione locale [mq]
				[m]	[m]	STR	AR	STR	AR	STR	AR	STR	AR	STR	AR	STR	AR	
1	2,4	6,3	10	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	140x160	
2	2,5	7,6	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
3	2,6	7	11,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
4	2,8	8,4	10,6	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
5	2,9	9,2	11,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
6	2,9	8,2	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
7	2,9	8,2	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
8	2,9	8,2	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
9	2,9	8,2	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
10	2,7	9	12	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
11	2,4	7,8	10,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
12	3	8,6	10,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
13	2,4	8,6	10,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
14	2,5	8,6	10,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
15	2,6	8,6	10,6	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
16	2,4	8,6	11,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
17	2,7	8,4	11,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
18	3	7,8	10,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
19	3	7,4	11	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
20	2,3	7,2	10,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
21	2,7	7,2	11,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
22	2,4	10,2	11,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
23	2,7	7,8	11,6	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
24	2,7	7,2	11,4	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	
25	2,6	8,6	10,2	WLL.EXT.1.PLS.BRC.XPS.PLS	WLL.INT.4.PLS.DRW.PLS	FLR.STR.1.CNC	FLR.ARC.1.XPS.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.BRC.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	FLR.STR.1.PLS.CNC	FLR.ARC.1.CNC.CNC.CRM	ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC	ROF.ARC.1.XPS.TL	WD	170x160	

FIG. 57 - Database SFH - Computo edifici

Numero edificio	Antenna		Attic		Bathroom		Bedroom		Corridor		Garage		Kitchen		Living room		Master bedroom		Single bedroom		Storage room		Superficie utile		Volume utile		Volume v.p.		Superficie utile / abitazioni		Volume utile / abitazioni		Volume v.p. / abitazioni	
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]		
min	5,24	6,49	32,52	22,98	14,69	32,23	2,26	3,74	9,33	22,22	12,22	32,22	9,22	22,22	22,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	32,22	
max	3,79	10,29	42,98	36,76	19,26	37,79	2,12	4,49	10,89	23,36	16,68	36,42	11,22	33,63	34,77	34,33	22,13	36,38	20,68	36,25	3,79	11,29	13,42	49,25	49,25	11,29	49,25	49,25	11,29	49,25	49,25	11,29	49,25	

FIG. 58 - Database SFH - Computo locali

Numero edificio	FIN_ALM		FIN_CNC		FIN_CRM		FIN_DFW		FIN_GLS		FIN_JRN		FIN_PLS		FIN_PVC		FIN_TL		FIN_JNS_MWL		FIN_JNS_WFB		STR_BRC		STR_CNC		STR_MRT		STR_STL		STR_WD		SUB_BRC		SUB_CNC		SUB_DFW		SUB_GRP		TOTALE		TOTALE / abitazioni	
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]			
min	0,22	0,54	2,34	0	0,52	0	10,08	0	4,24	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,21	37,11	30,33	3,95	0,52	0	0	0	0	0	0	0	10,91	4,48	0	0	174,26	174,26	0	0	174,26	174,26			
max	0,22	0,52	1,77	0	0,58	0	16,37	0	6,74	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31,60	19,24	100,46	7,37	10,28	1,12	0	0	0	0	0	0	0	26,21	16,63	0	9,18	326,08	326,08	0	0	326,08	326,08		

FIG. 59 - Database SFH - Computo materiali

Numero edificio	Materiali		Beam and block floor systems		Door assembly systems		Floor ceiling systems		General framing external systems		Gypsum board wall lining systems		Interlocking tile roofing systems		Internal steel systems		Internal masonry systems		Masonry wall roof systems		Masonry wall systems		Reinforced concrete beam systems		Reinforced concrete systems		Reinforced concrete deck systems		Reinforced concrete pad and roof concrete systems		Reinforced concrete wall systems		Window systems		Totale manodopera / abitazioni		Totale materiale / abitazioni		
	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
max	30,43	1,68	24,14	0	3,76	3,89	3,48	11,56	3,39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIG. 60 - Database SFH - Computo materialiXsistemi

## 4.2 Volumetrie degli archetipi

Dal database delle volumetrie dei locali sono state effettuate, per ogni archetipo, delle analisi finali per verificare l'applicazione del metodo Monte Carlo. Si ricorda che con questo metodo si prendono dei valori semi-casualmente da un insieme di input e vengono generati dei risultati che dovrebbero essere quanto più attinenti al valor medio atteso quanto più è alto il numero di iterazioni.

Tabella 33 - Verifica del metodo Monte Carlo sui valori medi attesi

Categoria		Dati ISTAT	Modello medio	Media 1000 modelli	Differenza % ISTAT	Differenza % modello medio
SFH	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	122,55	123,59	124,66	1,72	0,87
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	330,90	332,31	334,65	1,13	0,70
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	628,20	608,30	615,30	-2,05	1,15
SDH	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	102,72	103,92	105,09	2,31	1,13
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	277,35	280,77	284,92	2,73	1,48
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	526,54	531,40	539,81	2,52	1,58
MRB	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	77,03	77,41	76,01	-1,32	- 1,81
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	207,97	210,13	205,01	-1,42	- 2,44
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	394,82	462,52	458,08	16,02	- 0,96
LRBv	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	68,37	67,92	66,81	-2,28	- 1,64
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	184,60	184,07	180,77	-2,07	- 1,79
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	350,46	329,91	328,88	-6,16	- 0,31
LRBo	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	68,37	68,38	65,46	-4,26	- 4,27
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	184,60	185,73	177,35	-3,93	- 4,51
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	350,46	360,94	350,41	-0,01	- 2,92

I valori dei volumi medi attesi sono riportati dalla Tabella 28. Si ricorda che fanno riferimento alla volumetria media calcolata dai dati ricavati dall'ISTAT e alla volumetria ricavata dal modello medio di partenza per la generazione dei 1000 modelli. In Tabella 33 viene quindi proposto un confronto tra questi due dati e la media aritmetica calcolata delle volumetrie ricavate da ognuno dei 1000 modelli per ogni categoria.

I grafici seguenti in FIG. 61, FIG. 62, FIG. 63 riportano una rappresentazione con diagrammi a baffi della superficie utile, del volume utile e del volume lordo di ogni archetipo in laterocemento.

I grafici riportati invece in FIG. 64, FIG. 65, FIG. 66 propongono un confronto con diagrammi a barre tra le volumetrie medie ricavate dall'ISTAT (prima barra) e dal modello medio (seconda barra) e le volumetrie medie calcolate sui mille modelli (terza barra) per ogni archetipo. Tutti e sei i grafici sono stati realizzati importando come input le volumetrie ricavate dai database *computo locali*.

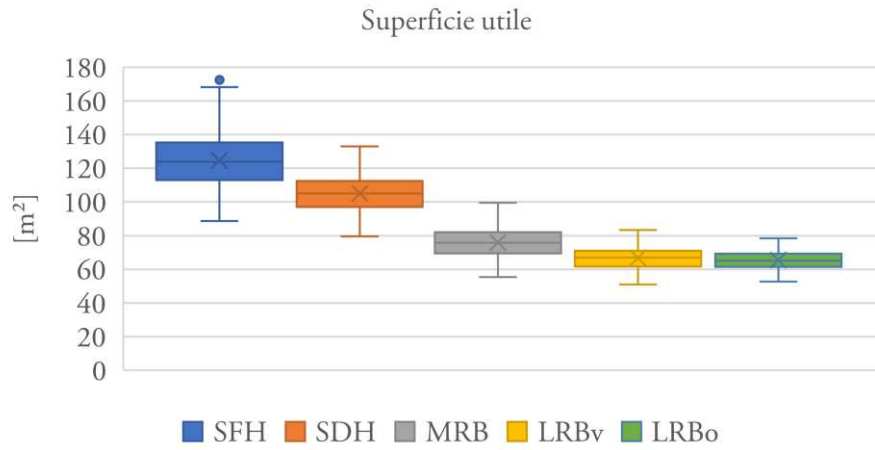


FIG. 61 - Diagramma a baffi della superficie utile media dei mille modelli per ogni archetipo

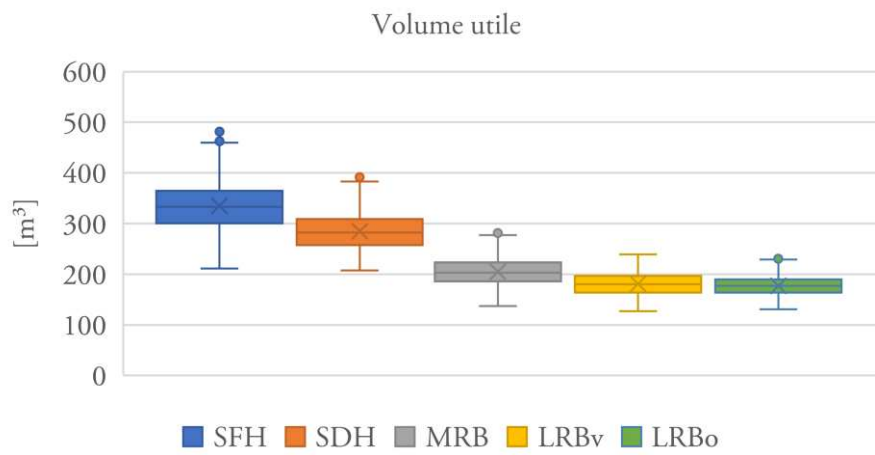


FIG. 62 - Diagramma a baffi del volume utile medio dei mille modelli per ogni archetipo

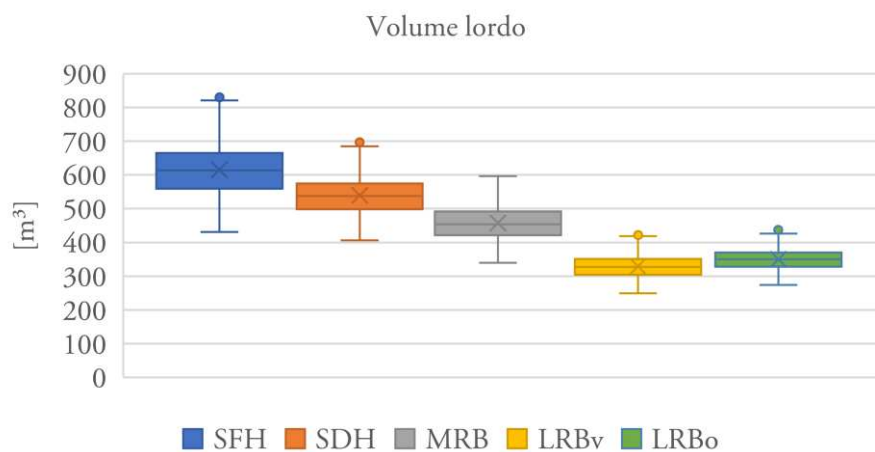


FIG. 63 - Diagramma a baffi del volume lordo medio dei mille modelli per ogni archetipo

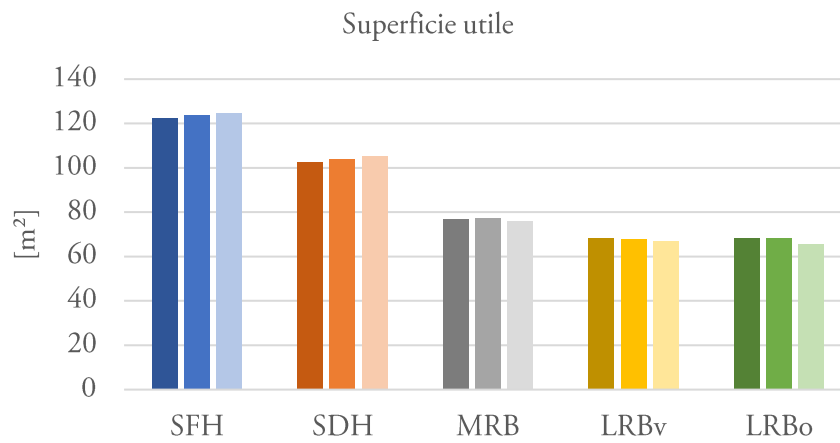


FIG. 64 - Diagramma a barre di confronto tra le superfici utili ricavate dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo

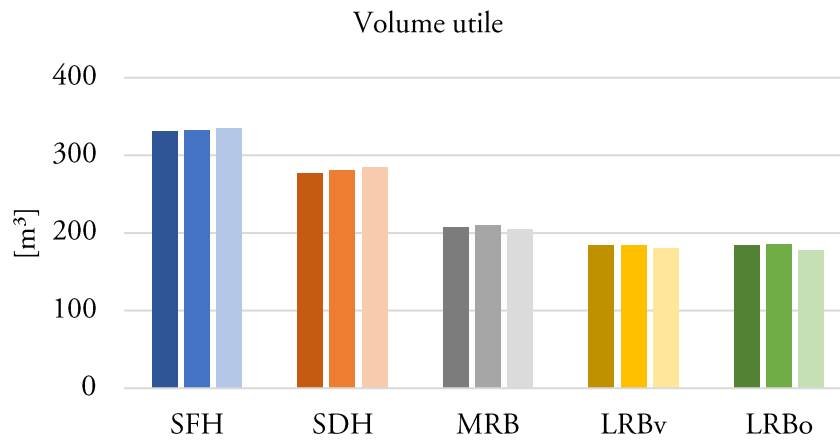


FIG. 65 - Diagramma a barre di confronto tra i volumi utili ricavati dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo

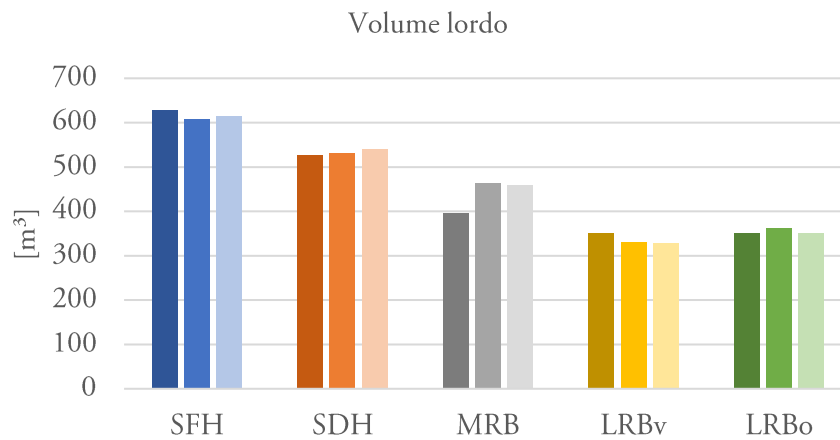


FIG. 66 - Diagramma a barre di confronto tra i volumi lordi ricavati dall'ISTAT, dal modello medio e dai mille modelli per ogni archetipo

### 4.3 Calcestruzzo, laterizio e legno

In questo capitolo vengono riportati i risultati di due analisi sulle volumetrie dei tre principali materiali da costruzione utilizzati in questa ricerca: calcestruzzo, laterizio e legno.

La prima analisi riporta la distribuzione del volume dei tre materiali in relazione alla volumetria delle abitazioni del modello corrispondente. I dati sono rappresentati in tre grafici a dispersione, ognuno dei quali fa riferimento ad uno dei tre materiali sopracitati. Vengono inoltre rappresentate le linee di regressione lineare per ogni archetipo e il dato relativo al modello medio di partenza (vedi Tabella 33). Le volumetrie dei materiali riportate in questi grafici tengono conto di tutte le funzioni costruttive per le quali esso è stato utilizzato. Il volume del calcestruzzo, quindi, è dato dalla somma di FIN.CNC, SUB.CNC e STR.CNC; quello del laterizio è dato da SUB.BRC e STR.BRC ed infine quello del legno dalla somma di FIN.WD e STR.WD.

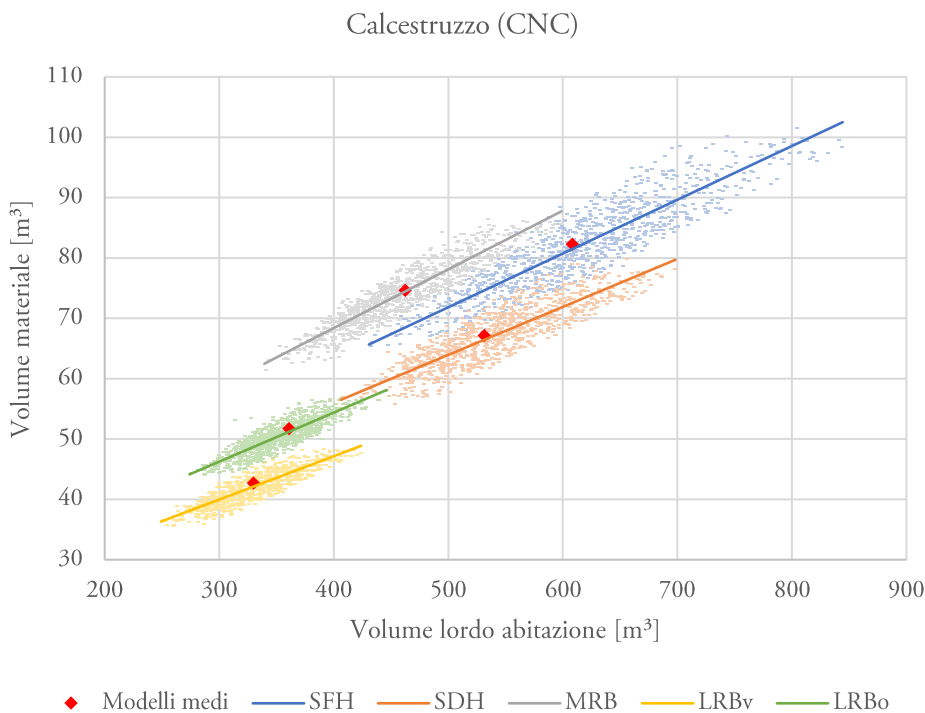


FIG. 67 - Grafico a dispersione del volume del calcestruzzo di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente



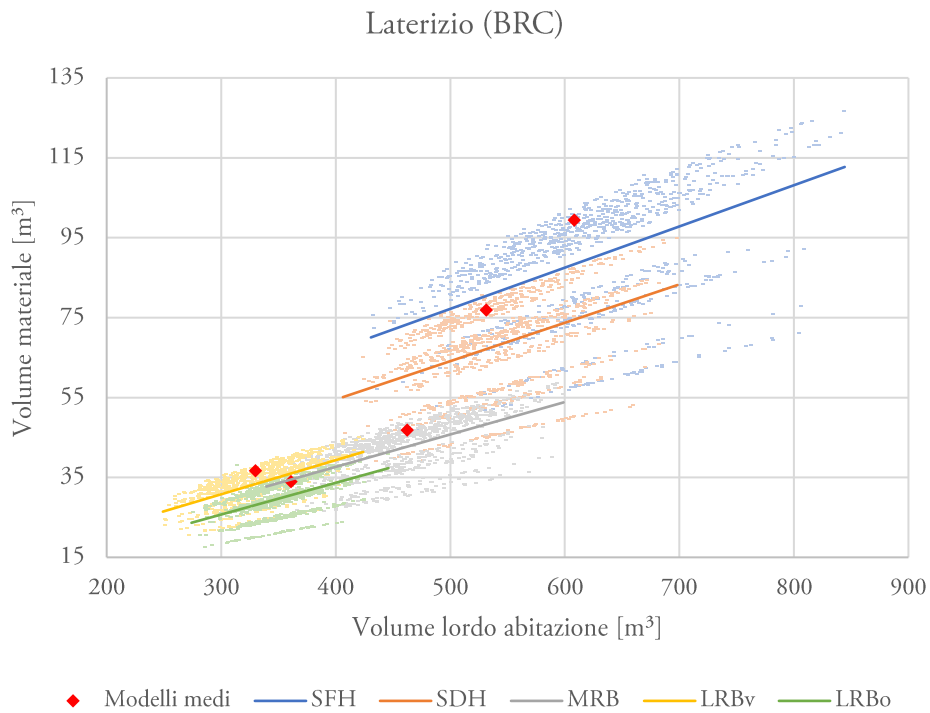


FIG. 68 - Grafico a dispersione del volume del laterizio di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente

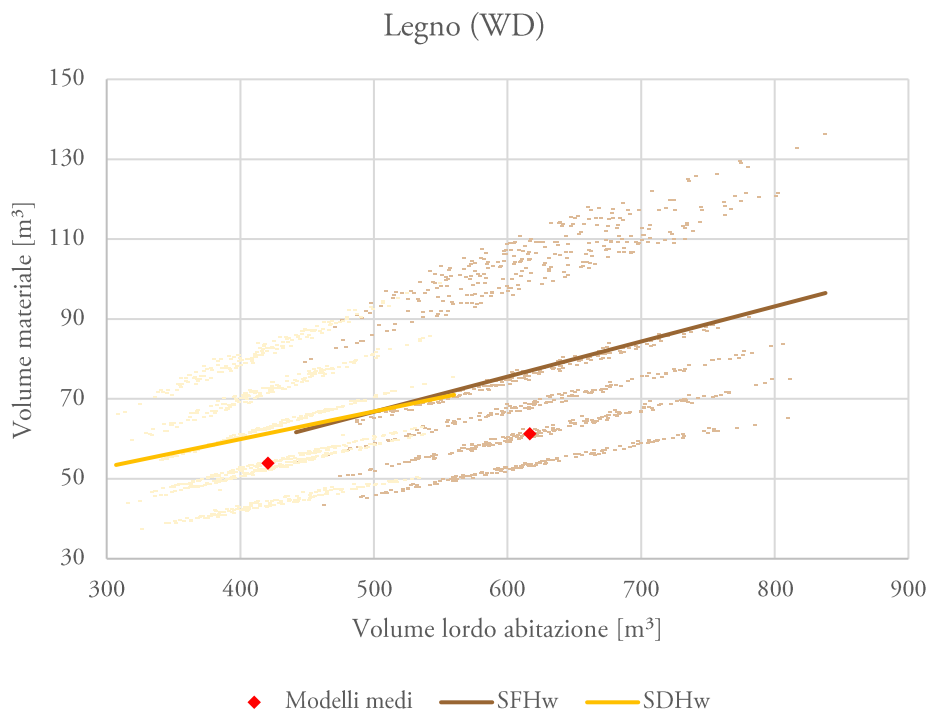


FIG. 69 - Grafico a dispersione del volume del legno di ogni archetipo rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente

La seconda analisi viene eseguita sulla volumetria dei tre materiali da costruzione considerati, all'interno di ogni modello in riferimento al singolo archetipo. Nei grafici a dispersione sotto riportati vengono messe a confronto le volumetrie di calcestruzzo, laterizio e legno ricavate da ogni modello per gli archetipi in laterocemento e legno di *Single Family House* (SFH e SFHw) e *Semi Detached House* (SDH e SDHw). Anche qui vengono riportate le linee di regressione lineare per ogni materiale e il dato relativo al modello medio di partenza. Come nel caso precedente il volume dei materiali tiene conto di tutte le funzioni costruttive per le quali esso è stato utilizzato.

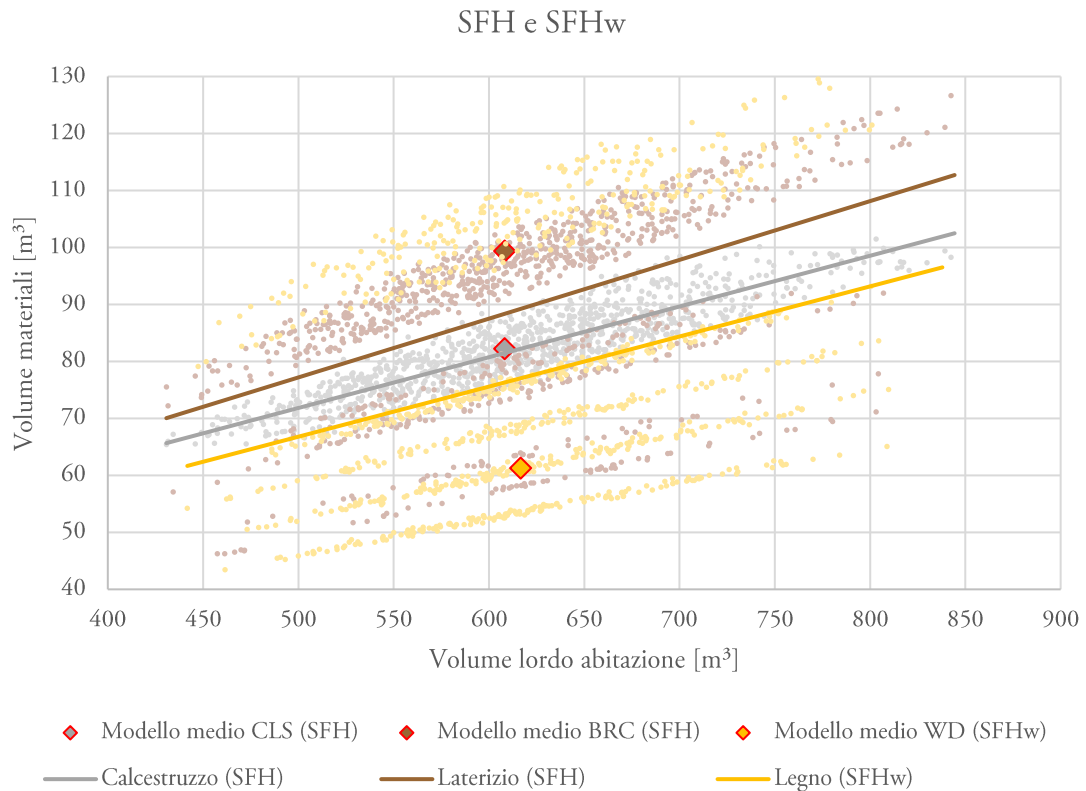


FIG. 70 - Grafico a dispersione delle volumetrie di calcestruzzo e laterizio nei modelli di SFH e legno nei modelli di SFHw rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente

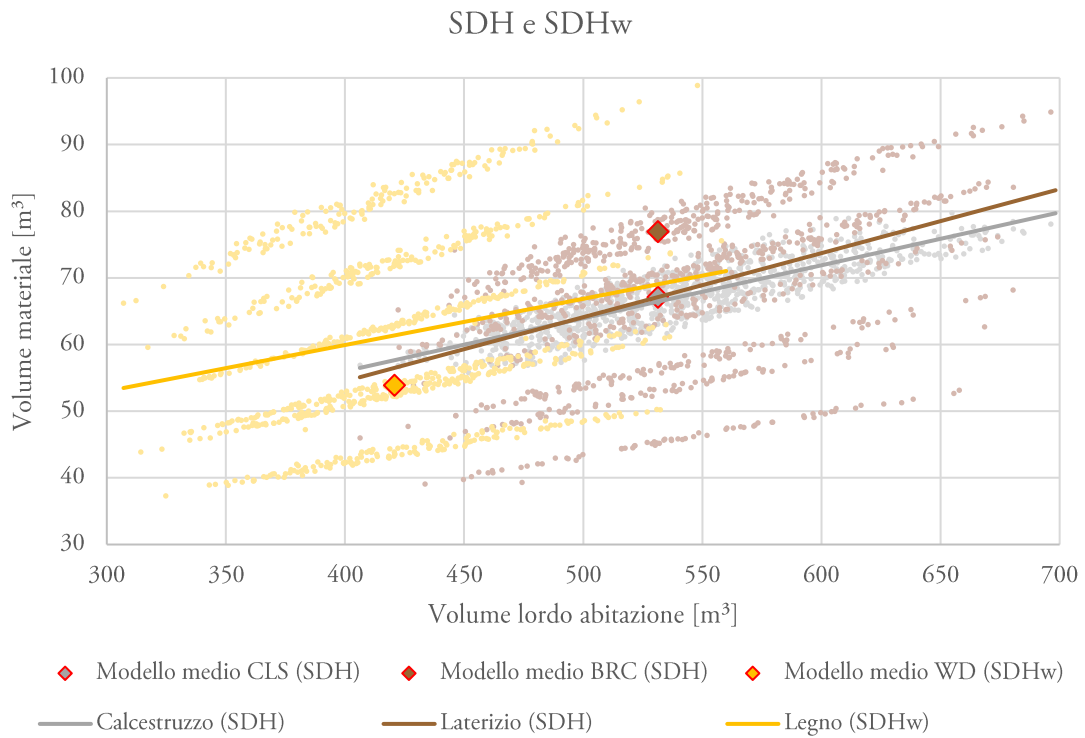


FIG. 71 - Grafico a dispersione delle volumetrie di calcestruzzo e laterizio nei modelli di SDH e legno nei modelli di SDHw rispetto al volume lordo delle abitazioni del singolo modello corrispondente



## 5. Discussione

I dataset ricavati in questo studio, consultabili in allegato e in forma completa nei files digitali, contengono le informazioni inizialmente ricercate e suddivise in maniera dettagliata per ogni edificio. Per ognuno di essi, inoltre, le volumetrie dei materiali sono categorizzate in base al sistema dell'elemento costruttivo di appartenenza, aumentandone il livello di dettaglio. I dati sono organizzati in modo tale che la prima colonna riporti il numero dell'edificio a cui fanno riferimento così da associare il relativo file Revit, coerentemente nominato, per un'eventuale apertura dello stesso in caso di necessità di ulteriori approfondimenti successivi.

### 5.1 Archetipi in laterocemento

È doveroso fare una distinzione tra gli archetipi in laterocemento e quelli in legno. I dati ricavati dall'ISTAT infatti fanno riferimento solo agli edifici del primo caso, mentre i secondi sono stati realizzati sulla base dei primi. Per questo i grafici riportati nel capitolo dei risultati fanno riferimento solamente alle categorie *SFH*, *SDH*, *MRB*, *LRBv* e *LRBo*.

Dai diagrammi a baffi si nota bene la proporzionalità inversa tra la volumetria della singola abitazione e il numero di abitazioni per edificio: più il complesso è grande, e quindi più abitazioni ospita e più bassa è la volumetria dedicata ad ognuna di esse. Si potrebbe concludere che negli edifici di questo tipo è necessario dedicare parte dello spazio agli ambienti comuni, quali vani scala, ascensori, corridoi e vani tecnici, che non vengono computati nel calcolo della volumetria abitativa utile, calcolo che invece è compreso nel caso delle abitazioni singola e bifamiliare in quanto i locali sopracitati sono all'interno della singola abitazione. Tuttavia, come si nota dai diagrammi del volume lordo, dove questo calcolo è compreso in tutti gli archetipi, la proporzionalità rimane invariata.

Analizzando i diagrammi a barre invece, i valori calcolati dopo aver realizzato i modelli differiscono dai valori attesi di riferimento di una percentuale trascurabile, tranne nel caso del volume lordo per la categoria *MRB*, la cui questione è già stata affrontata al capitolo 3.4.2.3. Grazie all'utilizzo del metodo Monte Carlo è stato dunque possibile realizzare una rappresentazione affidabile dell'edilizia residenziale italiana partendo da un modello medio basato sui dati ricavati dalle statistiche dell'ISTAT e senza dover ricavare empiricamente le caratteristiche di ogni singolo edificio esistente, operazione tendenzialmente troppo complessa per essere attuata.

## 5.2 Confronto tra le volumetrie degli archetipi in laterocemento e in legno

Ulteriori considerazioni possono essere fatte sulla differenza tra la tecnologia costruttiva in laterocemento e quella in legno. Come già detto nel metodo, per gli archetipi delle abitazioni in legno non si disponevano di dati sulle volumetrie, per cui si è deciso di partire dai corrispondenti archetipi in laterocemento per la definizione dei modelli *Single Family House wood* e *Semi Detached House wood*. Nel primo caso sono state lasciate invariate tutte le dimensioni andando semplicemente a sostituire gli elementi costruttivi per adattarli alla tecnologia costruttiva in legno. Nel secondo caso invece l'altezza del secondo piano è stata abbassata in modo tale che fosse l'altezza media a risultare pari a quella di interpiano della categoria corrispondente in laterocemento, e non l'altezza minima, come invece succede per la casa monofamiliare.

Tabella 34 - Confronto tra le volumetrie medie degli archetipi in legno con le corrispondenti in laterocemento

Categoria		Media archetipo corrispondente in laterocemento	Media aritmetica	Differenza %
SFHw	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	124,66	125,58	0,73
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	334,65	403,90	20,69
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	615,30	622,39	1,15
SDHw	<i>Superficie utile [m<sup>2</sup>]</i>	105,09	109,88	4,56
	<i>Volume utile [m<sup>3</sup>]</i>	284,92	337,52	18,46
	<i>Volume v/p [m<sup>3</sup>]</i>	539,81	423,16	- 21,61

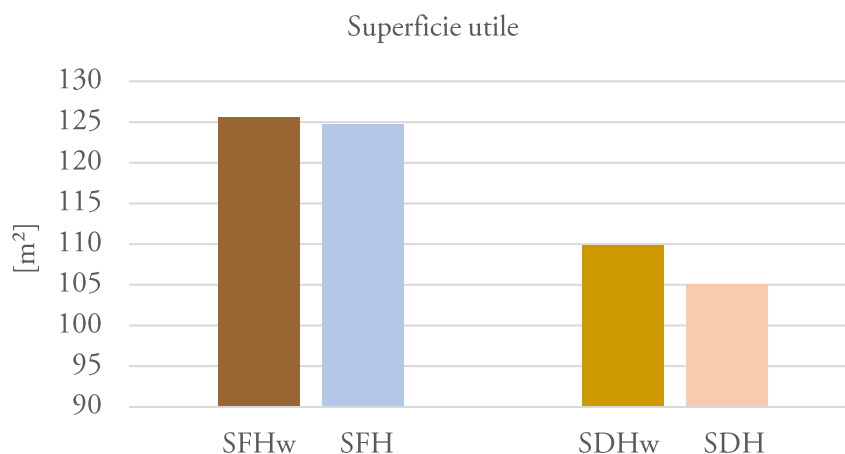


FIG. 72 - Confronto superficie utile tra archetipi in legno e in laterocemento

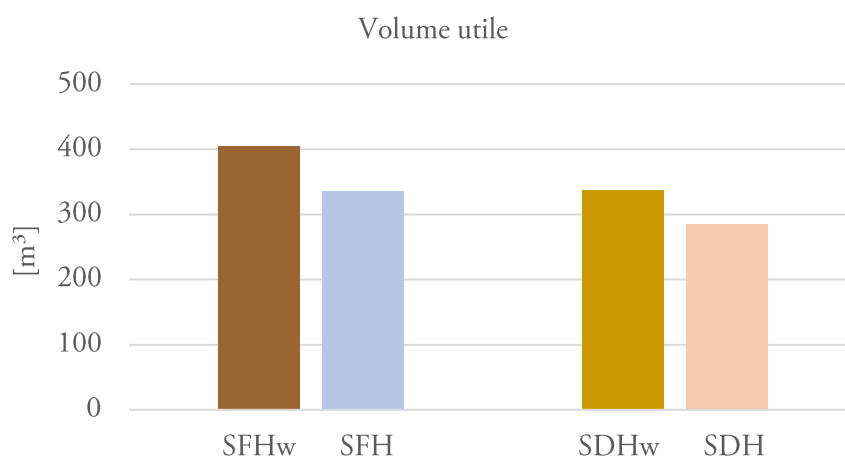


FIG. 73 - Confronto volume utile tra archetipi in legno e in laterocemento

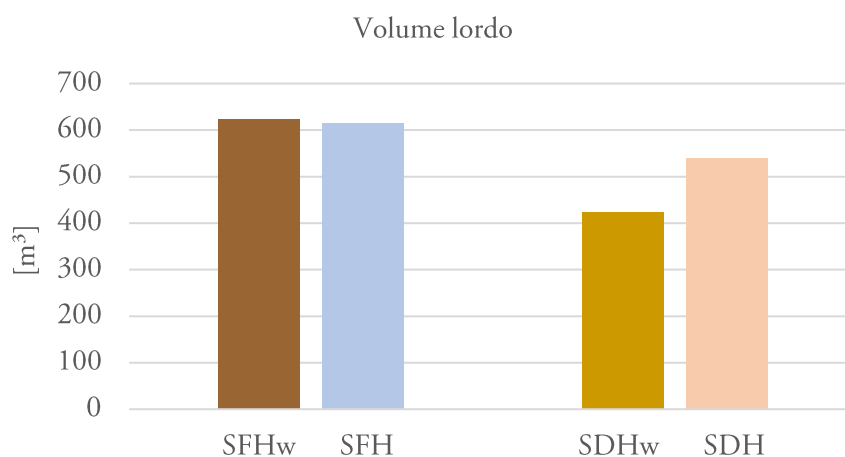


FIG. 74 - Confronto volume lordo tra archetipi in legno e in laterocemento

Dai dati sopra riportati si possono trarre interessanti conclusioni. Sia nella casa singola che in quella bifamiliare ovviamente la superficie utile rimane pressoché la medesima in quanto non ci sono state sostanziali modifiche nelle dimensioni in pianta. Quello che è interessante notare è che i volumi, sia utile che lordo, subiscono importanti variazioni.

Per quanto riguarda il volume utile entrambe le categorie vedono un aumento circa del 20%. Questo è dovuto al fatto che nei modelli in laterocemento è presente il locale *Attic*, ossia quello spazio non calcolato nelle volumetrie utili compreso tra il solaio di copertura del secondo piano e il tetto. Nei modelli in legno invece questo locale non è presente essendo la copertura con travi strutturali lignee a vista.

Inoltre nella casa monofamiliare il volume lordo rimane quasi invariato mentre nella casa bifamiliare subisce una diminuzione di circa il 20%. Nel primo caso, come descritto al capitolo 3.4.1.2, non sono state variare le dimensioni geometriche del modello in legno rispetto a quello in laterocemento, per cui il volume lordo, il quale anche nella casa in laterocemento stavolta comprende il calcolo del locale *Attic*,

non subisce importanti variazioni. Nella casa bifamiliare invece (3.4.1.4) la differenza è dovuta proprio al fatto che è stata variata l'altezza del secondo piano. Così facendo l'altezza interpiano considerata nel modello in laterocemento non fa più riferimento all'altezza minima del modello in legno, come succede nella casa singola, ma si riferisce all'altezza media, portando ad una diminuzione del volume lordo totale.

### 5.3 La distribuzione dei materiali da costruzione negli archetipi

I principali materiali da costruzione utilizzati nella definizione dei modelli sono calcestruzzo e laterizio negli archetipi in laterocemento e ovviamente legno negli archetipi in legno.

Osservando i grafici riportati in FIG. 67, FIG. 68 e FIG. 69 si può notare la distribuzione dei tre materiali in ogni archetipo di appartenenza. Sia negli edifici in laterocemento che in quelli in legno il volume di tutti e tre i materiali risulta direttamente proporzionale al volume della singola abitazione. Riprendendo la discussione del capitolo 5.1, anche qui si osserva che all'aumentare del numero di abitazioni, per ogni categoria, diminuisce il volume delle stesse e di conseguenza quello dei materiali presi in considerazione. Questo ragionamento, tuttavia, non è coerente con i dati relativi all'archetipo *Medium Residential Building*: come già evidenziato in Tabella 28 si potrebbe imputare questa incongruenza alla progettazione degli spazi comuni. Un altro fattore che sicuramente influenza la quantità di calcestruzzo, a differenza delle categorie di casa monofamiliare e bifamiliare, dove manca, è la presenza del piano interrato, dedicato ai garage: la tecnologia costruttiva di questo ambiente, infatti, presenta pareti e orizzontamenti interamente in calcestruzzo armato. Si nota inoltre un'importante differenza nella distribuzione dei dati attorno alla retta di regressione lineare: il calcestruzzo è omogeneamente distribuito attorno ad essa, così come il modello medio che le appare molto vicino; nel caso del laterizio, e ancor più accentuato nel legno, se si guarda la distribuzione delle volumetrie nel suo complesso essa risulta disomogenea rispetto alla linea di regressione, ma organizzata secondo aree omogenee tra loro. La peculiarità di questi due materiali si riscontra nella scelte di diverse tecnologie costruttive tra i modelli. Il laterizio infatti vede questa variazione nella scelta della stratigrafia muraria, con o senza rifodera, e nel suo utilizzo o meno per la costituzione delle murature divisorie interne (in alternativa al cartongesso). Simile ragionamento viene fatto per le stratigrafie delle pareti strutturali e non strutturali degli edifici in legno, ovviamente in riferimento al volume degli archetipi realizzati con questa tecnologia costruttiva. Per la lista completa delle tecnologie costruttive consultare l'abaco 8.3 in appendice.

Nei grafici in FIG. 70 e FIG. 71 questa distribuzione è direttamente confrontabile tra i tre materiali. Preso in considerazione un singolo archetipo, infatti, si nota come il volume del legno sia quello meno omogeneamente distribuito rispetto alla propria linea di regressione, in contrapposizione al calcestruzzo, molto più conforme ad essa. Si nota inoltre come, per le case monofamiliari, a parità di volume sia necessario un minor utilizzo medio di materiale per la tecnologia in legno contro una maggiore necessità media per il laterizio. Distribuzione media che risulta invece più omogenea nel caso degli edifici bifamiliari.



## 5.4 II BIM

Questa tesi si è focalizzata sulla digitalizzazione attraverso modelli BIM del progetto nel suo complesso, al fine di creare un processo quanto più automatizzato possibile per la redazione dei database ottenuti. Questo metodo ha sicuramente grandi vantaggi, ma vengono qui discussi anche gli svantaggi.

Uno degli scopi alla base del progetto è quello di rendere i database utilizzabili anche a livello internazionale, ossia che possano essere confrontati con quelli di altre nazioni. L'utilizzo del metodo di classificazione Uniclass è stato fondamentale al raggiungimento di questo obiettivo. Il sistema inglese NBS è molto dettagliato e ha permesso una precisa classificazione di ogni elemento utilizzato nella costruzione dei modelli. La differenza tra le tradizioni edilizie italiana e inglese ha tuttavia creato qualche problematica nella scelta della corretta categoria di alcune tecnologie costruttive. Non sempre, infatti, è stato immediato il riconoscimento della categoria appropriata: alcune volte sono state necessarie brevi ricerche esterne per determinare la corrispondente inglese. Questa differenza si è trovata solamente in ambito di terminologia tecnica e non nella costituzione della tecnologia costruttiva vera e propria.

Un altro obiettivo è quello di riuscire a veicolare più informazioni utilizzando lo stesso strumento. In questo senso il BIM è stato fondamentale. Grazie alla tecnologia del *Building Information Modeling* infatti è stato possibile raggruppare all'interno del modello medio di partenza tutte le informazioni e le caratteristiche di ogni singolo elemento costruttivo e, senza perdite di dati, far sì che venissero riportate anche in ogni modello successivamente generato. La possibilità di poter inserire la classificazione Uniclass all'interno dei modelli ha permesso un numero di analisi molto più elevato migliorandone anche la loro accuratezza.

Il BIM, in particolare attraverso i software Revit e Dynamo, è stato imprescindibile per l'implementazione della variabilità degli elementi costruttivi e del metodo Monte Carlo. La possibilità di una modellazione parametrica e vincolata offerta da Revit ha permesso la creazione di un modello di partenza in cui si potessero variare gli elementi costruttivi e le dimensioni senza far sì che si generassero errori architettonici. L'integrazione di Dynamo come software di programmazione visuale ha semplificato la creazione dello script per l'implementazione del metodo Monte Carlo, senza richiedere necessaria la conoscenza della sintassi di alcun linguaggio informatico, come ad esempio Python, quello utilizzato proprio da Dynamo. L'accuratezza e la completezza della modellazione garantita da Revit, a differenza di algoritmi di tipo Testfit, tuttavia, richiede un costo elevato in termini computazionali. Questo metodo infatti non è propriamente adatto per essere sviluppato in un software che può raggiungere livelli di dettaglio molto alti in quanto la richiesta verso il computer di una quantità di calcoli ingente porta ad un rallentamento del processo e in rari casi alla sua interruzione. Di conseguenza, lo script è realizzato in modo tale che venga salvato ogni singolo modello dopo il suo completamento, per cui, anche in caso di errori irreversibili è sufficiente riavviare il processo dall'ultimo modello generato per continuare lo svolgimento.

Potenzialmente il processo potrebbe essere avviato e fatto continuare all'infinito, tuttavia gli eventuali problemi che possono generarsi richiedono un'interazione dell'utente e l'elevata quantità di calcoli richiesta non risulta essere vantaggiosa in termini di tempistiche. Il sistema ottenuto tende a simulare il caso reale, pertanto l'orizzonte operativo è dato dall'analisi di modelli ottenuti dai processi conosciuti come *e-permitting* di autorizzazione digitale dei permessi amministrativi agli interventi di costruzione mediante processi BIM (Noardo et al. 2022).

Un altro limite imputabile al metodo BIM è riscontrabile nella modellazione degli elementi costruttivi. Revit infatti basa la costruzione degli elementi stratificati sulla successione in spessore di strati, rendendo difficile il computo di strati compositi come il mattone e la malta, lo strato latero-cementizio dei solai e il ferro d'armatura all'interno degli elementi in calcestruzzo armato. La soluzione proposta dal software è quella di modellare famiglie di elementi compositi e inserirli nella posizione adatta, come ad esempio le pignatte dei solai o le barre di armatura. Questo tuttavia appesantisce notevolmente i files andando a rallentare ulteriormente la generazione automatizzata dei modelli. La soluzione utilizzata in questa ricerca si basa sull'esportazione delle volumetrie dei materiali ricavate dai modelli e il loro ricalcolo attraverso un modulo esterno in foglio di calcolo. Nonostante le informazioni non fossero inserite nei modelli BIM, tuttavia, in questa ricerca, questo metodo è stato valutato come il più efficiente per la produzione dei database richiesti.

## **5.5 La reale rappresentatività dei dati**

Dal punto di vista statistico e matematico l'utilizzo del metodo Monte Carlo si è rivelato il più consono. L'infinita variabilità presente nell'edilizia rende impossibile l'analisi di ogni singolo caso, per questo era necessario trovare un metodo che potesse omogeneizzare lo studio mantenendolo affidabile. Il metodo Monte Carlo risolve questa problematica essendo il più adatto a produrre risultati che si avvicinano ai valori desiderati anche senza considerare la completezza del sistema. La scelta semi-casuale dei valori di input garantisce una distribuzione omogenea dei modelli nell'insieme di tutti i possibili casi. All'aumentare del numero di iterazioni i risultati diventano più aderenti alla realtà. Tuttavia, come già spiegato nel capitolo precedente è difficile ripetere il processo per decine di migliaia di volte e per questo si è deciso di produrre mille iterazioni per ogni archetipo (7000 edifici in totale). In Tabella 35 viene riportato un confronto tra il numero totale dei fabbricati, per ogni categoria, effettivamente costruiti nel quinquennio 2014 – 2018, e il numero di modelli realizzati in questa ricerca.

Tabella 35 - Confronto tra il numero totale di fabbricati costruiti tra i 2014 e il 2018 (ISTAT 2020) e il numero di modelli realizzati

Categoria	Totale fabbricati costruiti	Modelli realizzati	Rappresentatività
1 abitazione	52.749	1.000	1,90 %
2 abitazioni	12.267	1.000	8,15 %
3-15 abitazioni	17.020	1.000	5,88 %
16+ abitazioni	2.090	2.000	95,69 %
<b>Totale</b>	<b>84.126</b>	<b>5.000</b>	<b>5,94 %</b>

La rappresentatività dei modelli prodotti risulta distante rispetto all'effettivo numero di fabbricati costruiti, in particolare per le case singole. Tuttavia, per gli scopi di questa ricerca, in relazione anche alle variabilità dimensionali e tecnologiche considerate, i risultati possono comunque essere considerati soddisfacenti e ben rappresentativi della realtà edilizia italiana.

La mancanza di dati sulle effettive dimensioni di ogni singolo edificio effettivamente costruito ha inoltre limitato anche la scelta dei criteri di variabilità dimensionali per ogni archetipo. La variazione dei parametri geometrici infatti è stata impostata su una differenza in positivo e in negativo circa del 10 % rispetto al valore medio (vedi Tabella 27). Per comprendere al meglio la reale rappresentatività di questa scelta si dovrebbe disporre almeno di una distribuzione gaussiana quantitativa delle reali volumetrie di tutti gli edifici del panorama edilizio italiano. L'integrazione di un sistema statistico, come quello dell'ISTAT, con alcune tecnologie di rilevamento aereo, come il GIS, potrebbe essere una proposta di soluzione a questo problema. Tuttavia, al giorno d'oggi, la mancanza di tutti questi dati fa capire ancor meglio quanto sia importante disporre a livello nazionale di dataset, quanto più dettagliati possibili, sulla reale situazione edilizia.

## 5.6 Sviluppi futuri

I database creati in questo progetto forniscono un punto di partenza per numerosi studi successivi.

In primo luogo, lo studio sul *Material Intensity*, prodotto dalla collega Marta Mainardi, per la cui trattazione completa si rimanda appunto al suo elaborato di tesi, è basato sulle informazioni fornite dai database. Questo studio va ad analizzare l'incidenza dei materiali sulla volumetria delle abitazioni, in totale e rispetto al sistema di appartenenza, ricavando degli indici caratteristici per ogni archetipo edilizio individuato.

L'indisponibilità di dati sulla quantità di materiali presenti nell'edilizia residenziale italiana rendeva difficile la comprensione, l'analisi e lo studio di molti aspetti direttamente legati ad essi. L'impatto ambientale che essi generano durante tutto il loro ciclo di vita, dalla produzione allo smaltimento, ad esempio, è dato stimato in letteratura senza l'utilizzo di dati certi e precisi. Con l'utilizzo di questi database possono essere condotti numerosi altri studi sulla sostenibilità e l'economia circolare nell'ambito

dell'edilizia residenziale italiana. Una visione più ampia su questi temi potrebbe essere data ad esempio da uno studio di *Life Cycle Assessment* (LCA) o rappresentare una situazione di completamento in uno studio di *Life Cycle Costing* (LCC).

Possono inoltre essere proposti confronti tra gli attuali materiali utilizzati ed eventuali nuove tecnologie costruttive emergenti andando ad esaminare il differente impatto non solo ambientale, ma anche sull'architettura degli edifici come ad esempio la volumetria degli stessi, la conformazione planimetrica o l'isolamento termico, strutturando ad esempio una simulazione energetica su larga scala. L'ampliamento del lavoro realizzato in questa tesi è attuabile anche con considerazioni riguardo una maggiore variabilità dei modelli: in primo luogo si potrebbe pensare ad una variazione del numero di piani, in particolare per la casa singola (realizzabile ad un piano) e per i condomini.

Lo stesso studio potrebbe anche essere realizzato variando la metodologia di lavoro. Uno spunto in quest'ambito può essere fornito nell'utilizzo di una diversa base di partenza di dati: i dati ricavabili da piattaforme statistiche come l'ISTAT possono essere integrate con l'ausilio di altre tecnologie di rilevazione territoriale come ad esempio il GIS.

Uno studio analogo può essere condotto anche su altre categorie edilizie: l'edilizia non residenziale, infatti, causa un grande impatto sull'uso di materiali e, anche su di essa sarebbe interessante studiarne la variabilità.

## 6. Conclusione

Questo studio si è proposto di realizzare un database della volumetria dei materiali utilizzati nella costruzione degli edifici dell'edilizia residenziale italiana dell'ultimo decennio al fine di renderli disponibili per un'analisi sulla *Material Intensity*.

L'edilizia italiana attuale fonda le sue radici sulla tradizione storica iniziata nel primo dopoguerra. La devastazione causata dalle due Guerre, infatti, ha visto la necessità di ricostruire fabbricati residenziali e alloggi per i più colpiti. Viene quindi definita l'“edilizia pubblica” come opera di sostegno alla popolazione su finanziamento statale. Al giorno d'oggi è notevolmente diminuita l'offerta pubblica, tuttavia la seconda metà del ventesimo secolo ha profondamente influenzato la progettazione architettonica dei decenni successivi.

In questa ricerca il primo passo è stato quello di definire i cinque archetipi di edifici più utilizzati sul territorio italiano: dalla casa singola ai grandi condomini verticale e orizzontale, passando per la casa bifamiliare e il piccolo condominio. Sono state delineate la loro geometria media e le possibili tecnologie costruttive attraverso due diverse analisi: grazie ai dati dell'ISTAT è stato possibile ricavare e stimare le volumetrie medie di ogni edificio costruito dal 2014 ad oggi, mentre grazie al progetto Tabula e al confronto con professionisti del settore sono state redatte le tecnologie più utilizzate e più adatte alla zona climatica media “E” del Paese, di tutti gli elementi costruttivi: elementi strutturali, pareti, orizzontamenti, coperture, scale, porte e finestre.

Viene proposta inoltre la definizione di due ulteriori archetipi di edifici: la casa singola e la casa bifamiliare in legno. Grazie alle sue proprietà più sostenibili, l'utilizzo di questo materiale infatti sta prendendo sempre più piede nell'edilizia. A causa dell'indisponibilità di dati sulle volumetrie di queste due tipologie abitative si è deciso di basarsi sui corrispondenti valori degli archetipi in laterocemento.

Un altro obiettivo dello studio è stato quello di rendere i database confrontabili con altre realtà internazionali. A questo fine si è deciso di nominare ogni elemento presente all'interno degli archetipi utilizzando il sistema di classificazione Uniclass. Ogni elemento costruttivo viene identificato all'interno di questo studio da una sigla coerentemente composta e presenta, inoltre, un codice identificativo con la relativa descrizione ricavati dal sistema Uniclass.

La modellazione dell'edificio medio per ogni archetipo è stata eseguita in ambiente BIM, grazie all'utilizzo del software Revit 2022. I parametri in esso definibili hanno permesso l'implementazione della nomenclatura e della classificazione. Con l'ausilio del plug-in Dynamo e i vincoli geometrici preposti in Revit è stato possibile implementare la variabilità geometrica e tecnologica all'interno dei modelli. Al fine

di rappresentare quanto più possibile la situazione edilizia residenziale italiana, tenendo conto dei limiti posti dagli hardware utilizzati, sono stati prodotti mille modelli per ogni archetipo, tutti diversi tra loro, per un totale di settemila modelli. La coerenza rispetto ai dati medi, nella scelta casuale delle variabili di input per ogni singolo modello, è stata garantita attraverso l'applicazione del metodo Monte Carlo. Nuovamente grazie a Revit e Dynamo è stato possibile esportare la quantità dei materiali utilizzati in ogni edificio e, in combinazione con la classificazione dettagliatamente realizzata, anche il relativo elemento costruttivo di appartenenza.

Analizzando i dati sulle volumetrie ricavati dalla realizzazione dei settemila modelli si nota come al crescere del numero di abitazioni all'interno di uno stesso fabbricato diminuisca di conseguenza la volumetria lorda di ciascuna di esse. È stato evidenziato inoltre che questo dato, soprattutto nell'archetipo del piccolo appartamento, sia in diretta relazione con la progettazione degli spazi comuni e la presenza del piano interrato dedicato ai garage.

Sono state condotte infine ulteriori analisi sulla distribuzione dei tre principali materiali da costruzione: calcestruzzo, laterizio e legno. Queste hanno evidenziato come ciascuno dei tre materiali presenti diverse quantità in diretta correlazione con la tecnologia costruttiva utilizzata e la volumetria dell'edificio corrispondente. Il calcestruzzo infatti appare molto più omogeneo al valor medio rispetto al laterizio e al legno, il più eterogeneo.

I dataset forniti in questa trattazione sono risultati fondamentali per ulteriori analisi in prosecuzione di questo studio, in particolare per l'analisi sulla *Material Intensity*, eseguita dalla collega Marta Mainardi e consultabile all'interno del suo elaborato.

Molti altri sviluppi futuri possono essere condotti in questo ambito, come ad esempio analisi sulla variabilità dei costi di costruzione degli edifici o analisi sull'impatto ambientale dei materiali. L'intero studio può essere riproposto in riferimento ad altre realtà edilizie, sia italiane che internazionali, residenziali o commerciali, oppure integrato variandone la metodologia di raccolta dei dati e le variabilità geometrica e tecnologica qui utilizzate.

## **7. 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 [m <sup>3</sup> ]		numero totale abitazioni	superficie utile abitabile totale [m <sup>2</sup> ]	altezza utile [m]	volume utile totale [m <sup>3</sup> ]			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 [m <sup>3</sup> ]	volume singola ab. v/p [m <sup>3</sup> ]	altezza media v/p [m]	area singola ab. v/p [m <sup>2</sup> ]	impatto numero ab.	impatto volume v/p	numero abitazioni	volume totale utile [m <sup>3</sup> ]	altezza media utile [m]	area totale utile [m <sup>2</sup> ]	volume singola ab. utile [m <sup>3</sup> ]	area singola ab. utile [m <sup>2</sup> ]
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
MEDIA				619,41			22,04%	30,73%					326,24	120,83
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
MEDIA				519,19			10,25%	11,98%					273,45	101,28



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
MEDIA				389,05			42,32%	37,09%				204,90	75,89	
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
MEDIA				344,76			25,96%	20,20%				181,64	67,27	
TOT.							100,56%	100,00%						
Annate 2019-2021														
	Anno		volume v/p totale		numero totale abitazioni	superficie utile abitabile totale [mq]	altezza utile [m]	volume utile totale [mc]		rapporto (sup. utile)/(v/p)				
	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	
MEDIA				628,20								330,90	122,55	

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	

## 8. 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 36 - Abaco dei materiali (Ministero delle Infrastrutture e dei trasporti 2018)

		<b>Nomenclatura Uniclass</b>
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	Piastrelle 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 mattoni alveolati 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 interrato, pareti portanti di vani scala e ascensori, fondazioni, sbalzi e cappa strutturale di pavimenti	
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>	Pr_20_93_52_15
	<i>Pr.Description</i>	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>	Pr_35_31_06_29
	<i>Pr.Description</i>	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>	Pr_25_71_35_63
	<i>Pr.Description</i>	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>	Pr_70_60_36_71
	<i>Pr.Description</i>	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 37 - Abaco degli elementi strutturali in calcestruzzo




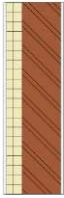

Elemento strutturale			Nomenclatura Uniclass
<p>SCL.EXT.1</p>  <p>20x20 cm</p>	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	SCL.EXT.1.CC EF_20 Structural elements Ss_20_30_75_70 Reinforced concrete column systems
		Materiale	- calcestruzzo
	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 38 - Abaco degli elementi strutturali in legno

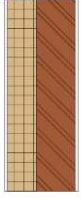


Elemento strutturale			Nomenclatura Uniclass
<p>SFR.RBM.2</p>  <p>23,5x28,6 cm</p>	Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	SFR.RBM.2.WD EF_20_10_30 Structural elements Ss_20_30_75_85 Timber beam systems
		Materiale	- legno
	Descrizione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


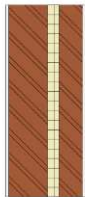

### 8.3 Abaco delle pareti verticali




Tabella 39 - Abaco delle murature




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>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con cappotto esterno in fibra di legno</p>
<p>WLL.EXT.4</p>  <p>Sp. 41 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.4.PLS.BRC.XPS.BRC.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) - mattoni alveolati (12 cm) - XPS (6 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p> <p>FIN.PLS SUB.BRC INS.XPS STR.BRC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in XPS</p>
<p>WLL.EXT.5</p>  <p>Sp. 42 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.5.PLS.BRC.MWL.BRC.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) - mattoni alveolati (12 cm) - lana di roccia (7 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p> <p>FIN.PLS SUB.BRC INS.MWL STR.BRC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in lana di roccia</p>

<p>WLL.EXT.6</p>  <p>Sp. 48 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.6.PLS.BRC.WBF.BRC.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)                      - mattoni alveolati (12 cm)                      - fibra di legno (13 cm)                      - mattoni alveolati (20 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      SUB.BRC                      INS.WBF                      STR.BRC                      FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera esterna ed isolamento in fibra di legno</p>	
<p>WLL.EXT.7</p>  <p>Sp. 41 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.7.PLS.BRC.XPS.BRC.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)                      - 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>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in XPS</p>	
<p>WLL.EXT.8</p>  <p>Sp. 42 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.8.PLS.BRC.MWL.BRC.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)                      - 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>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in lana di roccia</p>	

<p>WLL.EXT.9</p>  <p>Sp. 48 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.9.PLS.BRC.WBF.BRC.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) - 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>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete perimetrale in muratura di tamponamento con rifodera interna ed isolamento in fibra di legno</p>
<p>WLL.EXT.10</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.EXT.10.PLS.BRC.PLS EF_25_10_25 External walls Ss_25_13_50 Masonry wall systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p> <p>FIN.PLS STR.BRC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parapetto perimetrale in muratura per balconi o terrazzi</p>
<p>WLL.INT.1</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.1.PLS.BRC.PLS EF_25_10_40 Internal walls Ss_25_13_50_56 Masonry internal partition systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>EXT</i> - intonaco (1,5 cm) - mattoni alveolati (20 cm) - intonaco (1,5 cm) <i>INT</i></p> <p>FIN.PLS STR.BRC FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete divisoria interna in muratura con passaggio dell'impiantistica</p>

<p>WLL.INT.2</p>  <p>Sp. 13 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.2.PLS.BRC.PLS                      EF_25_10_40                      Internal walls                      Ss_25_13_50_56                      Masonry internal partition systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - mattoni alveolati (20 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      STR.BRC                      FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p> <p>Parete divisoria interna semplice in muratura</p>	
<p>WLL.INT.3</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.3.PLS.CNC.PLS                      EF_25_10_40                      Internal walls                      Ss_25_11_16_70                      Reinforced concrete wall structure system</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - calcestruzzo (20 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 in calcestruzzo armato, utilizzata come setto portante per scale e ascensori</p>	
<p>WLL.INT.4</p>  <p>Sp. 13 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.4.PLS.DRW.PLS                      EF_25_10_40                      Internal walls                      Ss_25_25_45_35                      Gypsum board wall lining systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><i>EXT</i>                      - intonaco (1,5 cm)                      - cartongesso (10 cm)                      - intonaco (1,5 cm)  <i>INT</i></p>	<p>FIN.PLS                      SUB.DRW                      FIN.PLS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p> <p>Parete divisoria interna semplice in cartongesso</p>	



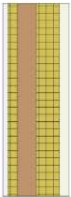

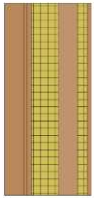

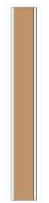
<p>WLL.UND.1</p>  <p>Sp. 21,5 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WLL.UND.1.PLS.CNC EF_25_10 Wall and barrier elements Ss_25_11_16_70 Reinforced concrete wall structure systems</p>
	<p><b>Materiali</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 40 - 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>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete divisoria interna in pannelli X-lam con passaggio dell'impiantistica</p>
<p>WLL.INT.6</p>  <p>Sp. 13 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 (10 cm) - cartongesso (1,5 cm) <i>INT</i></p>	<p>FIN.DRW STR.WD FIN.DRW</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Parete divisoria interna semplice in pannelli X-lam</p>

## 8.4 Abaco degli orizzontamenti

Tabella 41 - Abaco degli orizzontamenti 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>FLR.ARC.1</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>FLR.ARC.2</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>FLR.ARC.3</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>
	<p><b>Materiali</b></p> <p><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></p>	<p>FIN.CRM FIN.CNC SUB.GRP SUB.CNC INS.XPS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Pavimento architettonico contro terra o di interpiano con sistema radiante e isolamento in XPS</p>

Tabella 42 - Abaco degli orizzontamenti in legno

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

<p><b>FLR.ARC.6</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.6.XPS.CNC.GRP.CNC.WD EF_30_20 Floors Ss_30_20_90 Wood and composite unit flooring systems</p>
	<p><b>Materiali</b></p>	<p><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></p>	<p>FIN.WD FIN.CNC SUB.GRP SUB.CNC INS.XPS</p>
	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Pavimento architettonico di interpiano con sistema radiante, isolamento in XPS e finitura in legno</p>	

## 8.5 Abaco delle coperture

Tabella 43 - Abaco delle coperture in laterocemento

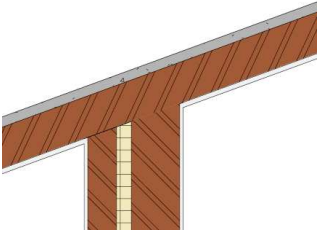
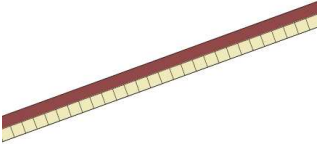
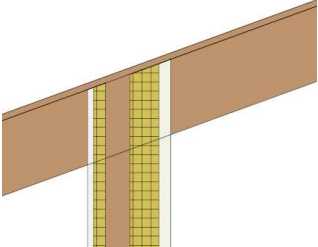
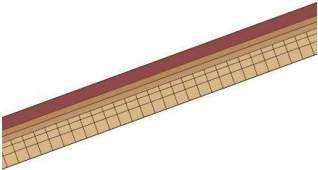
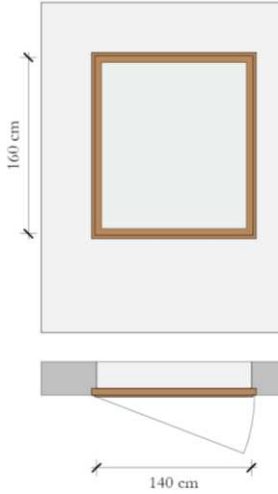
Elemento costruttivo		Nomenclatura Uniclass	
<p><b>ROF.STR.1</b></p>  <p>Sp. 22 cm</p>	<p><b>Classificazione</b></p> <p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>ROF.STR.1.PLS.BRC.CNC                      EF_30_10                   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

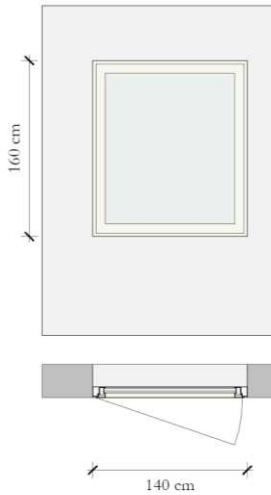
Tabella 44 - Abaco delle coperture in legno

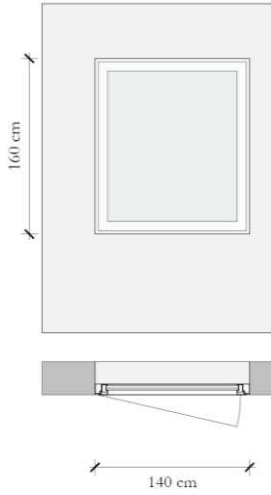
Elemento costruttivo			Nomenclatura Uniclass	
<p style="text-align: center;"><b>ROF.STR.2</b></p>  <p style="text-align: center;">Sp. 2,5 cm</p>	<b>Classificazione</b>	<p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>ROF.STR.2.WD EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_12_85_90 Timber deck systems</p>	
		<b>Materiale</b>	<p><i>UP</i> - assi in legno (2,5 cm) <i>DOWN</i></p>	<p>STR.WD</p>
			<b>Descrizione</b>	
<p style="text-align: center;"><b>ROF.ARC.1</b></p>  <p style="text-align: center;">Sp. 20 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>ROF.ARC.2.WFB.WD.WD.TL EF_30_10 Roofs, floor and paving elements Ss_30_10_30_85 Timber roof framing systems</p>
		<b>Materiali</b>	<p><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></p>	<p>FIN.TL FIN.WD STR.WD INS.WFB INS.WFB</p>
			<b>Descrizione</b>	

## 8.6 Abaco delle finestre

Tabella 45 - Abaco delle finestre

Elemento costruttivo	WND.EXW.1			
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>	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		
Materiali	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.WD FIN.WD FIN.GLS		
Dimensioni	120x120 cm 140x140 cm 140x160 cm 190x160 cm 200x230 cm 240x160 cm	Descrizione	Finestra in legno ad una anta. Sezione del telaio piena.	

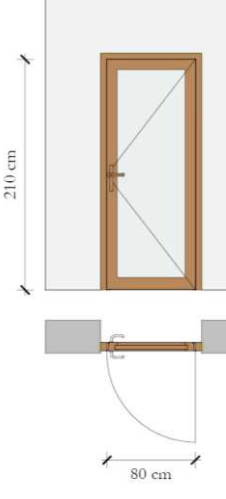
<p>Elemento costruttivo</p>	<p>WND.EXW.2</p>		
<p>Classificazione</p>	<p><i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i></p>	<p>WND.EXW.2.SLW.ALM EF_25_30_97 Windows Pr_30_59_98_02 Aluminium window units Ss_25_30_95_95 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>

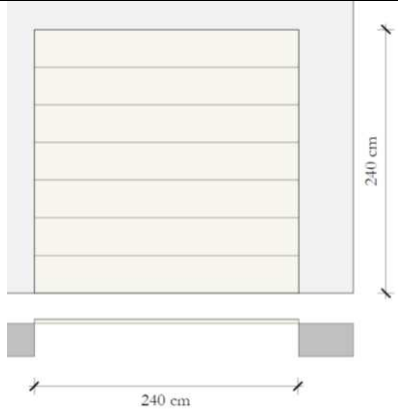
<p><b>Elemento costruttivo</b></p>	<p>WND.EXW.3</p>		
<p><b>Classificazione</b></p>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Pr.Number</i>  <i>Pr.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>WND.EXW.3.SLW.PVC                  EF_25_30_97                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

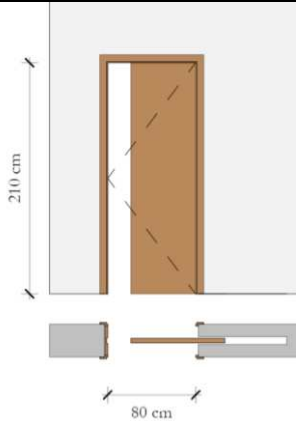


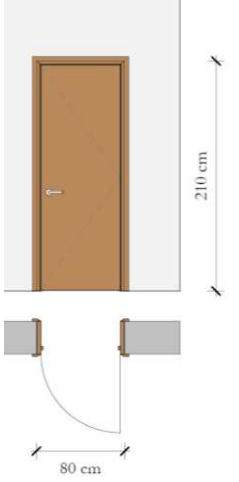
## 8.7 Abaco delle porte

Tabella 46 - Abaco delle porte

<p>Elemento costruttivo</p>	<p>DOR.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>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</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 FIN.GLS</p>	
<p>Dimensioni</p>	<p>80x210 cm 100x220 cm</p>	<p>Descrizione</p>	<p>Porta esterna in legno, vetrata, ad una anta. Sezione del telaio piena.</p>

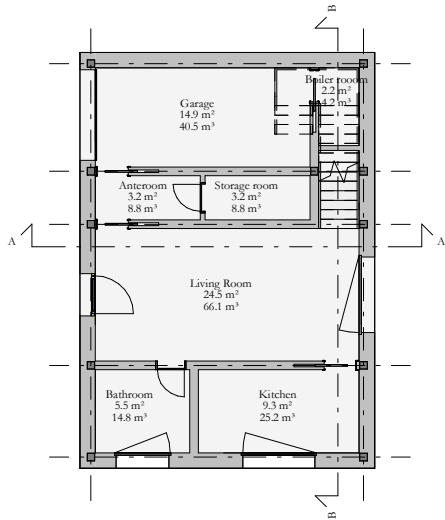
<p><b>Elemento costruttivo</b></p>	<p>DOR.EXW.3</p>		
<p><b>Classificazione</b></p>	<p><i>Nome del tipo</i>  <i>EF.Number</i>  <i>EF.Description</i>  <i>Pr.Number</i>  <i>Pr.Description</i>  <i>Ss.Number</i>  <i>Ss.Description</i></p>	<p>DOR.EXW.3.IR.GDR                  EF_25_30_25                  Doors                  Pr_30_59_24_04                  Automatic revolving doorsets                  Ss_25_30_20_22                  Door assembly systems</p>	
<p><b>Materiali</b></p>	<p><i>Finiture</i>  <i>Telaio</i>  <i>Anta</i>  <i>Vetro</i></p>	<p>FIN.ALM                  FIN.ALM                  FIN.ALM                  /</p>	
<p><b>Dimensioni</b></p>	<p>240x240 cm</p>	<p><b>Descrizione</b></p>	<p>Basculante garage in alluminio.</p>

Elemento costruttivo	DOR.INW.1		
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.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	
Materiali	<i>Finiture</i> <i>Telaio</i> <i>Anta</i> <i>Vetro</i>	FIN.ALM FIN.WD FIN.WD /	
Dimensioni	80x210 cm	Descrizione	Porta interna scorrevole in legno. Sezione del telaio piena.

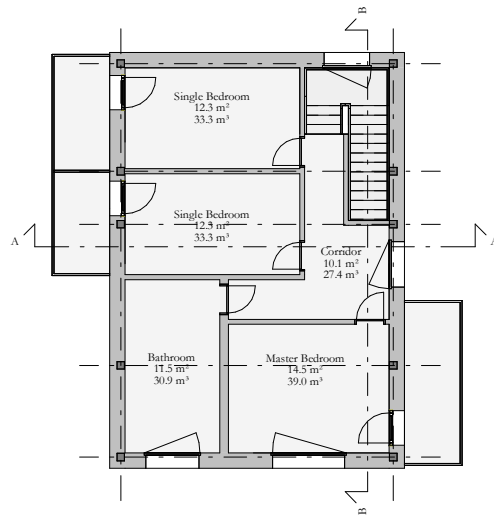
Elemento costruttivo	DOR.INW.3			
Classificazione	<i>Nome del tipo</i> <i>EF.Number</i> <i>EF.Description</i> <i>Pr.Number</i> <i>Pr.Description</i> <i>Ss.Number</i> <i>Ss.Description</i>	DOR.INW.3.W.RDR EF_25_30_25 Doors Pr_30_59_24_97 Wood doorsets Ss_25_30_20_22 Door assembly systems		
Materiali	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

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

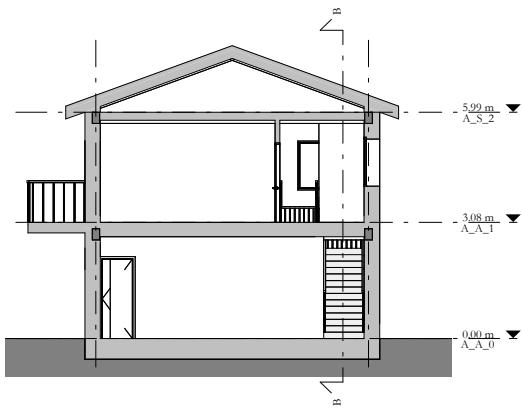
Tavole architettoniche degli archetipi degli edifici comprensive di planimetrie, sezioni e assonometrie.



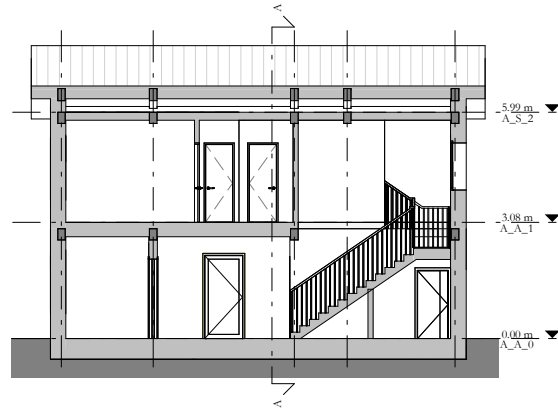
Ground floor plan  
1:200



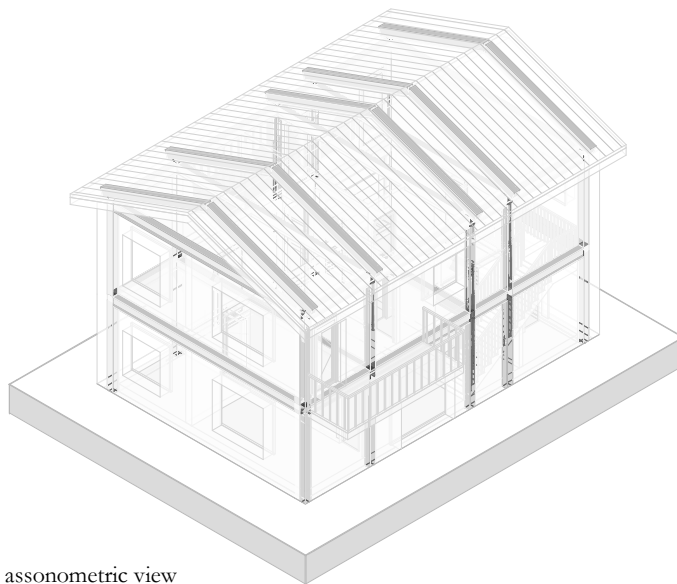
First floor plan  
1:200



Section AA  
1:200



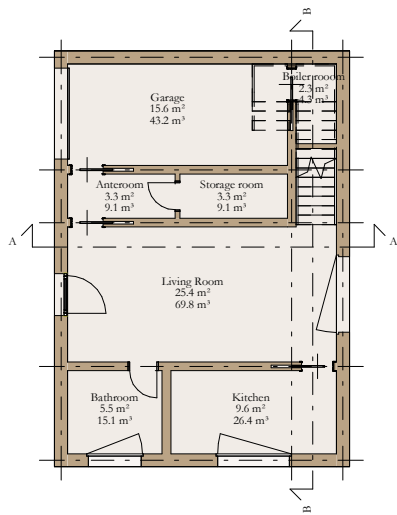
Section BB  
1:200



3D assonometric view

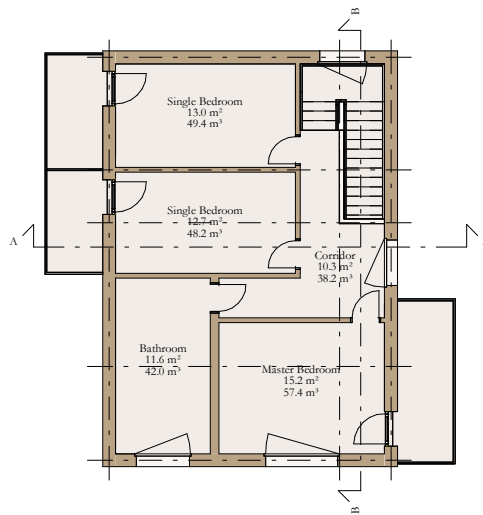
01.

SFH - Single Family House



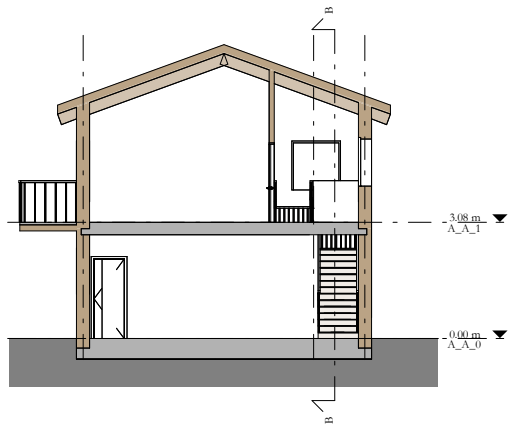
Ground floor plan

1:200



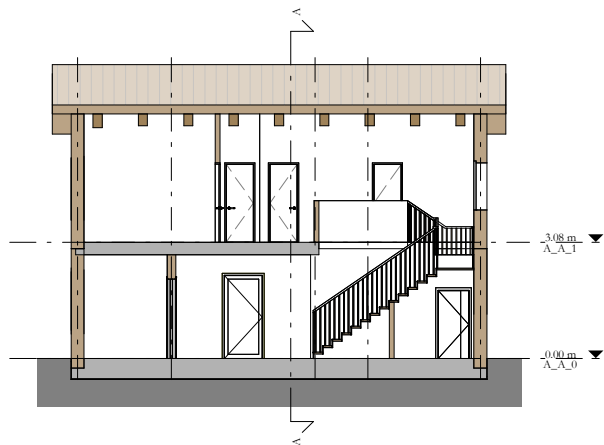
First floor plan

1:200



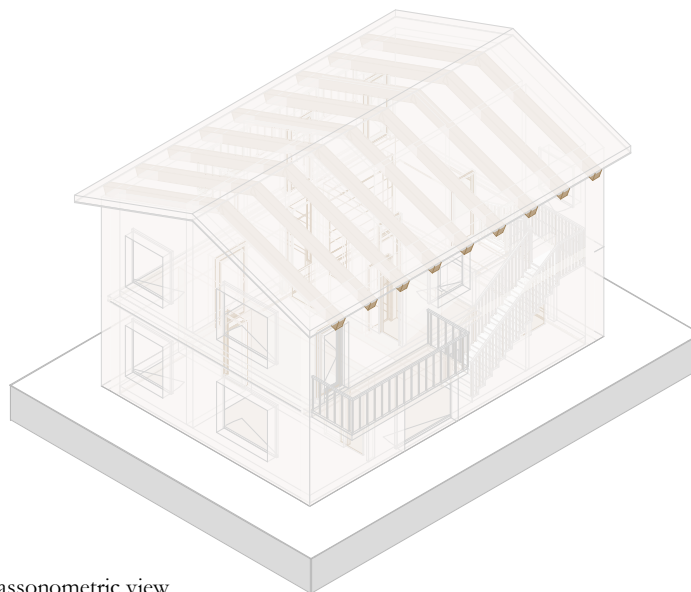
Section AA

1:200



Section BB

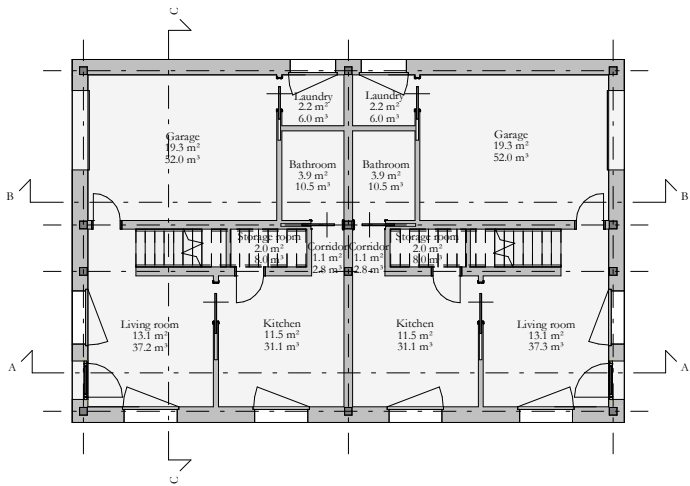
1:200



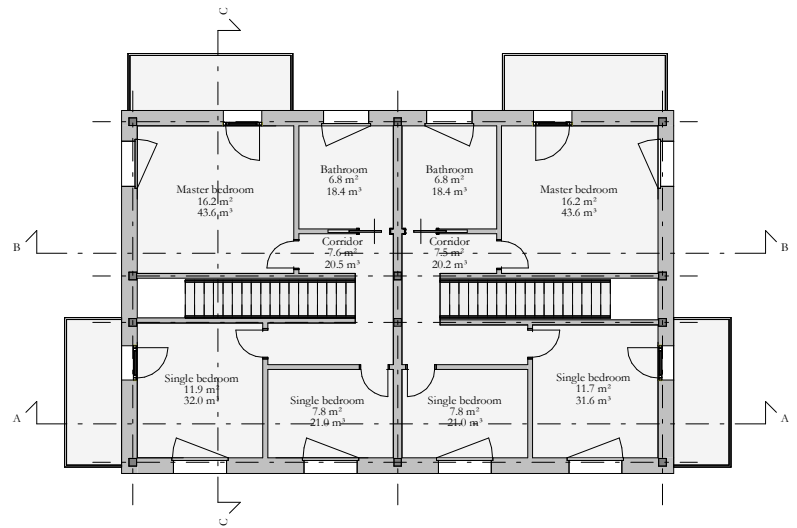
3D axonometric view

02.

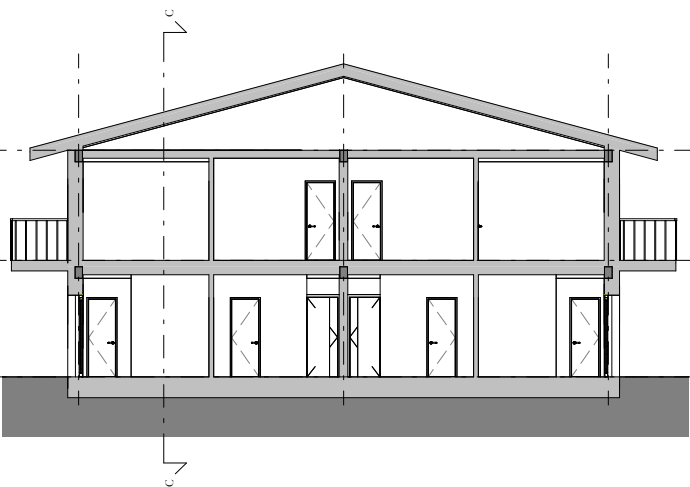
SFHw - Single Family House Wood



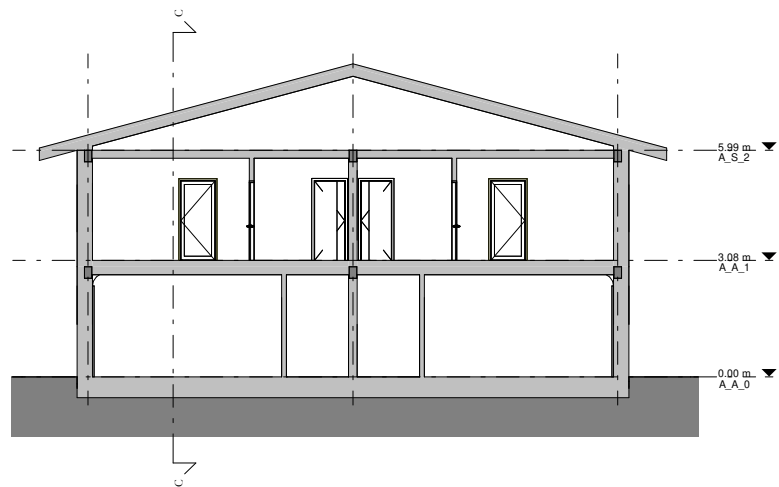
Ground floor plan  
1:200



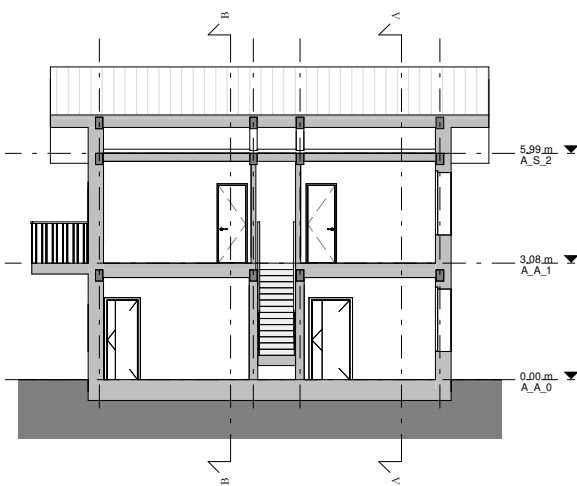
First floor plan  
1:200



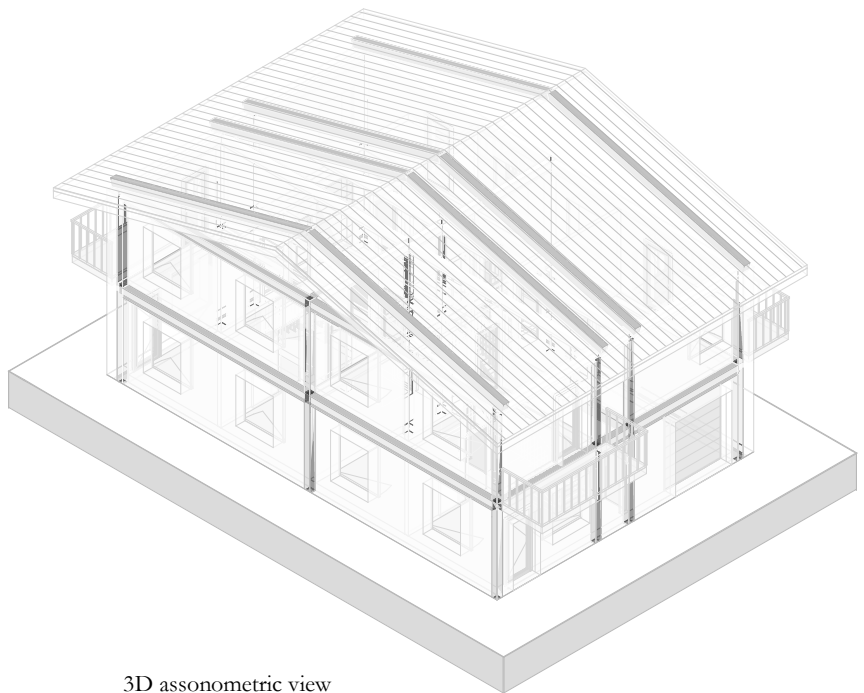
Section AA  
1:200



Section BB  
1:200



Section CC  
1:200

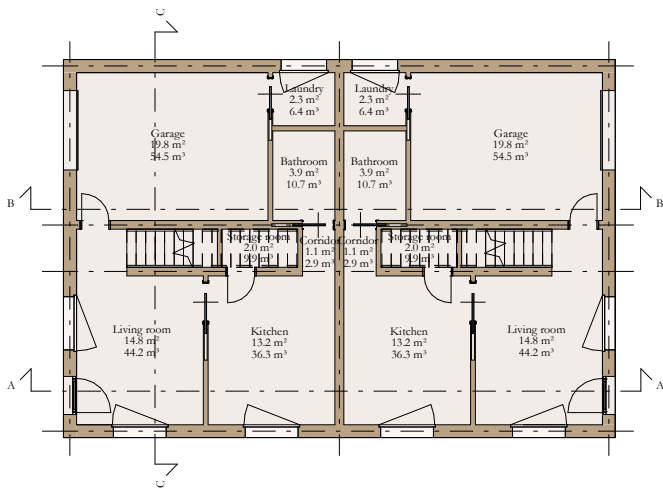


3D axonometric view

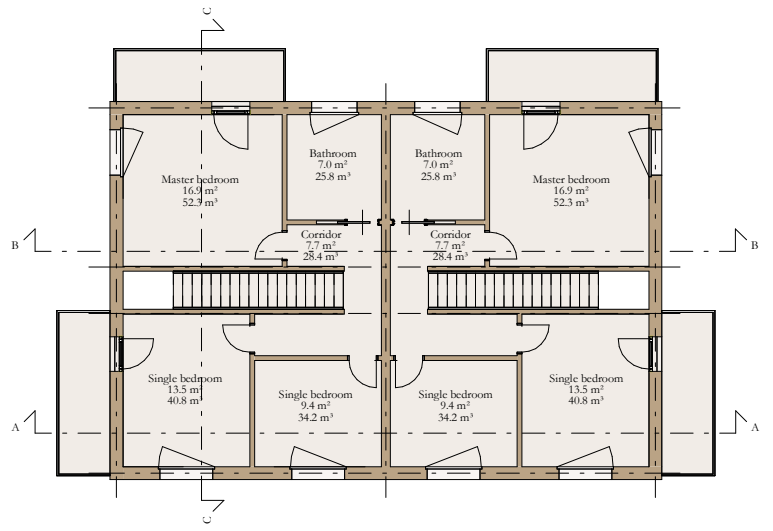
03.

SDH - Semi Detached House

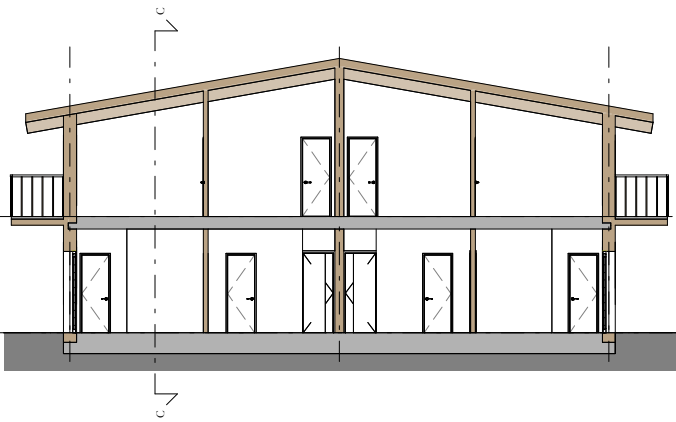




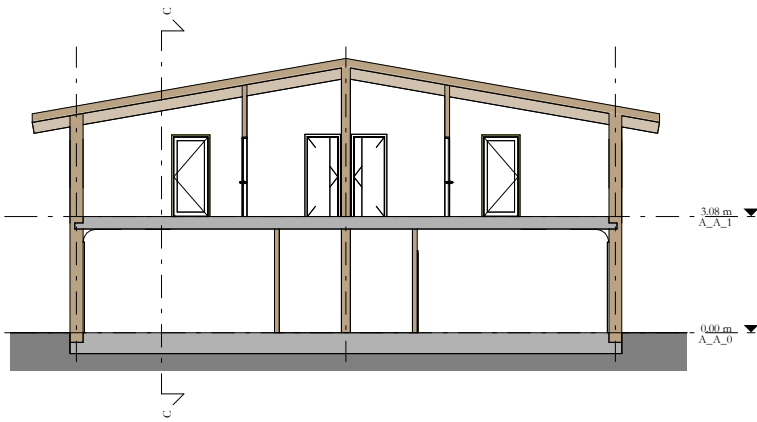
Ground floor plan  
1:200



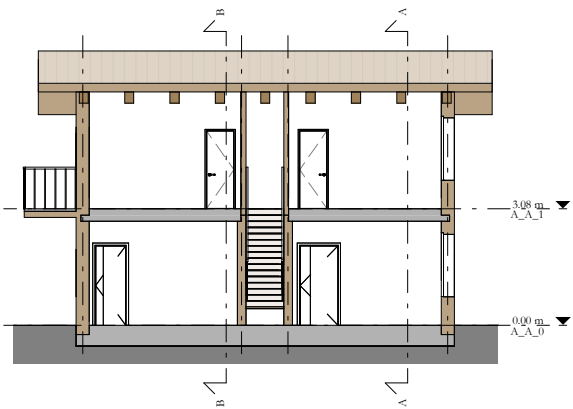
First floor plan  
1:200



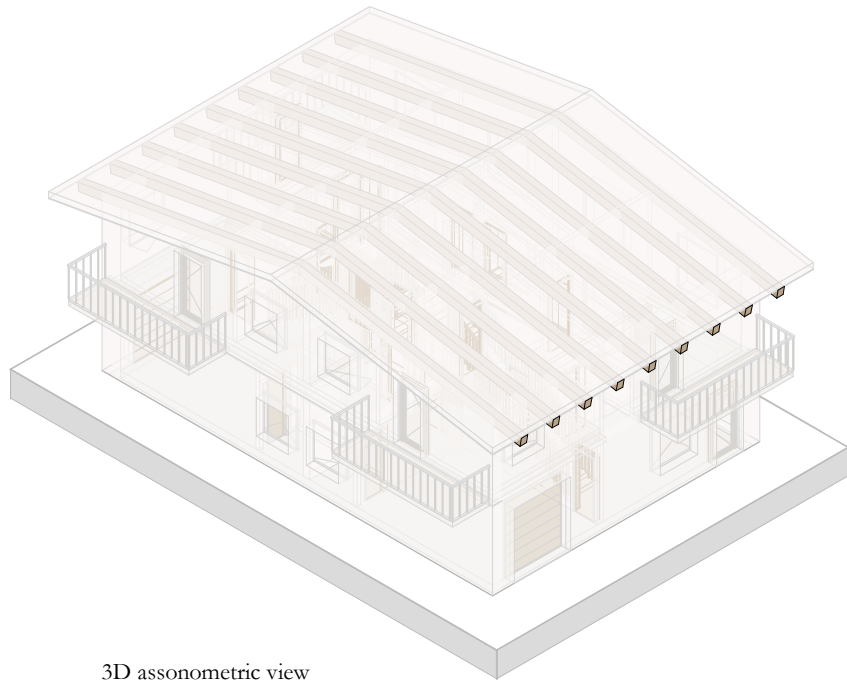
Section AA  
1:200



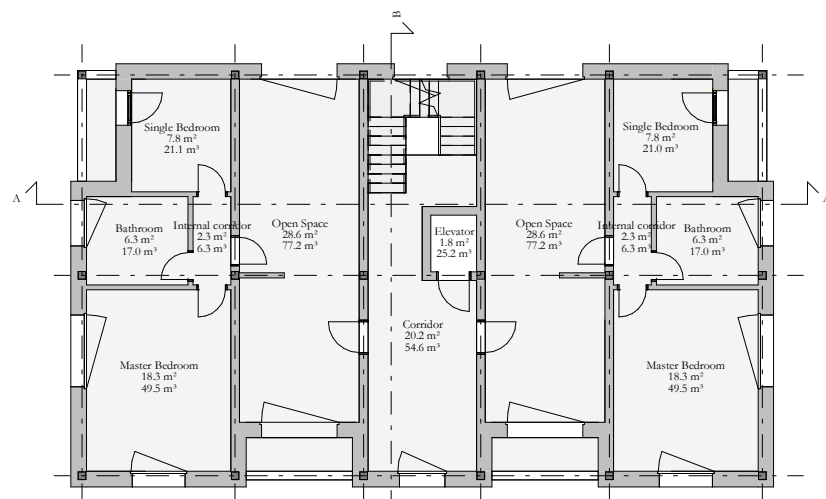
Section BB  
1:200



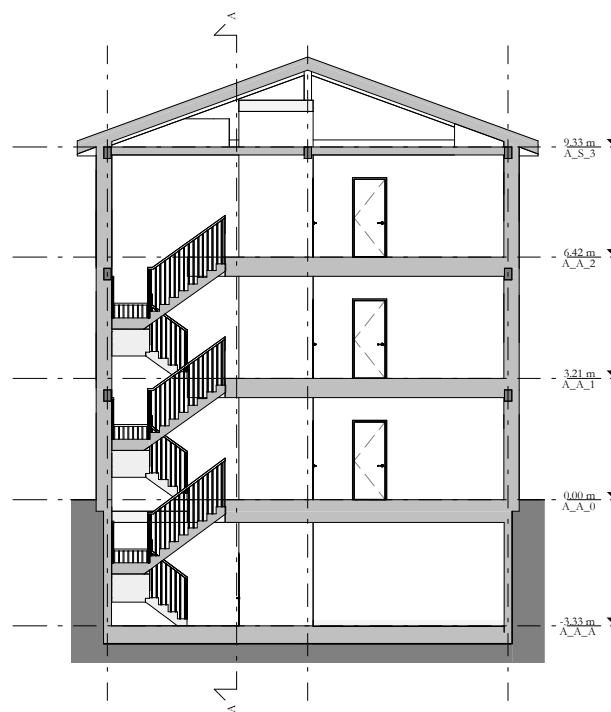
Section CC  
1:200



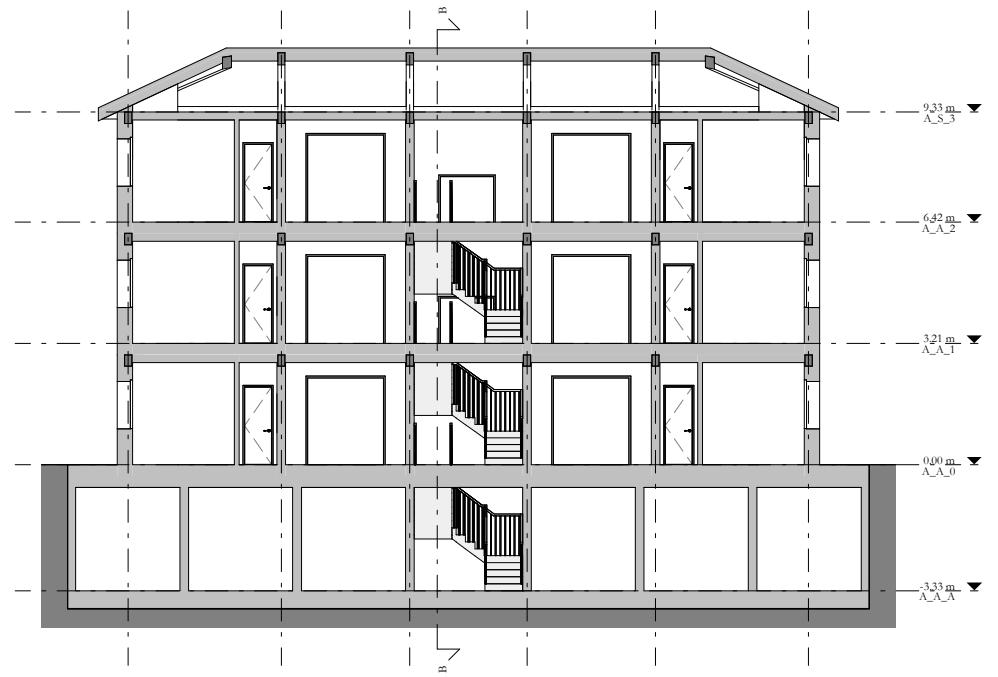
3D axonometric view



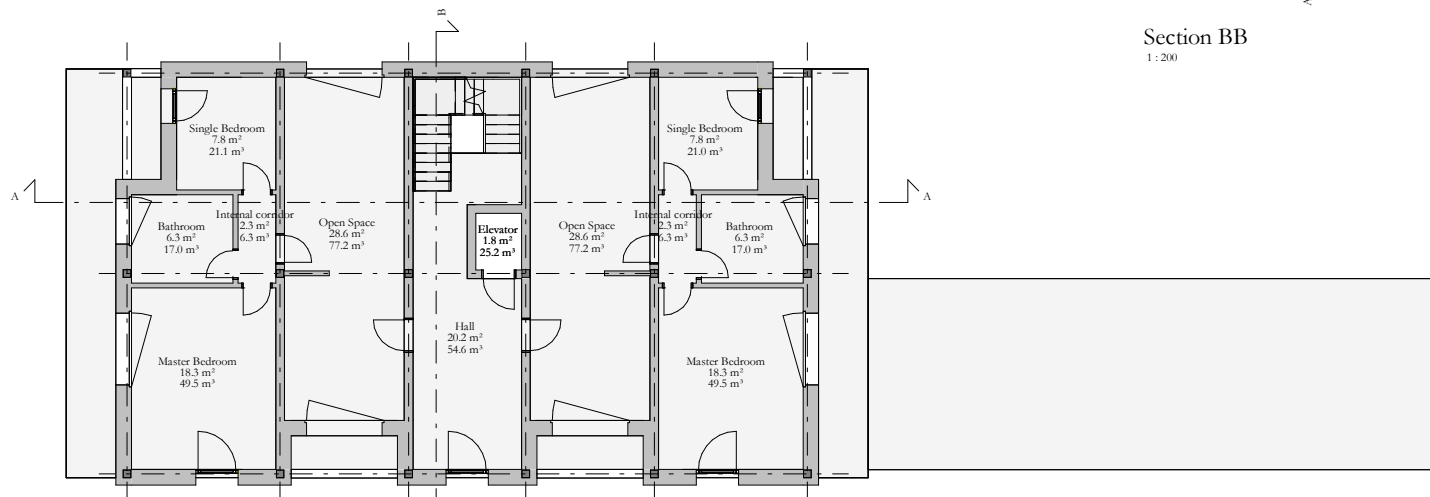
First and Second floor plan  
1:200



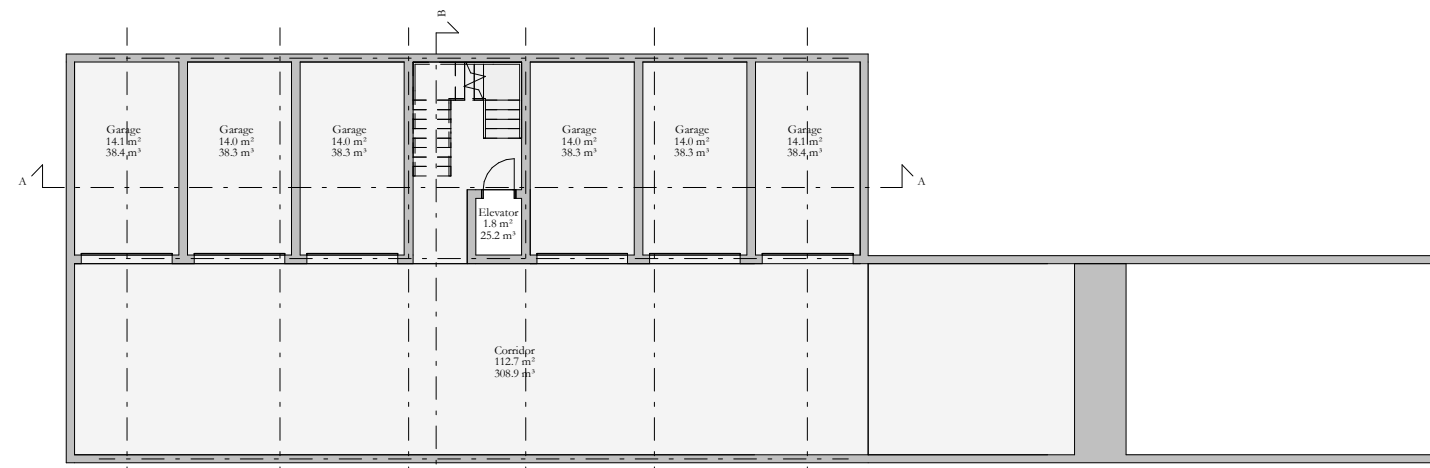
Section BB  
1:200



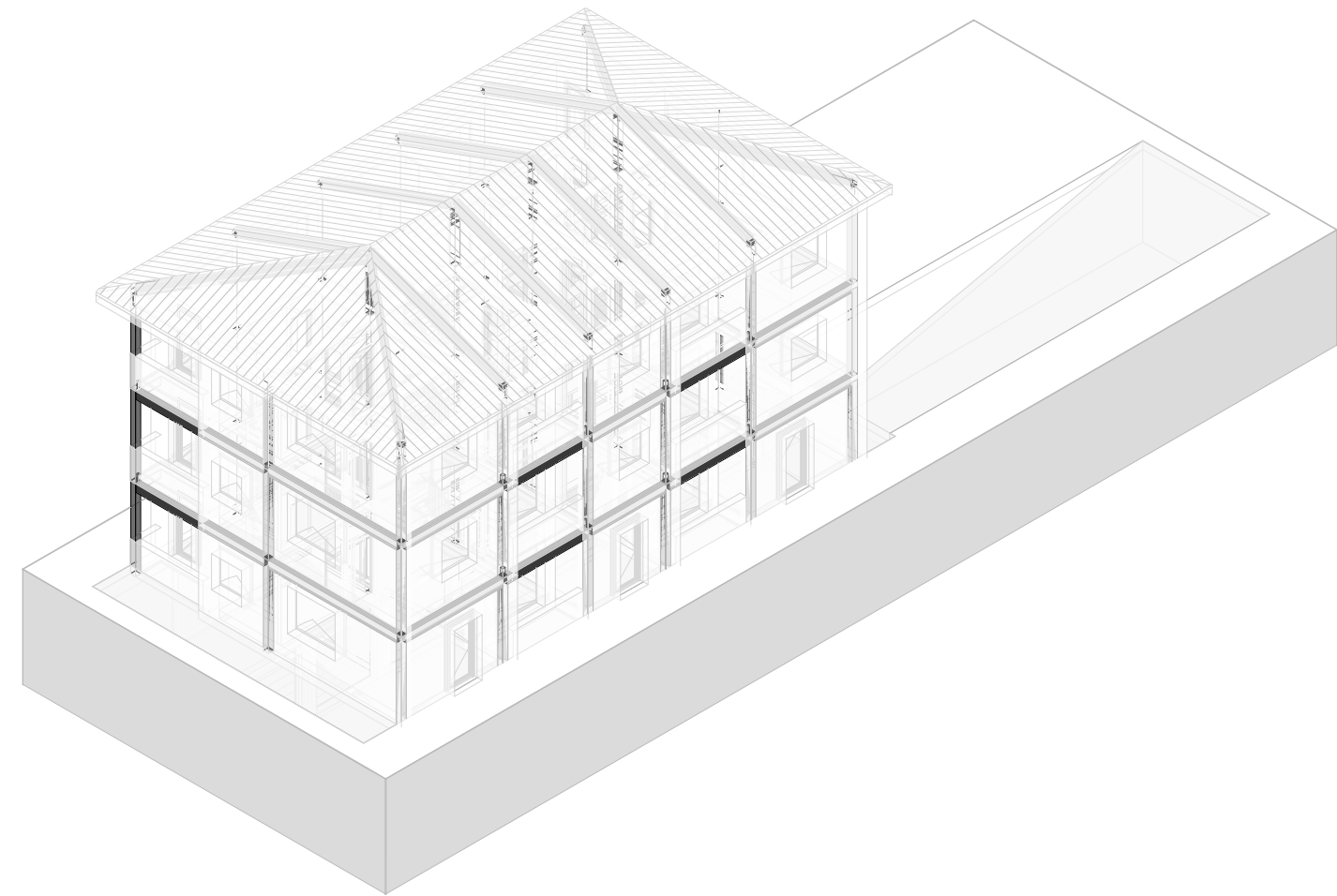
Section AA  
1:200



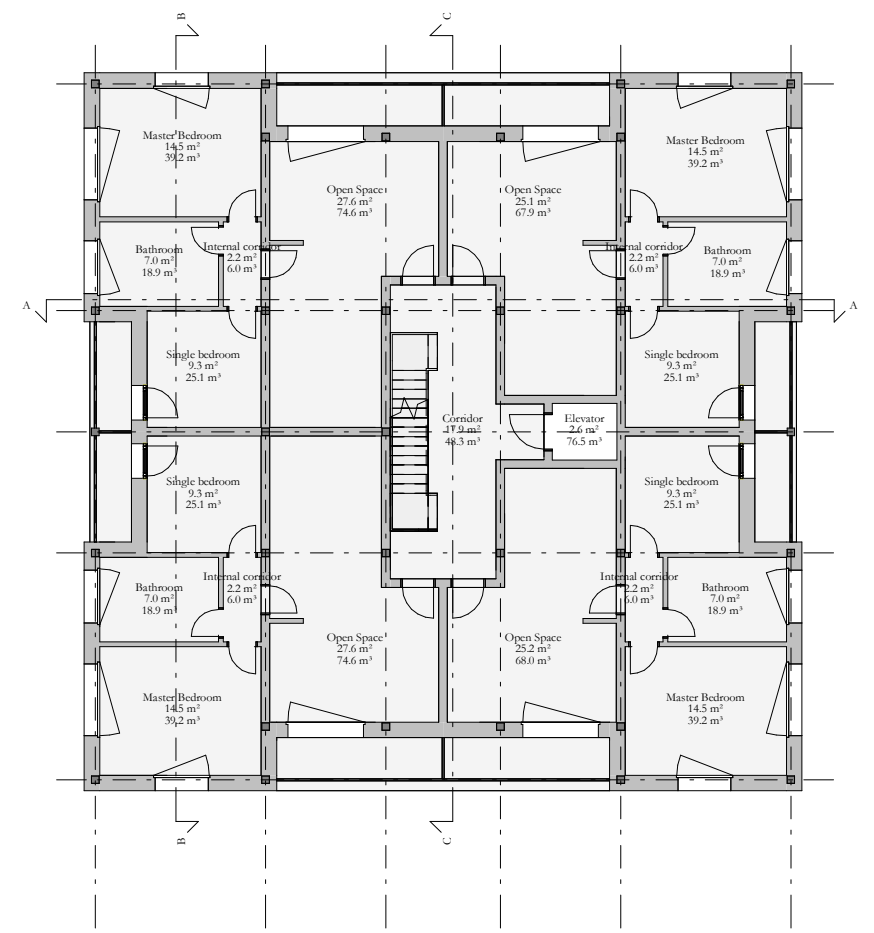
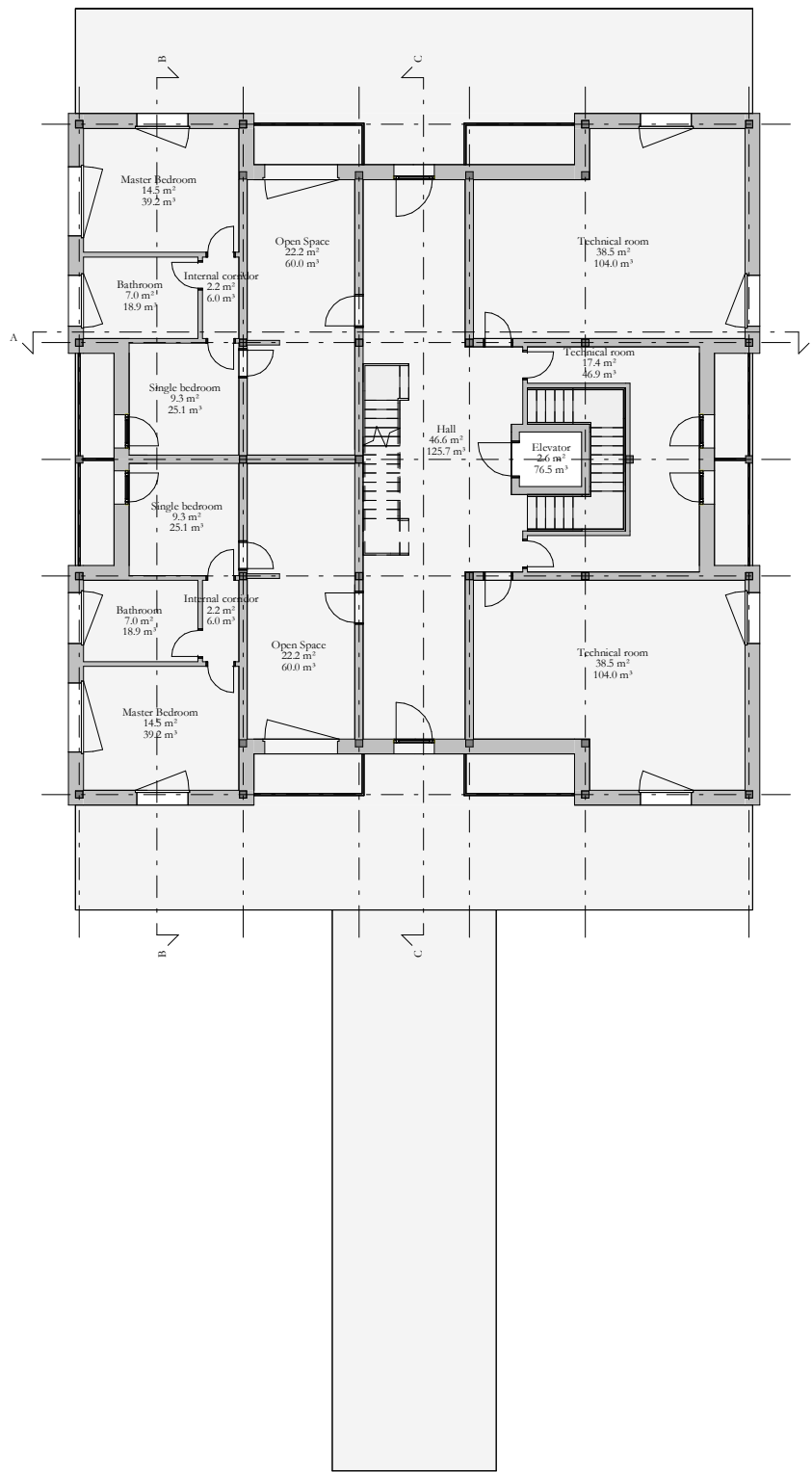
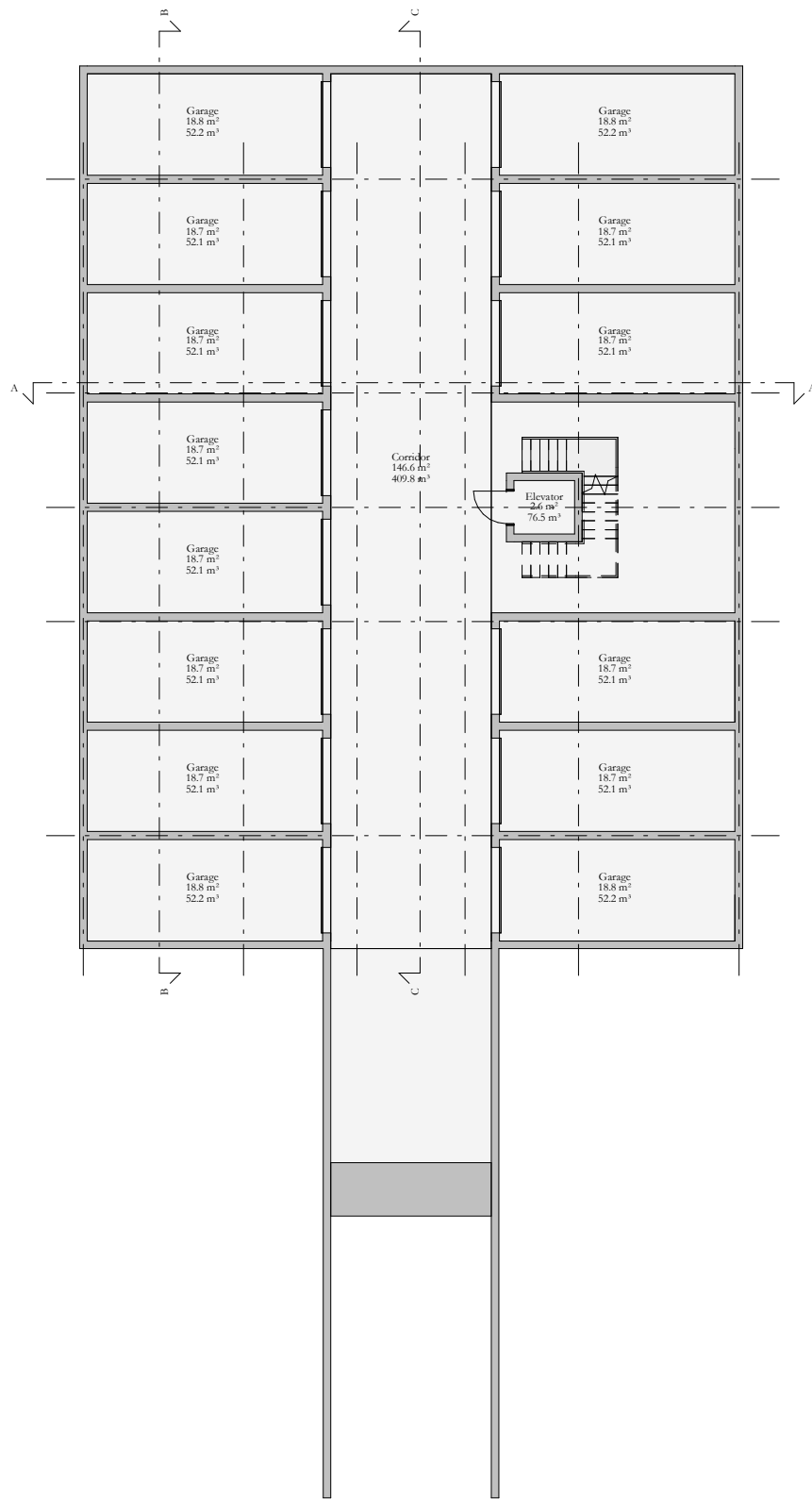
Ground floor plan  
1:200

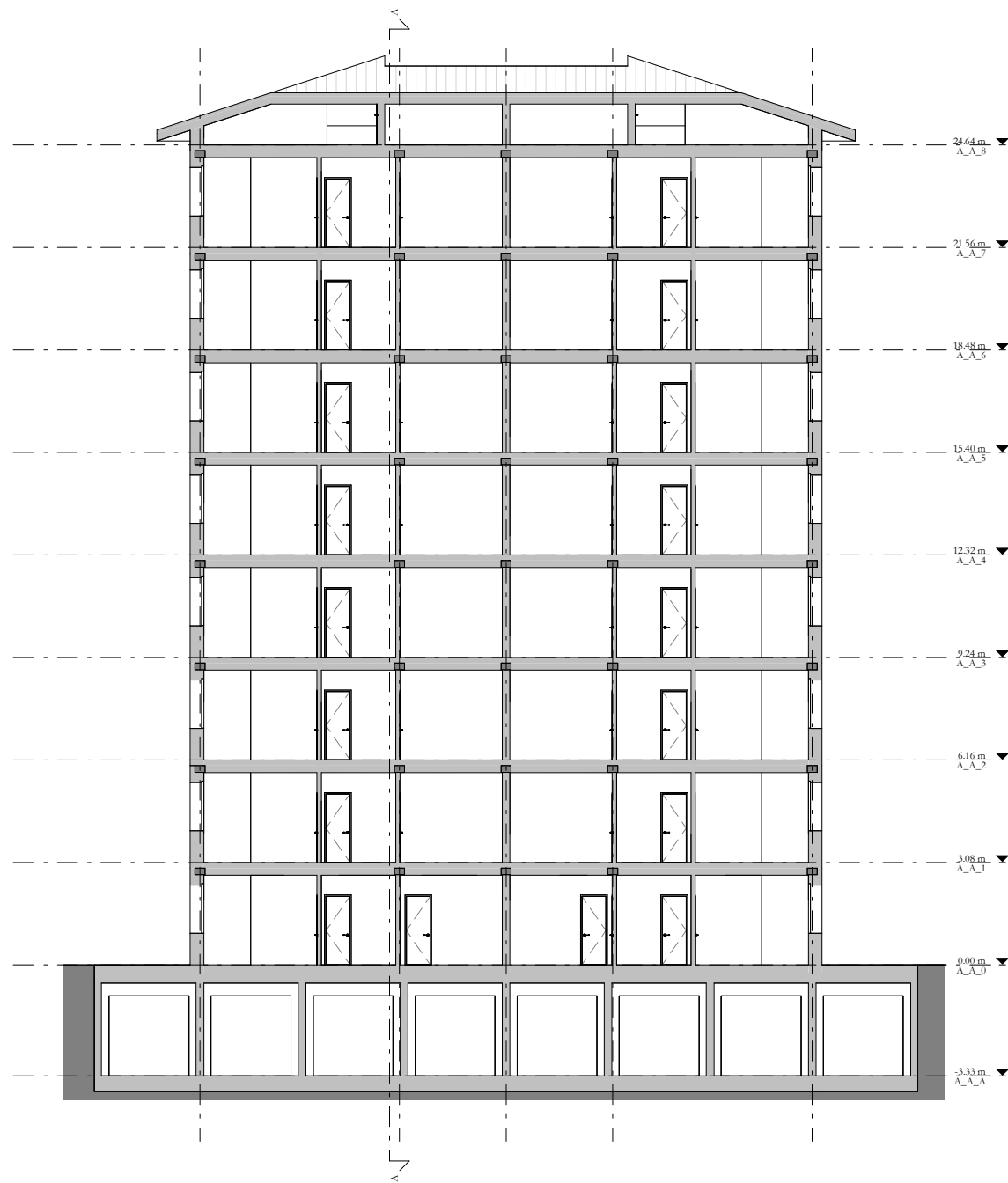


Underground floor plan  
1:200

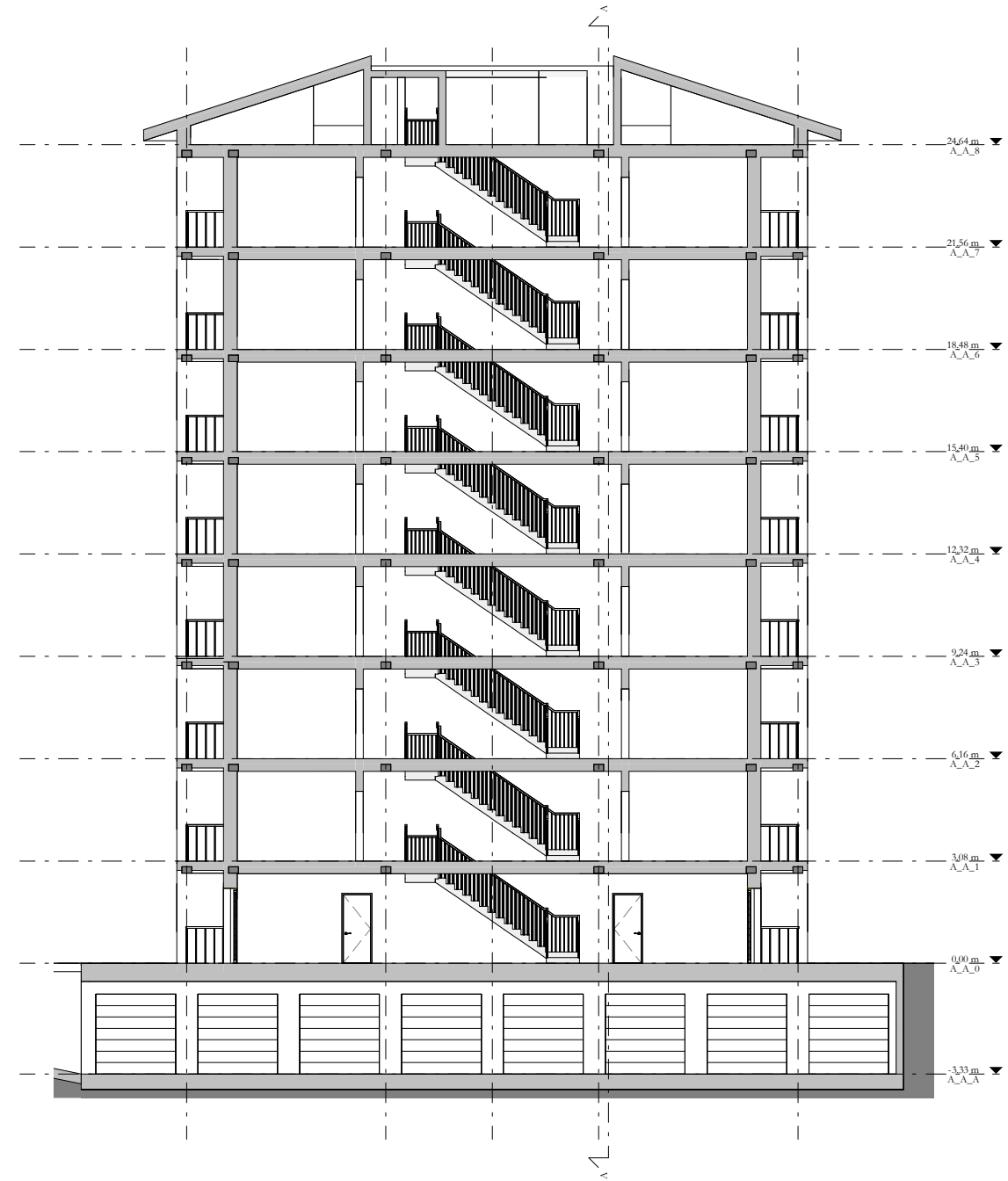


3D axonometric view

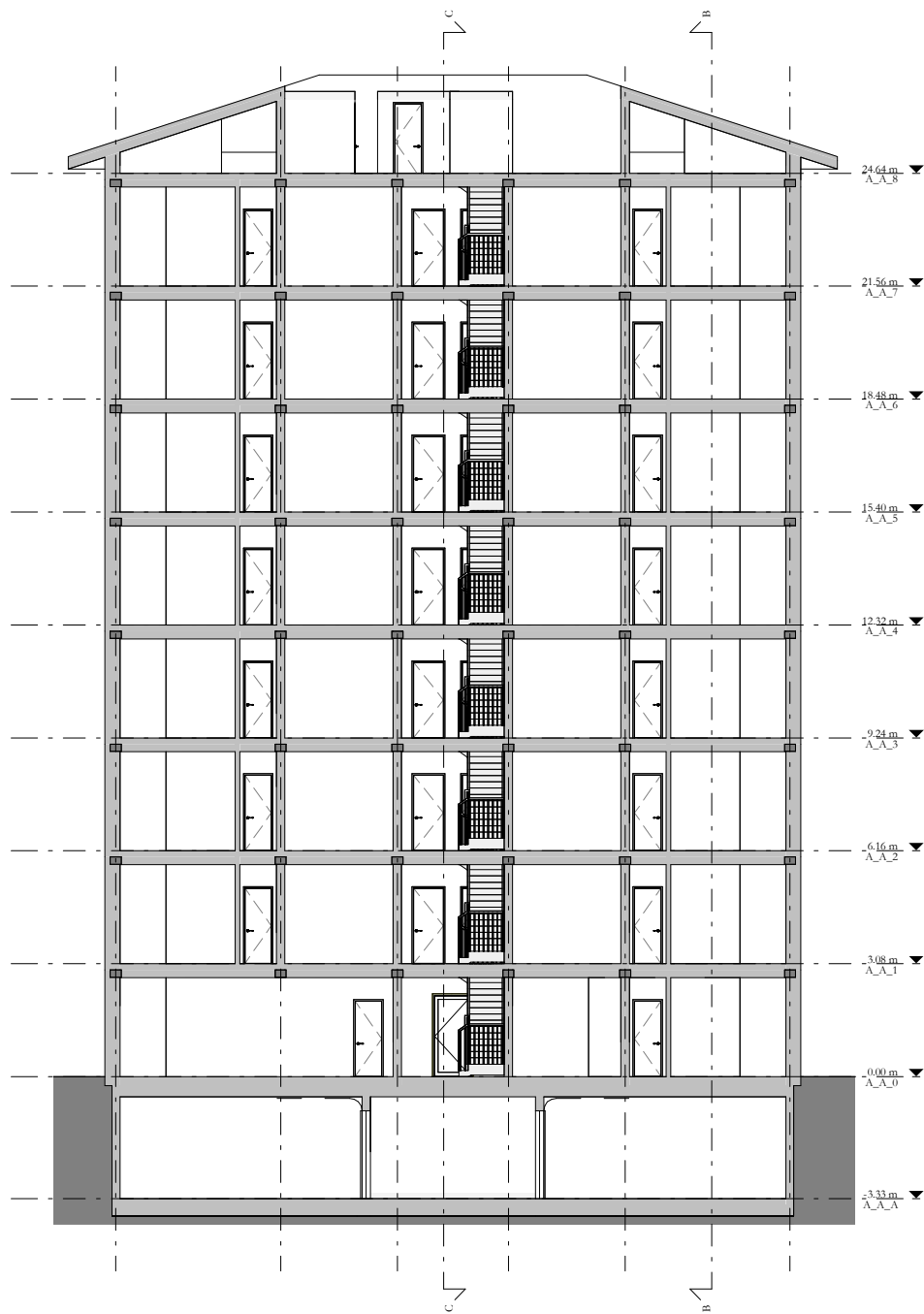




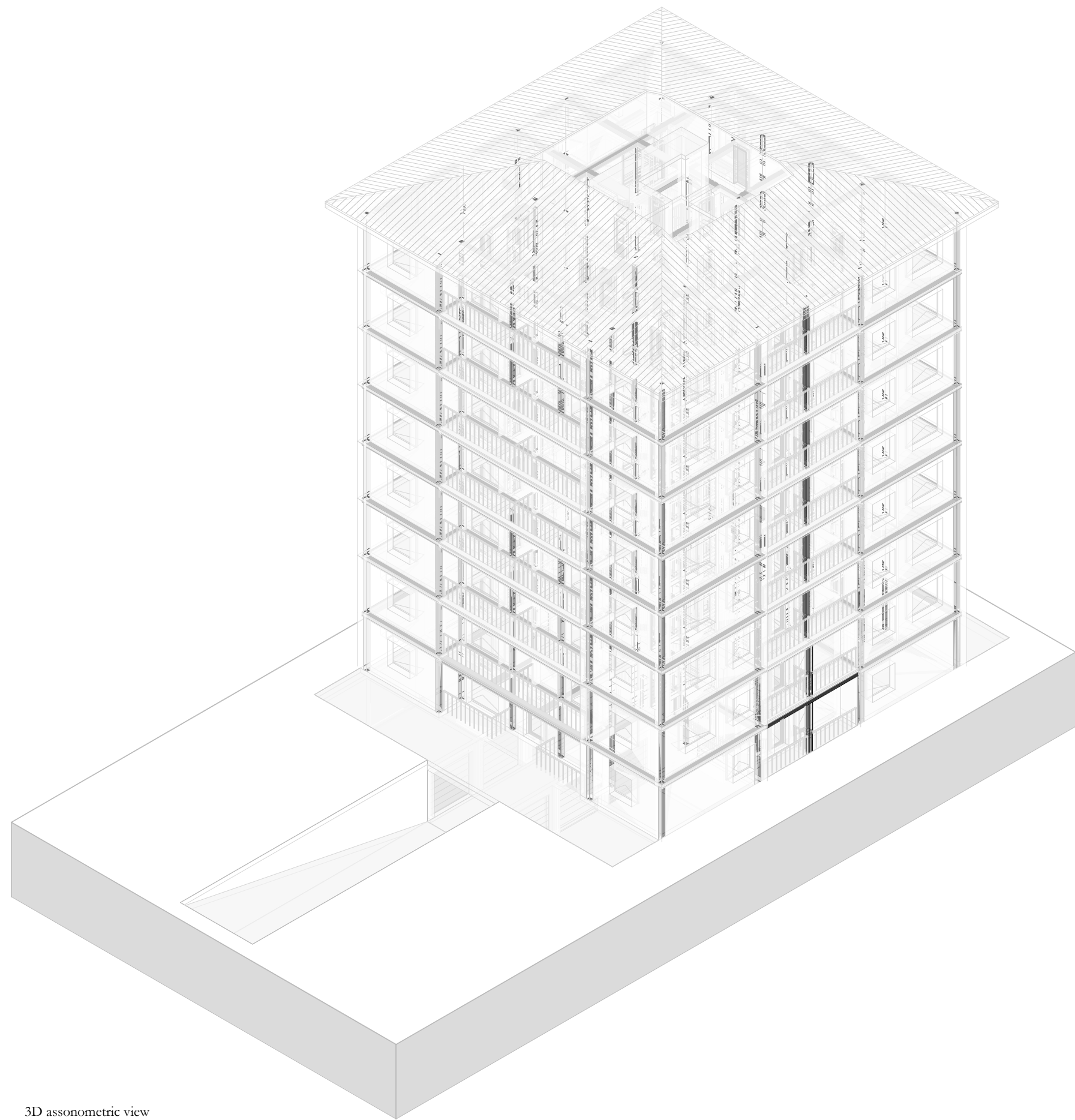
Section BB  
1:200



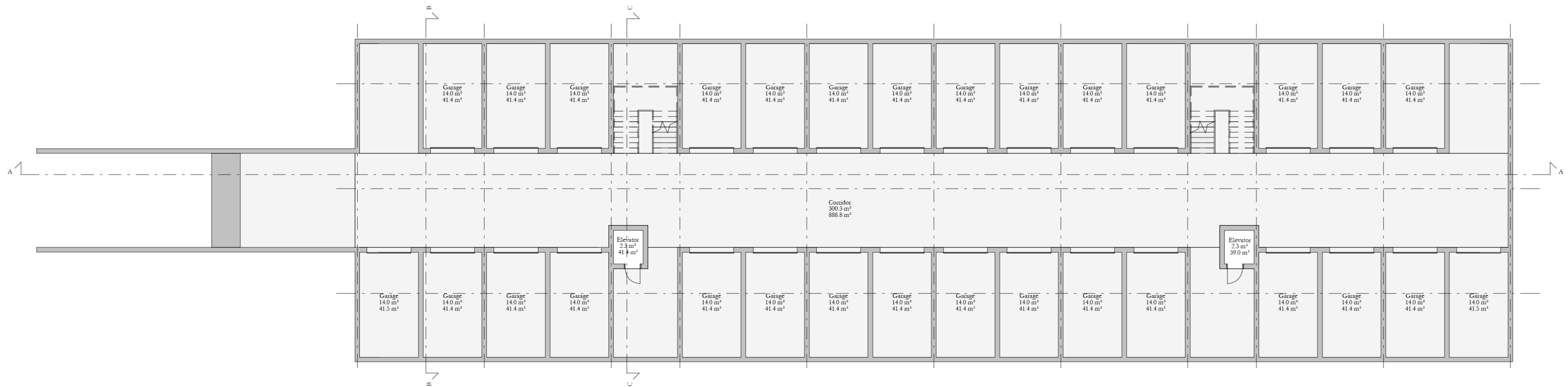
Section CC  
1:200



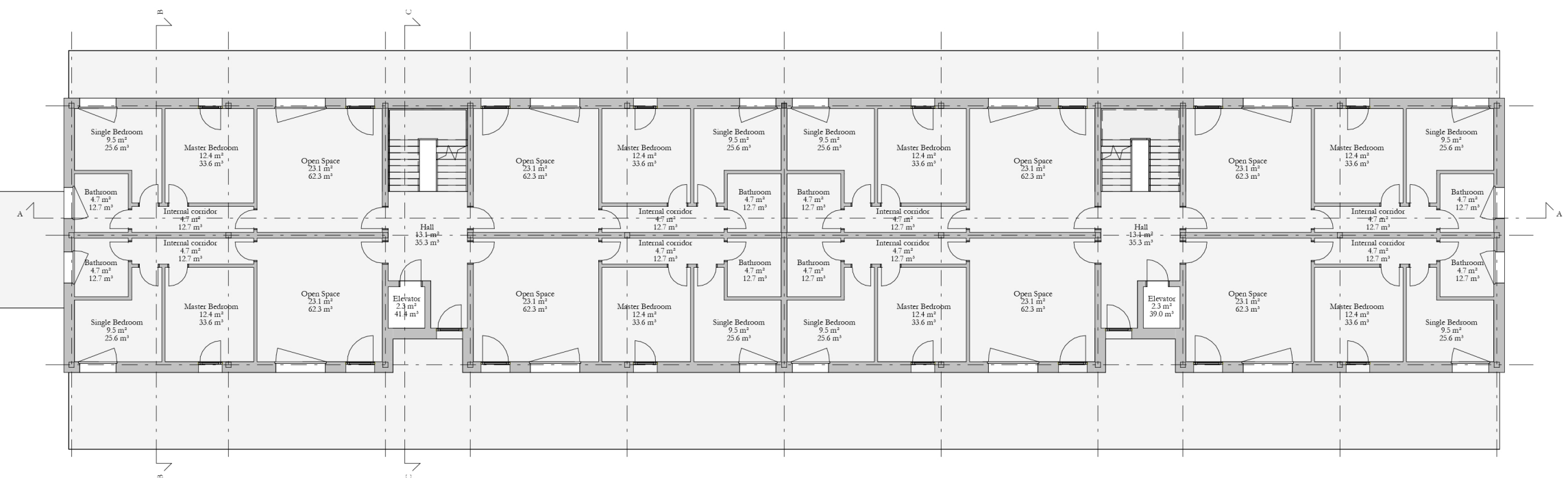
Section AA  
1:200



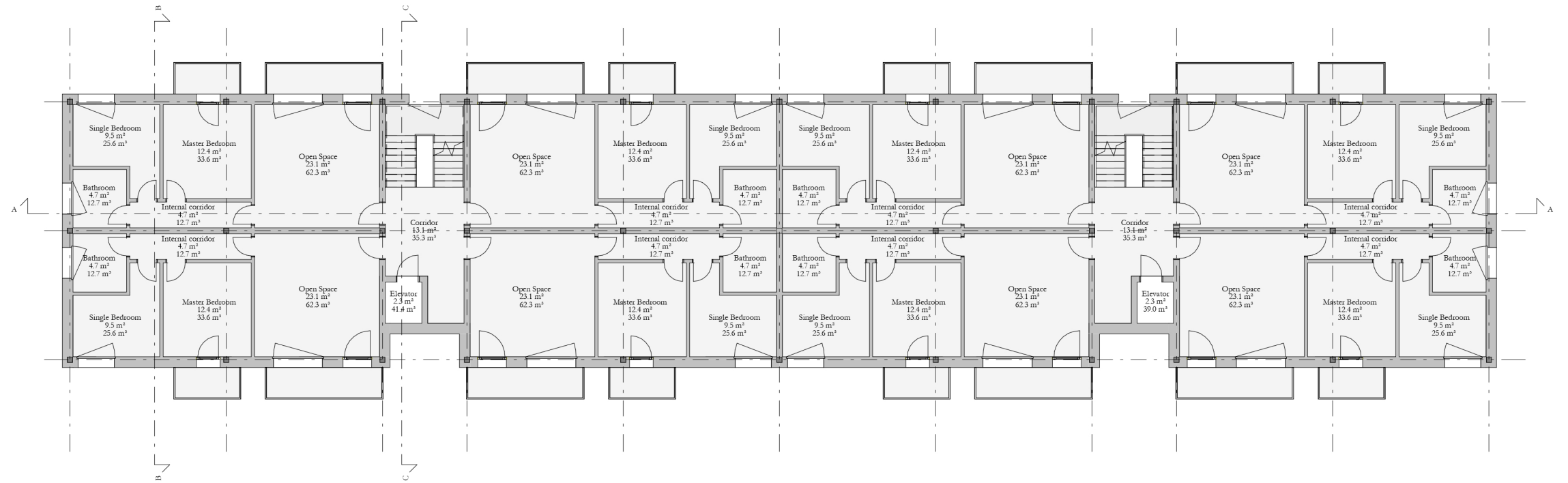
3D assonometric view



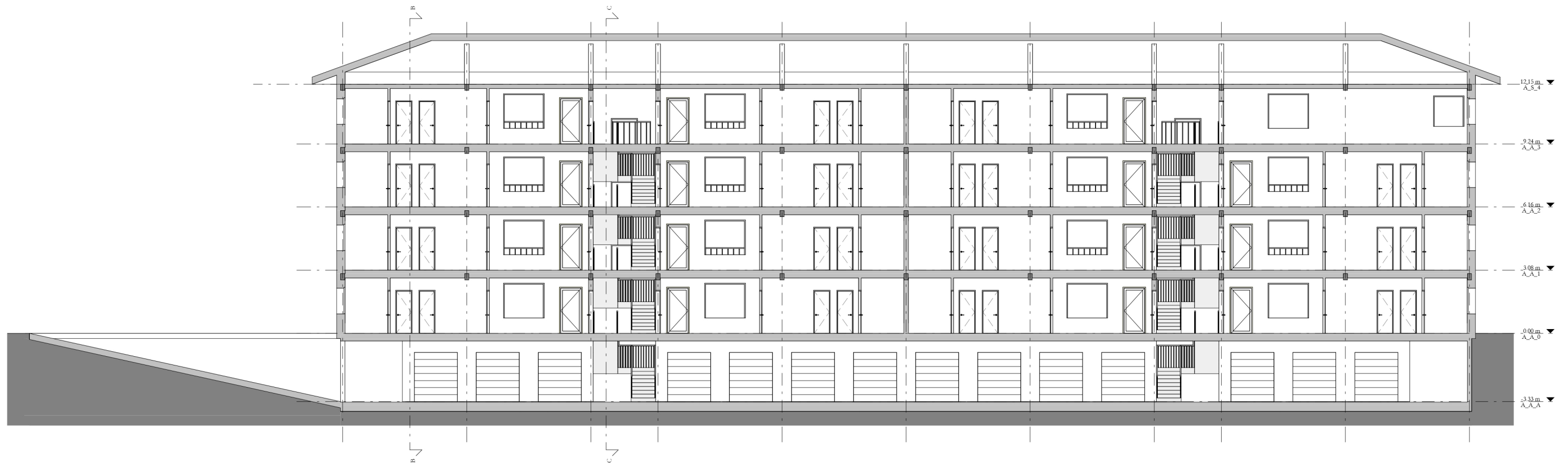
Underground floor plan  
1:200



Ground floor plan  
1:200



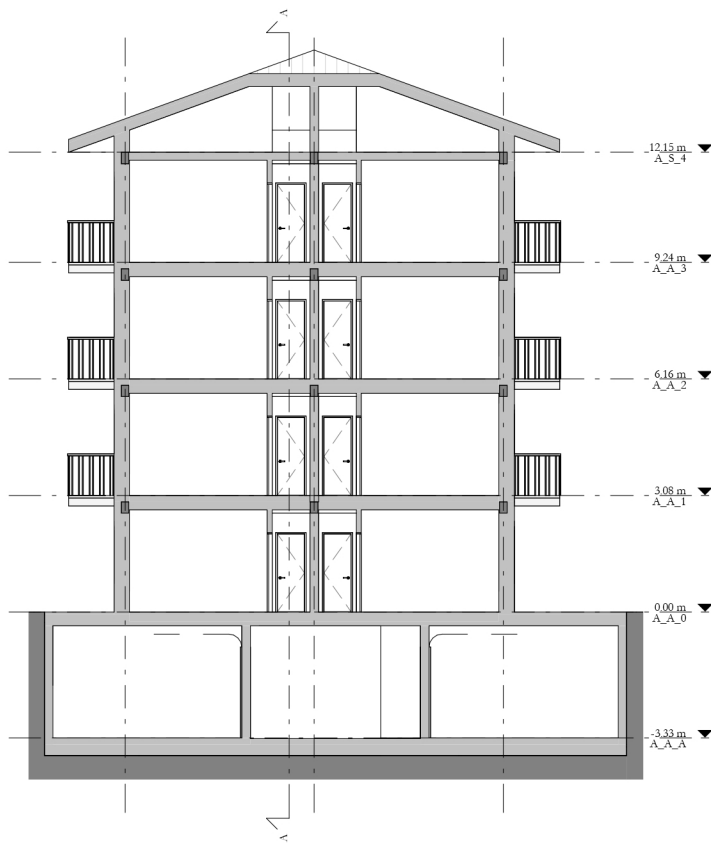
Aboveground standard floors plan  
1:200



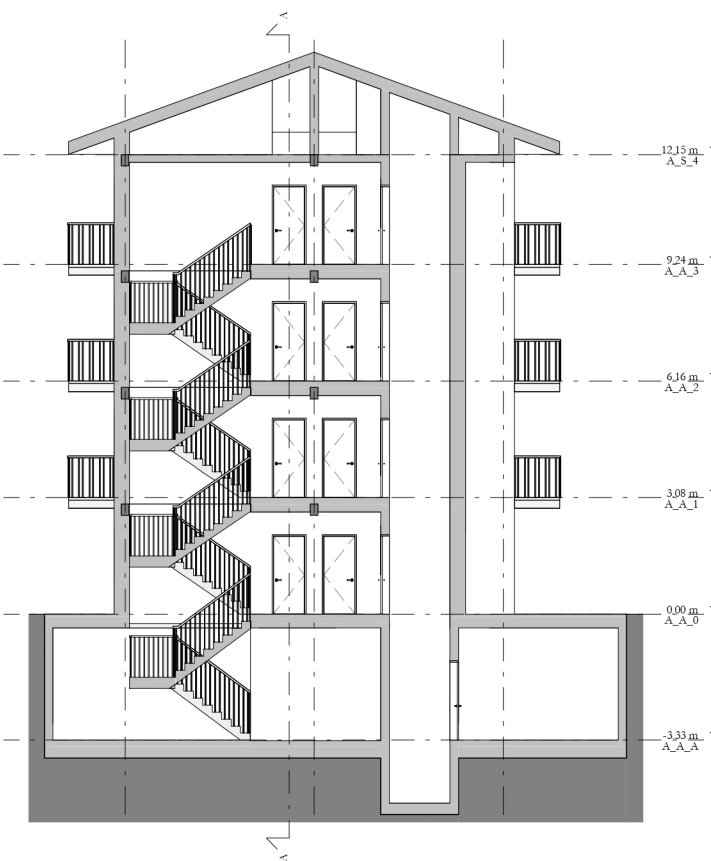
Section AA  
1:200

07.2

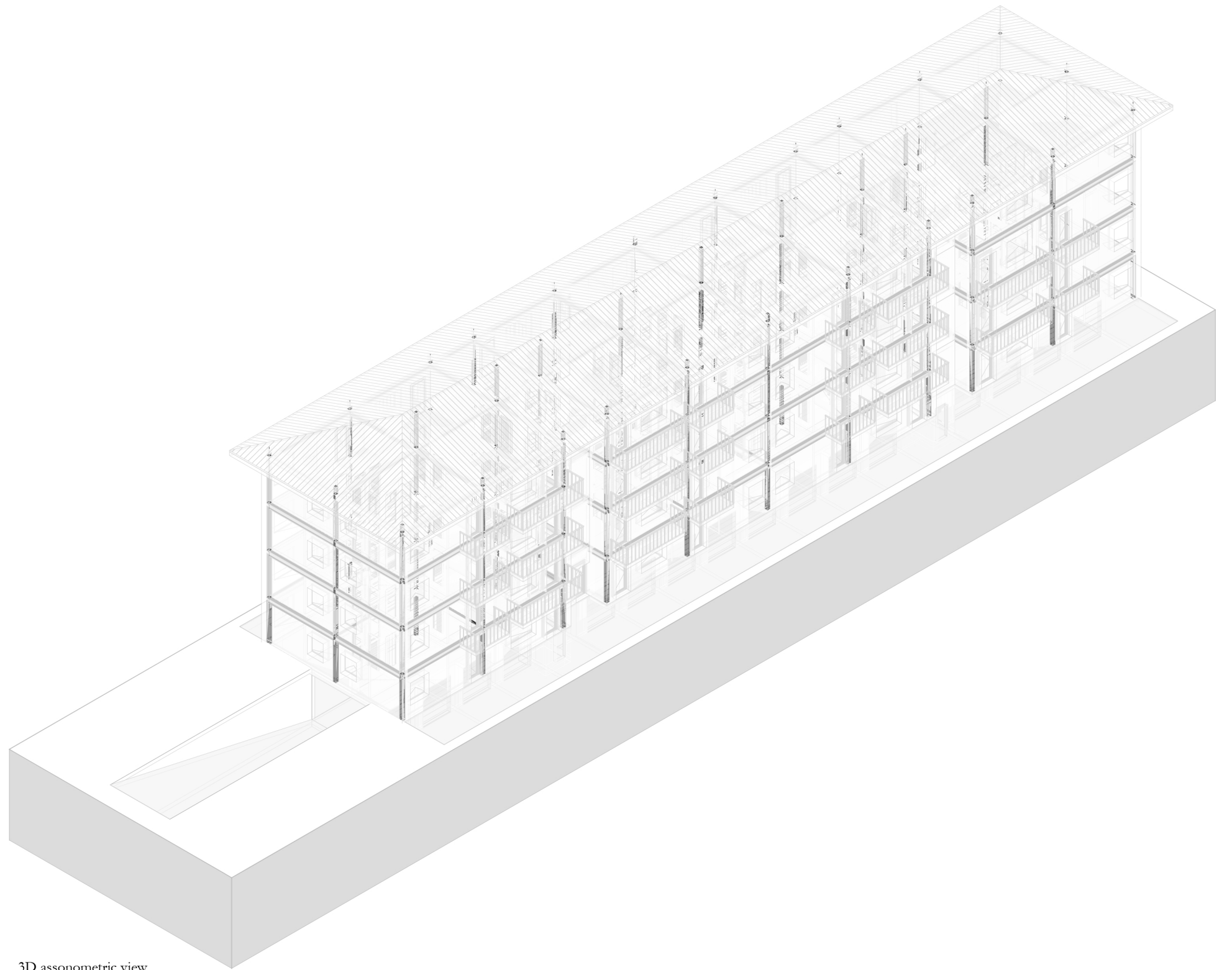
LRBo - Large Residential Building Horizontal



Section BB  
1:200



Section CC  
1:200



3D axonometric view



## 10. Bibliografia

- Andrieu, Christophe. 2003. «Monte Carlo Methods for Absolute Beginners».
- Autodesk. 2022a. «BIM Interoperability Tools». 2022.  
<https://www.youtube.com/c/BIMInteroperabilityTools>.
- . 2022b. «Spacemaker Overview». 2022.  
<https://www.autodesk.com/products/spacemaker/overview>.
- Beton Wood. 2022. «Pannelli in Fibra Di Legno FiberTherm Universal Dry». 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».
- BIMe Initiative. 2022a. «211in Model Uses List». 2022.  
<https://bimexcellence.org/resources/200series/211in/>.
- . 2022b. «291in Conceptual BIM Ontology». 2022.  
<https://bimexcellence.org/resources/200series/291in/>.
- . 2022c. «Bim Dictionary: BIM». 2022. <https://bimdictionary.com/it/building-information-modelling/2>.
- 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., e 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, e Hans Joachim Schellnhuber. 2020. «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, e 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/>.
- Ente Italiano di Normazione. 2019. *UNI EN ISO 19650-1*.
- Fabio Fantoni. 2022. «Le Zone Climatiche e Le Temperature: Quando Accendere i Termosifoni? Ecco Le Mappe Comunale Dell'Italia». *Il Sole 24 Ore*, ottobre. [https://www.infodata.ilssole24ore.com/2022/10/10/le-zone-climatiche-le-temperature-accendere-termosifoni-le-mappe-comunale-dellitalia/?refresh\\_ce=1](https://www.infodata.ilssole24ore.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 Riquilificazione 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 Riquilificazione 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, e Magnus Österbring. 2018. «Material-Intensity Database of Residential Buildings: A Case-Study of Sweden in the International Context». *Resources, Conservation and Recycling* 130 (marzo): 228–39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.11.022>.

- Guven, Gursans, Aldrick Arceo, Allison Bennett, Melanie Tham, Bolaji Olanrewaju, Molly McGrail, Kaan Isin, Alexander W. Olson, e Shoshanna Saxe. 2022. «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, e 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, e 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>.
- InfoBuild. 2022. «La Rivoluzione Digitale Dell'edilizia: Il BIM». 2022. <https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-rivoluzione-digitale-edilizia-building-information-modeling/>.
- 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, e Johann Fellner. 2017. «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, e Vassilis Daioglou. 2020. «Global Construction Materials Database and Stock Analysis of Residential Buildings between 1970-2050». *Journal of Cleaner Production* 247 (febbraio): 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, e 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». 30 marzo 2022. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-uniclass>.
- . 2022c. «What Is Uniclass». 30 marzo 2022.
- Noardo, Francesca, Dogus Guler, Judith Fauth, Giada Malacarne, Silvia Mastrolembro Ventura, Miguel Azenha, Per Ola Olsson, e Lennart Senger. 2022. «Unveiling the Actual Progress of Digital Building Permit: Getting Awareness through a Critical State of the Art Review». *Building and Environment* 213 (aprile): 108854. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2022.108854>.
- Ortlepp, Regine, Karin Gruhler, e Georg Schiller. 2018. «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, e Lina Seduikyte. 2022. «Comparative Study of Construction Information Classification Systems: CCI versus Uniclass 2015». *Buildings* 12 (5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050656>.
- Rockwool. 2022. «Pannello 226». 2022.
- 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, e Hiroki Tanikawa. 2019. «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, e 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=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.gt/books?id=hE2JusJg6qIC&printsec=frontcover&hl=it&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false).
- Stabila. 2022. «Modulare 20/30 h 19 ». 2022.
- Studio Petrillo. 2022a. «Pesi Specifici Materiali Da Costruzione». 2022. <https://www.studiopetrillo.com/pesi-specifici-materiali.html>.
- . 2022b. «Tabella Del Peso Rete Elettrosaldato Da Cemento Armato». <https://www.studiopetrillo.com/peso-rete-elettrosaldato.html>.
- Tahmasebinia, F., R. Jiang, S. Sepasgozar, J. Wei, Y. Ding, e 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, e 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, e Wei Pan. 2020. «Estimating and Minimizing Embodied Carbon of Prefabricated High-Rise Residential Buildings Considering Parameter, Scenario and Model Uncertainties». *Building and Environment* 180 (agosto): 106951. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106951>.

TestFit Inc. 2021. «TestFit Homepage». 2021. <https://testfit.io/>.

———. s.d. «TestFit Homepage». Consultato 12 ottobre 2022. <https://testfit.io/>.

Yang, Dong, Jing Guo, Lingwen Sun, Feng Shi, Jingru Liu, e Hiroki Tanikawa. 2020. «Urban Buildings Material Intensity in China from 1949 to 2015». *Resources, Conservation and Recycling* 159 (agosto). <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104824>.



## **Ringraziamenti**

Vorrei esprimere la mia gratitudine a tutti coloro che mi hanno accompagnato nello sviluppo di questo progetto di tesi. Un ringraziamento particolare è dedicato ai miei correlatori: Alessio Miatto, ricercatore presso l'Università di Yale e Paolo Borin, professore presso l'Università di Brescia. La riuscita di questa tesi non sarebbe stata possibile senza la loro guida, il loro supporto e le loro competenza e passione in materia.

Ringrazio di cuore la mia famiglia, i miei amici, i miei compagni di corso e di squadra per il loro innegabile supporto durante questi cinque anni di studi, per i traguardi, le soddisfazioni, le difficoltà, i divertimenti, le vittorie, le sconfitte e ogni singolo momento vissuto assieme.