

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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



**TESI DI LAUREA**

**PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA**

Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

**ANNO ACCADEMICO 2022-2023**





## ABSTRACT

L'esigenza di ridurre il consumo energetico degli edifici inizia con la crisi energetica mondiale che si manifesta negli anni Settanta, scaturita dall'interruzione del flusso di approvvigionamento di petrolio dai paesi dell'OPEC. Negli anni l'opinione sociale e politica porta a considerare e a dare la priorità ad un altro problema direttamente correlato alla produzione di energia: la crisi climatica e il surriscaldamento globale causato dai gas serra prodotti dai combustibili fossili, la principale fonte di energia primaria consumata attualmente.

Circa il 70% del parco edilizio italiano esistente è di età precedente ai primi obblighi normativi in materia di efficienza energetica e quasi il 40% del consumo energetico finale europeo deriva dagli edifici. Questi dati rendono palese la necessità di migliorare l'efficienza energetica degli edifici e ciò è possibile intervenendo sul loro involucro, sul sistema impiantistico e sui generatori termici, nonché dall'utilizzo di fonti pulite e rinnovabili per la produzione di energia primaria.

Dagli anni Settanta ad oggi numerose sono le norme, i regolamenti e le direttive che vengono pubblicate al fine di migliorare l'efficienza energetica degli edifici. Questo processo risulta però estremamente lungo e complesso, con diverse normative che vengono modificate, aggiornate e abrogate nel corso degli anni, rendendo spesso difficile la loro interpretazione da parte di progettisti ed esperti del settore. Questo percorso però le rende sempre più determinate e severe in termini di requisiti minimi energetici e si arriva così alla definizione di edifici a energia quasi zero (*nearly Zero Energy Building*, nZEB), ovvero edifici ad altissima efficienza energetica.

Gli obiettivi della Comunità europea di una economia a bassa intensità di carbonio entro il 2050 ha imposto una transizione obbligatoria verso edifici a energia quasi zero: secondo la direttiva 2010/31/UE, entro la fine del 2020 qualunque edificio di nuova costruzione deve essere un *nearly zero energy building* e, a partire dalla fine del 2018, qualunque edificio pubblico di nuova costruzione deve essere un *nearly zero energy building*.

La tesi tratta, dunque, la progettazione di un complesso residenziale di edilizia pubblica costituito da ventidue alloggi, pensati per ospitare nuclei di due, tre o quattro persone, localizzato in via Telesio a Padova, in un quartiere a sud della città. Particolare attenzione viene posta all'orientamento dell'edificio, ai materiali utilizzati, ai vari componenti e ai dettagli costruttivi al fine di disegnare un edificio efficiente dal punto di vista energetico

La progettazione e la modellazione del complesso avvengono principalmente in ambiente BIM tramite il software Autodesk Revit, permettendo, in conclusione del lavoro, di esportare il modello in file .IFC. Si passa, successivamente, alle analisi e alle verifiche energetiche, importando il file .IFC all'interno del software Edilclima e il suo modulo EC700. Questa fase richiede l'implementazione dei dati climatici locali, dei componenti e delle strutture dell'edificio, compresa la definizione di eventuali ponti termici. Si passa poi alla determinazione delle zone e dei locali climatici, dei sistemi impiantistici e dei generatori di calore, per giungere infine ai risultati finali, alle verifiche di legge e all'attesto di prestazione energetica APE.

## INDICE

<b>1. PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING.....</b>	<b>8</b>
1.1. INTRODUZIONE.....	8
1.2. QUADRO STORICO DELLA NORMATIVA ITALIANA: DAL 1976 AL 1993.....	9
1.2.1. <i>Legge 373/1976</i> .....	9
1.2.2. <i>Legge 10/1991</i> .....	9
1.2.3. <i>DPR 412/1993</i> .....	9
1.3. DIRETTIVE ENERGETICHE EUROPEE DEGLI ANNI NOVANTA E PROTOCOLLO DI KYOTO .....	11
1.4. DIRETTIVA 2002/91/CE.....	11
1.5. DECRETO LEGISLATIVO 192/2005.....	12
1.5.1. <i>Dlgs 192/2005</i> .....	12
1.5.2. <i>Dlgs 311/2006</i> .....	14
1.6. DIRETTIVE 2006/32/CE E 2009/28/CE E DECRETI DI RECEPIMENTO .....	15
1.6.1. <i>Direttiva 2006/32/CE</i> .....	15
1.6.2. <i>Dlgs 115/2008</i> .....	15
1.6.3. <i>Direttiva 2009/28/CE</i> .....	15
1.6.4. <i>Dlgs 28/2011</i> .....	16
1.7. DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 59/2009 E DECRETO MINISTERIALE 26 GIUGNO 2009 .....	17
1.7.1. <i>DPR 59/2009</i> .....	17
1.7.2. <i>DM 26 giugno 2009</i> .....	17
1.8. DIRETTIVA 2010/31/UE E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING .....	18
1.9. DECRETO-LEGGE 63/2013 E LEGGE 90/2013 .....	20
1.10. DECRETI DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 74/2013 E 75/2013.....	20
1.11. DIRETTIVA 2012/27/UE E DLGS 102/2014 .....	20
1.12. DECRETI INTERMINISTERIALI 26 GIUGNO 2015 .....	21
1.12.1. <i>Primo DM 26 giugno 2015</i> .....	21
1.12.2. <i>Secondo DM 26 giugno 2015</i> .....	30
1.12.3. <i>Terzo DM 26 giugno 2015</i> .....	30
1.13. DIRETTIVA (UE) 2018/844 .....	33
<b>2. PROGETTAZIONE DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE PUBBLICO.....</b>	<b>35</b>
2.1. INTRODUZIONE.....	35
2.2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI PROGETTO .....	35
2.3. INQUADRAMENTO URBANISTICO .....	40
2.4. INQUADRAMENTO DEL LUOGO E DEL CLIMA.....	41
2.4.1. <i>Luogo</i> .....	41

2.4.2.	<i>Clima</i> .....	43
2.5.	INQUADRAMENTO ARCHITETTONICO DEL PROGETTO .....	45
2.5.1.	<i>Studio dei volumi</i> .....	45
2.5.2.	<i>Progettazione degli interni</i> .....	46
2.5.3.	<i>Piante, prospetti, sezioni e viste</i> .....	48
2.5.4.	<i>Facciata ventilata</i> .....	59
2.5.5.	<i>Altri aspetti architettonici</i> .....	61
2.5.6.	<i>Concetto strutturale</i> .....	64
2.5.7.	<i>Componenti, materiali e dettagli costruttivi</i> .....	65
<b>3.</b>	<b>ANALISI ENERGETICA DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE PUBBLICO .....</b>	<b>72</b>
3.1.	INTRODUZIONE.....	72
3.1.1.	<i>Edilclima</i> .....	72
3.2.	MASCHERA DATI GENERALI.....	74
3.2.1.	<i>Dati progetto</i> .....	74
3.2.2.	<i>Dati climatici</i> .....	75
3.2.3.	<i>Regime normativo</i> .....	76
3.2.4.	<i>Dati default</i> .....	78
3.3.	ESPORTAZIONE E IMPORTAZIONE DEL MODELLO REVIT.....	79
3.4.	MASCHERA COMPONENTI INVOLUCRO .....	82
3.4.1.	<i>Nozioni generali</i> .....	82
3.4.2.	<i>Nozioni su muri, pavimenti e soffitti</i> .....	82
3.4.3.	<i>Nozioni sui ponti termici</i> .....	89
3.4.4.	<i>Nozioni sui componenti finestrati</i> .....	89
3.4.5.	<i>Dati e risultati dei componenti muri</i> .....	96
3.4.6.	<i>Dati e risultati dei componenti pavimento e soffitto</i> .....	105
3.4.7.	<i>Dati e risultati dei componenti finestrati</i> .....	111
3.5.	MASCHERA INPUT GRAFICO .....	116
3.6.	MASCHERA ZONE / LOCALI .....	126
3.7.	MASCHERA RISULTATI FABBRICATO .....	129
3.7.1.	<i>Nozioni generali</i> .....	129
3.7.2.	<i>Potenza invernale</i> .....	130
3.7.3.	<i>Energia invernale</i> .....	136
3.7.4.	<i>Energia estiva</i> .....	144
3.8.	MASCHERA IMPIANTI .....	153
3.8.1.	<i>Nozioni generali</i> .....	153
3.8.2.	<i>Impianto di riscaldamento</i> .....	155
3.8.3.	<i>Impianto di produzione acqua calda sanitaria</i> .....	158
3.8.4.	<i>Impianto di raffrescamento</i> .....	160

3.8.5.	<i>Impianto fotovoltaico</i> .....	162
3.9.	MASCHERA RISULTATI ENERGIA PRIMARIA .....	163
3.9.1.	<i>Nozioni generali</i> .....	163
3.9.2.	<i>Servizio di riscaldamento</i> .....	164
3.9.3.	<i>Servizio di produzione acqua calda sanitaria</i> .....	167
3.9.4.	<i>Servizio di raffrescamento</i> .....	169
3.9.5.	<i>Servizio solare fotovoltaico</i> .....	171
3.10.	MASCHERA VERIFICHE DI LEGGE.....	172
3.10.1.	<i>Nozioni generali</i> .....	172
3.10.2.	<i>Verifiche</i> .....	174
3.11.	MASCHERA ATTESTATI ENERGETICI .....	180
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>181</b>
<b>5.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>184</b>
<b>6.</b>	<b>APPENDICI</b> .....	<b>186</b>
6.1.	APPENDICE A – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI MURO UTILIZZATI NELL’ANALISI.....	186
6.2.	APPENDICE B – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI PAVIMENTO UTILIZZATI NELL’ANALISI .....	188
6.3.	APPENDICE C – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI SOFFITTO UTILIZZATI NELL’ANALISI .....	191
6.4.	APPENDICE D – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI FINESTRATI UTILIZZATI NELL’ANALISI .....	193
<b>7.</b>	<b>ALLEGATI</b> .....	<b>194</b>
7.1.	ALLEGATO 1 – TAVOLE DI PROGETTO .....	194

# 1. PRESTAZIONE ENERGETICA DEGLI EDIFICI E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

## 1.1. INTRODUZIONE

L'esigenza di ridurre il consumo energetico degli edifici inizia con la crisi energetica mondiale degli anni Settanta, scaturita dall'interruzione del flusso di approvvigionamento di petrolio dai paesi dell'OPEC. Oltre alla questione economica, sociale e politica della dipendenza di energia dei paesi europei verso quelli fornitori, si palesa, dunque, la scarsità delle materie prime necessarie alla sua produzione.

In seguito, la sensibilità rispetto alla riduzione del fabbisogno energetico degli edifici, sia a livello mondiale che europeo, si sviluppa considerando il problema dell'inquinamento causato dai combustibili fossili. L'effetto serra innescato dai gas inquinanti prodotti da questi ultimi, è ritenuta essere la principale causa del surriscaldamento globale, di profondi cambiamenti ambientali e della crisi climatica. La questione energetica risulta, quindi, essere di particolare importanza e conseguentemente la sua soluzione è ritenuta essere cruciale rispetto alle problematiche legate agli aspetti economici, sociali, politici e ambientali. A tal fine in questi ultimi decenni si è sviluppata gran parte dell'innovazione tecnologica nel settore delle costruzioni.

Gli studi inerenti mostrano che gli edifici sono responsabili del 40% del consumo globale di energia<sup>1</sup> nell'Unione Europea. Si osserva che circa il 70% del parco edilizio residenziale esistente in Italia è di età antecedente al 1976<sup>2</sup> [Figura 1.1] e, dunque, antecedente ai primi obblighi normativi in materia di efficientamento energetico. Diventa, perciò, obiettivo di fondamentale importanza quello di migliorare la prestazione energetica degli edifici. Questo processo si sviluppa primariamente attraverso l'emanazione di norme, regolamenti, direttive e piani, sia a livello nazionale che europeo.

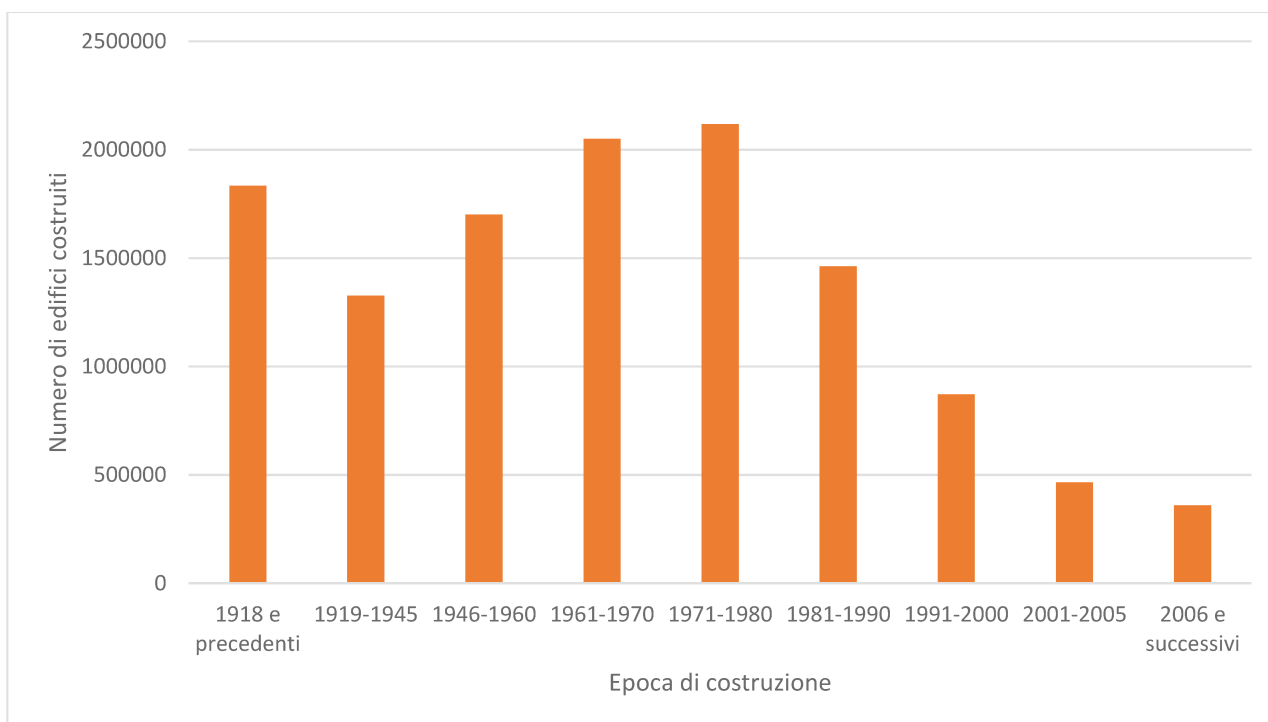


Figura 1.1 – Rappresentazione grafica del numero di edifici residenziali esistenti in Italia per epoca di costruzione. [Fonte: censimento ISTAT della popolazione e delle abitazioni 2011]

Si ritiene, pertanto, importante illustrare nei paragrafi seguenti l'evoluzione normativa in materia.

<sup>1</sup> (European Commission 2020)

<sup>2</sup> (Istat 2011)



## 1.2. QUADRO STORICO DELLA NORMATIVA ITALIANA: DAL 1976 AL 1993

### 1.2.1. Legge 373/1976

La prima normativa emanata in Italia che disciplina l'aspetto energetico degli edifici è la legge 30 marzo 1976, n. 373, norme per il contenimento del consumo energetico per usi termici negli edifici. In essa si trovano disposizioni che regolano la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici per il riscaldamento e la produzione di acqua calda. Vengono inoltre fornite prescrizioni sull'isolamento termico negli edifici di nuova costruzione o ristrutturazione, sia pubblici che privati. Ad integrare ed attuare questa legge, negli anni successivi sono pubblicati tre decreti:

- DPR 28 giugno 1977, n. 1052, regolamento di esecuzione della legge 373/1976 contenente la classificazione degli edifici per categorie, le disposizioni sulla progettazione, installazione, esercizio e manutenzione degli impianti termici, i termini per la presentazione della relazione tecnica inerente l'impianto termico e le prescrizioni per l'isolamento termico degli edifici, compresa la definizione del coefficiente volumico globale di dispersione termica;
- DM 10 marzo 1977, concernente la determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumici globali di dispersione termica;
- DM 30 luglio 1986, che aggiorna i coefficienti di dispersione termica degli edifici.

Il coefficiente volumico globale di dispersione termica  $C_g$  rappresenta la caratteristica termica dell'edificio ed è un requisito minimo prestazionale che i nuovi fabbricati e quelli da ristrutturare devono avere.

### 1.2.2. Legge 10/1991

La legge 9 gennaio 1991, n. 10, contiene norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia, in accordo con la politica energetica della Comunità economica europea. Nella presente legge si dettano norme per il contenimento del consumo di energia negli edifici:

- vengono fornite disposizioni, da attuare con decreti successivi, per la progettazione, messa in opera ed esercizio di edifici ed impianti, con particolare riferimento al contenimento del consumo energetico in funzione del progresso tecnologico;
- si cerca di fare degli edifici pubblici un esempio virtuoso, favorendo l'utilizzo di energia da fonti rinnovabili e promuovendo il suo uso razionale da parte degli stessi;
- si dispone la redazione di una relazione tecnica che attesti la rispondenza delle opere progettate alle prescrizioni della presente legge;
- si ordina che tramite decreto attuativo vengano emanate norme per la certificazione energetica degli edifici (questo provvedimento non verrà mai attuato).

La legge 10/1991 è la prima legge quadro finalizzata a regolare le modalità progettuali e la gestione del sistema edificio-impianto.

### 1.2.3. DPR 412/1993

Il decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, è una normativa in attuazione della legge 10/1991. È un regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.

In questo decreto vengono riportate le zone climatiche [Tabella 1.1] e le categorie di edifici [Tabella 1.2], già introdotti dalla legge 373/1976 e successivi provvedimenti attuativi, ma con una maggiore caratterizzazione. Si definiscono, inoltre, i valori massimi della temperatura ambiente nella climatizzazione invernale e i requisiti minimi e le disposizioni sul dimensionamento degli impianti.

Tabella 1.1 – Divisione dei comuni italiani in zone climatiche, in funzione dei gradi giorno<sup>3</sup>. [Fonte: DPR 412/1993]

Zona climatica	Gradi giorno
A	comuni che presentano un numero di gradi giorno non superiore a 600
B	comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 600 e non superiore a 900
C	comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 900 e non superiore a 1400
D	comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 1400 e non superiore a 2100
E	comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 2100 e non superiore a 3000
F	comuni che presentano un numero di gradi giorno maggiore di 3000

Tabella 1.2 – Classificazione degli edifici in base alla loro destinazione d'uso. [Fonte: DPR 412/1993]

Categoria dell'edificio	Destinazione d'uso
E.1	Edifici adibiti a residenza e assimilabili:
E.1 (1)	abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, collegi, conventi, case di pena, caserme
E.1 (2)	abitazioni adibite a residenza con occupazione saltuaria, quali case per vacanze, fine settimana e simili
E.1 (3)	edifici adibiti ad albergo, pensione ed attività similari
E.2	Edifici adibiti a uffici e assimilabili: pubblici o privati, indipendenti o contigui a costruzioni adibite anche ad attività industriali o artigianali, purché siano da tali costruzioni scorporabili agli effetti dell'isolamento termico
E.3	Edifici adibiti a ospedali, cliniche o case di cura e assimilabili ivi compresi quelli adibiti a ricovero o cura di minori o anziani nonché le strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossicodipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici
E.4	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili:
E.4 (1)	quali cinema e teatri, sale di riunioni per congressi
E.4 (2)	quali mostre, musei e biblioteche, luoghi di culto
E.4 (3)	quali bar, ristoranti, sale da ballo
E.5	Edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili: quali negozi, magazzini di vendita all'ingrosso o al minuto, supermercati, esposizioni
E.6	Edifici adibiti ad attività sportive:
E.6 (1)	piscine, saune e assimilabili
E.6 (2)	palestre e assimilabili
E.6 (3)	servizi di supporto alle attività sportive
E.7	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
E.8	Edifici adibiti ad attività industriali ed artigianali e assimilabili

<sup>3</sup> Gradi giorno: di una località, la somma, estesa a tutti i giorni di un periodo annuale convenzionale di riscaldamento, delle sole differenze positive giornaliere tra la temperatura dell'ambiente, convenzionalmente fissata a 20°C, e la temperatura media esterna giornaliera.

Ultimo aspetto di interesse introdotto dalla presente normativa è il fabbisogno energetico normalizzato per la climatizzazione invernale *FEN*. Si tratta di un parametro espresso dal bilancio energetico del sistema edificio-impianto e tiene conto dei diversi apporti e perdite che entrano ed escono dal sistema. Il valore di tale parametro deve risultare minore del valore limite fornito dalla normativa.

Il *FEN*, dunque, rappresenta un requisito minimo della prestazione energetica dell'edificio, simile al coefficiente volumico globale di dispersione termica  $C_g$  definito dalla legge 373/1976 e successivi provvedimenti attuativi, ma che valuta in maniera più completa le diverse forme di energia che entrano ed escono dal sistema edificio-impianto.

### 1.3. DIRETTIVE ENERGETICHE EUROPEE DEGLI ANNI NOVANTA E PROTOCOLLO DI KYOTO

Il 29 ottobre 1991 in Europa viene presa la decisione 91/565/CEE volta alla promozione dell'efficienza energetica della Comunità (programma *SAVE, Specific Actions for Vigorous Energy Efficiency*). Da questa decisione, negli anni successivi, nascono diverse direttive in diversi settori volte a contenere il consumo energetico. Nel settore edilizio in particolare si hanno:

- direttiva 92/42/CEE, del 21 maggio 1992, concernente i requisiti di rendimento per le nuove caldaie ad acqua calda alimentate con combustibili liquidi o gassosi;
- direttiva 93/76/CEE, del 13 settembre 1993, intesa a limitare le emissioni di biossido di carbonio migliorando l'efficienza energetica tramite programmi che riguardano:
  - la certificazione energetica degli edifici;
  - la fatturazione delle spese di riscaldamento, climatizzazione ed acqua calda per usi igienici sulla base del consumo effettivo;
  - il finanziamento tramite terzi degli investimenti di efficienza energetica nel settore pubblico;
  - isolamento termico degli edifici nuovi;
  - controllo periodico delle caldaie;
  - diagnosi energetiche presso imprese ad elevato consumo di energia;
- direttiva 96/57/CE, del 3 settembre 1996, sui requisiti di rendimento energetico di frigoriferi, congelatori e loro combinazioni di uso domestico.

L'11 dicembre 1997 viene pubblicato il protocollo di Kyoto a seguito della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC). È il primo strumento giuridico intercontinentale volto a ridurre le emissioni di gas ad effetto serra responsabili del riscaldamento del pianeta. Uno dei principali effetti di questo accordo è lo sviluppo normativo europeo concernente il miglioramento dell'efficienza energetica nell'edilizia, al fine di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> e di altri gas serra.

### 1.4. DIRETTIVA 2002/91/CE

La prima direttiva per conformarsi al protocollo di Kyoto è la 2002/91/CE del 16 dicembre 2002 che introduce per la prima volta a livello europeo il concetto di prestazione energetica nell'edilizia (*Energy Performance of Buildings Directive, EPBD*), ovvero, la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i vari bisogni connessi ad un uso standard dell'edificio, compresi, tra gli altri, il riscaldamento, la produzione di acqua calda, il raffreddamento, la ventilazione e l'illuminazione.

L'obiettivo della direttiva è quello di promuovere l'efficientamento energetico degli edifici nella Comunità, tenendo conto delle condizioni locali e climatiche esterne, nonché delle prescrizioni per quanto riguarda il clima degli ambienti interni e l'efficacia sotto il profilo dei costi.

Gli aspetti fondamentali introdotti dalla EPBD possono riassumersi in:

- metodologia di calcolo;

- requisiti minimi;
- certificazione energetica;
- ispezione periodica degli impianti di riscaldamento e raffrescamento;
- esperti indipendenti per la certificazione e l'ispezione.

La metodologia di calcolo, stabilita da ogni Stato membro e applicata a livello nazionale o regionale, ha lo scopo di determinare i parametri energetici dell'edificio e deve tenere conto di un quadro generale fornito dalla direttiva stessa. Bisogna, in particolare, prendere in considerazione:

- le caratteristiche termiche dell'edificio;
- gli impianti di riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, produzione di acqua calda sanitaria e, con esclusione degli edifici residenziali, illuminazione;
- la posizione ed orientamento dell'edificio;
- i sistemi solari passivi e di protezione solare;
- la ventilazione naturale;
- la qualità climatica interna.

È necessario tener conto, inoltre, dei vantaggi che derivano dall'uso di sistemi di generazione di calore ed elettricità a partire da fonti energetiche rinnovabili, o di altri sistemi che vanno a ridurre i consumi di energia, rispetto a quelli tradizionali, come ad esempio la cogenerazione, il teleriscaldamento e il teleraffrescamento. Ai fini del calcolo, viene introdotta anche una categorizzazione degli edifici.

I requisiti minimi hanno, invece, lo scopo di definire i valori limite di prestazione energetica dell'edificio e sono determinati in base alla metodologia di calcolo precedentemente descritta. Possono dipendere dalla categoria dell'edificio e dal tipo di intervento (nuova costruzione o ristrutturazione importante). La direttiva sottolinea che devono essere in funzione del progresso tecnologico. In altre parole, l'obiettivo del normatore è quello di renderli sempre più stringenti col passare del tempo al fine di arrivare ad avere edifici con prestazioni energetiche elevatissime. Viene inoltre imposto agli Stati membri che gli edifici di nuova costruzione e le ristrutturazioni di fabbricati di notevole dimensione, soddisfino i requisiti minimi di prestazione energetica.

L'attestato di certificazione energetica è un documento che deve essere reso necessario in fase di costruzione, compravendita o locazione di un edificio e ha validità massima di dieci anni. In esso si trovano dati ed informazioni di riferimento che consentano ai consumatori di valutare facilmente la prestazione energetica dell'edificio, nonché raccomandazioni per il suo miglioramento in termini di costi-benefici.

Al fine di ridurre il consumo energetico e i livelli di emissione di biossido di carbonio, gli Stati membri devono, infine, adottare le misure necessarie per l'ispezione periodica dei generatori di calore e dei sistemi di climatizzazione.

La direttiva 2002/91/CE pone, dunque, le basi per lo sviluppo normativo dell'efficientamento energetico nell'edilizia, fornendo i concetti fondamentali per la progettazione di edifici a ridotti consumi e coperti da energia pulita, favorendo il recupero e la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente.

## 1.5. DECRETO LEGISLATIVO 192/2005

### 1.5.1. *Dlgs 192/2005*

In Italia, la direttiva 2002/91/CE viene recepita ed attuata dal decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192. In esso si trovano gli aspetti generali che disciplinano i diversi concetti introdotti dalla EPBD:

- la metodologia per il calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici;
- l'applicazione dei requisiti minimi;
- la certificazione energetica;
- le ispezioni periodiche degli impianti di climatizzazione;

- la qualificazione e l'indipendenza degli esperti incaricati per la certificazione energetica e per l'ispezione degli impianti.

La loro piena attuazione e definizione, però, viene demandata, attraverso gli articoli 4 e 6 della presente normativa, a decreti successivi. Viene comunque introdotto e reso obbligatorio l'attestato di certificazione energetica dell'edificio, entro un anno dall'entrata in vigore del Dlgs 192/2005, per tutti gli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti ad importanti interventi di ristrutturazione.

In attesa dei decreti di cui all'articolo 4, il normatore fornisce delle disposizioni in regime transitorio per il calcolo della prestazione energetica degli edifici nella climatizzazione invernale e il fabbisogno annuo di energia primaria, nell'Allegato I, nonché per la determinazione dei requisiti minimi, nell'Allegato C. Per questi ultimi, in particolare, vengono stabiliti i valori limite per:

- il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale, espresso in  $kWh/m^2\text{anno}$ , in funzione della zona climatica, dei gradi giorno, espressi in GG, e del rapporto di forma dell'edificio  $S/V$ , dove:
  - $S$  è la superficie che delimita il volume  $V$ , espressa in  $m^2$ ;
  - $V$  è il volume lordo delle parti riscaldate dell'edificio, espresso in  $m^3$ ;
- le trasmittanze termiche  $U$  di strutture verticali, orizzontali e chiusure trasparenti, espresse in  $W/m^2K$ , i cui valori sono resi più severi a intervalli di tempo successivi;
- il rendimento globale medio stagionale dell'impianto termico.

Rapporto di forma dell'edificio $S/V$	Zona climatica										
	A		B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG	
$\leq 0,2$	10	10	15	15	25	25	40	40	55	55	
$\geq 0,9$	45	45	60	60	85	85	110	110	145	145	

Figura 1.2 – Tabella 1 dell'Allegato C del Dlgs 192/2005 con i valori limite del fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale, espresso in  $kWh/m^2\text{anno}$ . [Fonte: Allegato C del Dlgs 192/2005]

Zona climatica	Dall' 1 gennaio 2006 $U$ ( $W/m^2K$ )	Dall' 1 gennaio 2009 $U$ ( $W/m^2K$ )
A	0,85	0,72
B	0,64	0,54
C	0,57	0,46
D	0,50	0,40
E	0,46	0,37
F	0,44	0,35

Figura 1.3 – Tabella 2 dell'Allegato C del Dlgs 192/2005 con i valori limite della trasmittanza termica  $U$  delle strutture verticali opache. [Fonte: Allegato C del Dlgs 192/2005]

Infine, per quanto riguarda i calcoli della prestazione termica ed energetica del sistema edificio-impianto, il normatore fa riferimento alla legge 10/1991, al DPR 412/1993 e all'utilizzo di norme tecniche vigenti emanate da organismi nazionali o comunitari, quali l'UNI, il CEN, le università, il CNR e l'ENEA. In sede progettuale, si dovrà procedere alla verifica e al soddisfacimento, in riferimento ai valori limite dei requisiti minimi, dei valori così calcolati del fabbisogno annuo di energia primaria, delle trasmittanze termiche e dei rendimenti dell'impianto termico.

### 1.5.2. Dlgs 311/2006

Il decreto legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, reca disposizioni correttive ed integrative al Dlgs 192/2005. Tra le modifiche più rilevanti si ha l'introduzione dell'attestato di qualificazione energetica che va a semplificare e sostituire in via transitoria l'attestato di certificazione energetica, fino all'entrata in vigore del decreto<sup>4</sup> previsto dall'articolo 6 del Dlgs 192/2005.

Vengono, inoltre, rettificati la metodologia di calcolo e i requisiti minimi della prestazione energetica degli edifici. In particolare, nei requisiti si ha una loro applicazione più severa in termini di valori limite e tempistiche e vengono resi in funzione anche della categoria dell'edificio [Figure 1.4 - 1.5 - 1.6]. Si sottolinea, per chiarezza lessicale, che il fabbisogno annuo di energia primaria è sostituito dall'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale.

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤0,2	9,5	9,5	14	14	23	23	37	37	52	52
≥0,9	41	41	55	55	78	78	100	100	133	133

Figura 1.4 – Tabella 1.2 dell'Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006, con i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale degli edifici residenziali, espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno, applicabili dal 1° gennaio 2008. [Fonte: Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006]

Rapporto di forma dell'edificio S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	fino a 600 GG	a 601 GG	a 900 GG	a 901 GG	a 1400 GG	a 1401 GG	a 2100 GG	a 2101 GG	a 3000 GG	oltre 3000 GG
≤0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≥0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Figura 1.5 – Tabella 1.3 dell'Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006, con i valori limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale degli edifici residenziali, espresso in kWh/m<sup>2</sup>anno, applicabili dal 1° gennaio 2010. [Fonte: Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006]

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)
A	0,85	0,72	0,62
B	0,64	0,54	0,48
C	0,57	0,46	0,40
D	0,50	0,40	0,36
E	0,46	0,37	0,34
F	0,44	0,35	0,33

Figura 1.6 – Tabella 2.1 dell'Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006, con i valori limite della trasmittanza termica U delle strutture verticali opache, per tutte le categorie di edifici. [Fonte: Allegato C del Dlgs 192/2005, così come aggiornato dal Dlgs 311/2006]

<sup>4</sup> DM 26 giugno 2009, Linee guida per la certificazione energetica degli edifici.

## 1.6. DIRETTIVE 2006/32/CE E 2009/28/CE E DECRETI DI RECEPIMENTO

### 1.6.1. *Direttiva 2006/32/CE*

La direttiva 2006/32/CE del 5 aprile 2006 concerne l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici. È un'altra di quelle direttive che si inseriscono nel quadro delle politiche e delle misure concrete da applicare per la realizzazione degli obiettivi e degli accordi internazionali del protocollo di Kyoto. Lo scopo di questa è quello di fornire indicazioni, meccanismi e incentivi al fine di eliminare le barriere e le imperfezioni esistenti sul mercato che ostacolano un efficiente uso finale dell'energia.

La normativa pone agli Stati membri il raggiungimento dell'obiettivo indicativo globale del risparmio energetico pari al 9% entro il nono anno di applicazione della suddetta direttiva. Tutte le misure e i risultati di miglioramento energetico dovranno essere illustrati e descritti nel piano d'azione nazionale per l'efficienza energetica (PAEE). La normativa si assicura inoltre che il settore pubblico svolga un ruolo esemplare nel contesto della presente direttiva.

### 1.6.2. *Dlgs 115/2008*

Il decreto legislativo 30 maggio 2008, n. 115, è il decreto di recepimento ed attuazione della direttiva 2006/32/CE e ricopre diversi ambiti e situazioni la cui semplificazione può portare ad un uso efficiente dell'energia. Specificatamente per il settore dell'edilizia, vengono semplificati e rimossi alcuni procedimenti amministrativi e regolamentari al fine di agevolare gli interventi di efficientamento energetico degli edifici.

Il presente decreto introduce, inoltre, gli obblighi della pubblica amministrazione per quanto concerne l'edilizia pubblica, tra cui le diagnosi energetiche nel caso di interventi di ristrutturazione, volte a individuare eventuali misure di miglioramento dell'efficienza energetica.

Infine, il normatore fornisce nuovi strumenti di attuazione della metodologia di calcolo e dei requisiti dei soggetti certificatori<sup>5</sup>, in sostituzione e fino all'entrata in vigore dei decreti previsti dall'articolo 4 del Dlgs 192/2005. In particolare, il decreto predispone l'adozione delle UNI/TS 11300<sup>6</sup>, un pacchetto di specifiche tecniche che ha l'obiettivo di definire una metodologia di calcolo univoca per la prestazione energetica degli edifici.

### 1.6.3. *Direttiva 2009/28/CE*

La direttiva 2009/28/CE del 23 aprile 2009 ha lo scopo di promuovere l'uso di energia da fonti rinnovabili. Anche questa fa parte di quelle misure necessarie per rispettare il protocollo di Kyoto.

La direttiva 2009/28/CE dispone obiettivi nazionali generali obbligatori per la quota complessiva di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale lordo di energia [Figura 1.7]. Tale quota deve essere raggiunta da ciascun Stato membro entro il 2020, così da garantire l'obiettivo complessivo del 20% di copertura in tutta la Comunità. Devono essere, inoltre, adottati dei piani d'azione nazionali (PAN) in cui vengano fissati gli obiettivi, le indicazioni e le misure appropriate da adottare per raggiungere la propria quota di energia da fonti rinnovabili.

Il normatore dispone specificatamente che parte di questo obiettivo sia coperto dal settore edilizio:

- entro la fine del 2014 gli Stati membri impongono l'uso di livelli minimi di energia da fonti rinnovabili in tutti gli edifici nuovi e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti;
- a partire da inizio 2012 gli Stati membri provvedono affinché i nuovi edifici pubblici e gli edifici pubblici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, svolgano un ruolo di esempio nel contesto della presente direttiva.

---

<sup>5</sup> Allegato III del Dlgs 115/2008.

<sup>6</sup> Coerenti con le norme elaborate dal CEN nell'ambito del mandato M/343 a supporto della direttiva 2002/91/CE.

	Quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale di energia, 2005 (S <sub>2005</sub> )	Obiettivo per la quota di energia da fonti rinnovabili sul consumo finale di energia, 2020 (S <sub>2020</sub> )
Belgio	2,2 %	13 %
Bulgaria	9,4 %	16 %
Repubblica ceca	6,1 %	13 %
Danimarca	17,0 %	30 %
Germania	5,8 %	18 %
Estonia	18,0 %	25 %
Irlanda	3,1 %	16 %
Grecia	6,9 %	18 %
Spagna	8,7 %	20 %
Francia	10,3 %	23 %
Italia	5,2 %	17 %
Cipro	2,9 %	13 %
Lettonia	32,6 %	40 %
Lituania	15,0 %	23 %
Lussemburgo	0,9 %	11 %
Ungheria	4,3 %	13 %
Malta	0,0 %	10 %
Paesi Bassi	2,4 %	14 %
Austria	23,3 %	34 %
Polonia	7,2 %	15 %
Portogallo	20,5 %	31 %
Romania	17,8 %	24 %
Slovenia	16,0 %	25 %
Repubblica slovacca	6,7 %	14 %
Finlandia	28,5 %	38 %
Svezia	39,8 %	49 %
Regno Unito	1,3 %	15 %

Figura 1.7 – Tabella A dell’Allegato I della direttiva 2009/28/CE recante gli obiettivi nazionali generali per il 2020 degli stati europei. [Fonte: Allegato I della direttiva 2009/28/CE]

#### 1.6.4. Dlgs 28/2011

Il decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28, è il decreto di recepimento ed attuazione della direttiva 2009/28/CE. In particolare, per il settore edilizio si dispone l’obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili. Negli edifici di nuova costruzione e negli edifici esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti, la normativa stabilisce un minimo di copertura di energia generata da impianti termici alimentati da fonti rinnovabili per la produzione di acqua calda sanitaria pari al 50%. In contemporanea, deve essere soddisfatta la seguente percentuale della somma dei consumi previsti per l’acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento:

- a) il 20% dal 31 maggio 2012;
- b) il 35% dal 1° gennaio 2014;
- c) il 50% dal 1° gennaio 2017.

Queste misure hanno lo scopo di rendere gli edifici sempre più efficienti sotto il profilo energetico.



## 1.7. DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 59/2009 E DECRETO MINISTERIALE 26 GIUGNO 2009

### 1.7.1. DPR 59/2009

Il decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, è il primo decreto di attuazione del Dlgs 192/2005, ai sensi dell'articolo 4. Fornisce i criteri generali, le metodologie di calcolo e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici e degli impianti termici per la climatizzazione invernale e per la preparazione dell'acqua calda sanitaria, da applicare in modo omogeneo e coordinato su tutto il territorio nazionale. Per quanto riguarda i sistemi per la climatizzazione estiva e l'illuminazione non sono ancora state pienamente sviluppate le norme tecniche in grado di determinare il loro fabbisogno di energia primaria, per cui la loro definizione viene demandata a provvedimenti successivi.

Per le metodologie di calcolo, il normatore adotta nuovamente le norme tecniche UNI/TS 11300 e loro successive modificazioni. Quelle fino ad ora disponibili sono:

- a) UNI/TS 11300 – 1 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- b) UNI/TS 11300 – 2 Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

La prima permette di calcolare la prestazione termica dell'involucro dell'edificio, sia per la climatizzazione invernale che quella estiva. La seconda serve per calcolare la prestazione energetica, ovvero l'energia primaria, del sistema edificio-impianto, visto nella sua interezza, in relazione allo specifico impianto termico installato. Si desume, dunque, che non è ancora possibile determinare il fabbisogno di energia primaria necessaria per la definizione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva attraverso le UNI/TS 11300.

Per quanto concerne i criteri generali e i requisiti minimi per la prestazione energetica degli edifici, il normatore fa riferimento alla legge 10/1991, al DPR 412/1993, all'Allegato C del Dlgs 192/2005 e alle ulteriori disposizioni contenute nel presente decreto, non apportando, di fatto, quasi nulla di nuovo.

### 1.7.2. DM 26 giugno 2009

Più interessante è il decreto ministeriale 26 giugno 2009, il secondo decreto di attuazione del Dlgs 192/2005, ai sensi dell'articolo 6. Fornisce le *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici*. Il suo scopo è quello di diffondere e rendere comparabili le certificazioni energetiche sull'intero territorio nazionale in conformità alla direttiva 2002/91/CE. Inoltre, la certificazione energetica degli immobili è obbligatoria per gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazione importante, per quelli oggetto di compravendita o locazione e per gli edifici pubblici esistenti che superano una determinata metratura di superficie utile totale.

Gli elementi essenziali del sistema di certificazione sono:

- i dati informativi relativi all'efficienza energetica dell'edificio, ai valori vigenti a norma di legge e ai valori di riferimento o classi prestazionali che consentano ai cittadini di valutare in modo agevole la prestazione energetica dell'edificio;
- i suggerimenti in merito agli interventi migliorativi più significativi ed economicamente convenienti;
- le norme tecniche di riferimento;
- le metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici;
- i requisiti professionali e i criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza dei soggetti certificatori;
- la validità temporale massima dell'attestato;

- le prescrizioni relative all'aggiornamento dell'attestato in relazione ad ogni intervento che migliori la prestazione energetica dell'edificio.

Le *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici* sono contenute nell'Allegato A del presente decreto. In particolare, vengono individuati un sistema di classificazione degli edifici e le metodologie di calcolo della prestazione energetica, in funzione delle caratteristiche dell'edificio e del livello di approfondimento richiesto.

Le metodologie di calcolo si dividono in due tipologie:

- metodo calcolato di progetto;
- metodo di calcolo da rilievo sull'edificio o standard, per il quale sono previsti diversi livelli di approfondimento, in funzione dei requisiti di semplificazione finalizzati a minimizzare gli oneri a carico dei richiedenti.

Il metodo calcolato di progetto e il primo livello di approfondimento del metodo di calcolo da rilievo sono considerati di riferimento a livello nazionale.

La classificazione degli edifici si basa sulla loro prestazione energetica. Il parametro di riferimento è l'indice di prestazione energetica globale  $EP_{gl}$ , espresso in  $kWh/m^2\text{anno}$ :

$$EP_{gl} = EP_i + EP_{acs} + EP_e + EP_{ill} \quad (1.1)$$

dove:

- $EP_i$  è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale;
- $EP_{acs}$  è l'indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria;
- $EP_e$  è l'indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva;
- $EP_{ill}$  è l'indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale.

L'indice del singolo servizio energetico identifica una classe prestazionale parziale. Ciascuna di esse deve essere definita, inoltre, da dati quali il fabbisogno energetico dell'involucro e il rendimento medio stagionale dell'impianto.

I requisiti minimi definiti nell'Allegato C del Dlgs 192/2005 [Figura 1.5] determinano il valore limite dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale che gli edifici devono avere dal 2010. Tale valore viene usato, con opportuni fattori di riduzione o di maggiorazione, per individuare i limiti delle classi per la prestazione energetica nella climatizzazione invernale.

## 1.8. DIRETTIVA 2010/31/UE E NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

Il 19 maggio 2010 viene pubblicata la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia (EPBD *recast* o EPBD 2). Si tratta di una rifusione della EPBD del 2002 in quanto, a seguito del regolamento (CE) n. 1137/2008, è stata oggetto di sostanziali modifiche.

La direttiva 2010/31/UE fornisce per la prima volta a livello europeo la definizione di edificio a energia quasi zero (*nearly Zero Energy Building*, nZEB): edificio ad altissima prestazione energetica, il cui fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze. L'altissima prestazione energetica viene determinata da metodologie di calcolo conformi ad un quadro comune generale al quale gli Stati membri devono attenersi, con riguardo in particolare a:

- caratteristiche termiche effettive dell'edificio, comprese le sue divisioni interne, tra cui:
  - capacità termica;
  - isolamento;
  - riscaldamento passivo;
  - elementi di rinfrescamento;
  - ponti termici;

- impianto di riscaldamento e di produzione di acqua calda, comprese le relative caratteristiche di isolamento;
- impianti di condizionamento d'aria;
- ventilazione naturale e meccanica, compresa eventualmente l'ermeticità all'aria;
- impianto di illuminazione incorporato (principalmente per il settore non residenziale);
- progettazione, posizione e orientamento dell'edificio, compreso il clima esterno;
- sistemi solari passivi e protezione solare;
- condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;
- carichi interni.

Il calcolo deve tener conto, inoltre, dei vantaggi derivati dalle seguenti opzioni:

- condizioni locali di esposizione al sole, sistemi solari attivi ed altri impianti di generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili;
- sistemi di cogenerazione dell'elettricità;
- impianti di teleriscaldamento e teleraffrescamento urbano o collettivo;
- illuminazione naturale.

Nella EPBD *recast* si introduce un'importante novità relativamente ai requisiti minimi. Questi devono essere fissati da ciascun Stato membro al fine di raggiungere livelli ottimali di prestazione energetica in funzione dei costi. Devono, cioè, conseguire un equilibrio ottimale in funzione dei costi tra gli investimenti necessari e i risparmi energetici realizzati nel ciclo di vita di un edificio, calcolati in base a un quadro metodologico comparativo elaborato dalla Commissione europea. È previsto, inoltre, che siano sottoposti a revisione periodica di cinque anni, alla luce del progresso tecnologico, e devono essere applicati sia a edifici di nuova costruzione che a quelli esistenti soggetti a ristrutturazioni importanti.

Un nZEB è, dunque, un edificio le cui caratteristiche tecnologiche permettono di ridurre al minimo il consumo di energia primaria necessaria per il riscaldamento, il raffrescamento, la produzione di acqua calda sanitaria e l'illuminazione, pur mantenendo gli standard per una adeguata qualità di vita degli ambienti interni da parte degli utilizzatori. Le suddette caratteristiche tecnologiche vanno a migliorare l'efficienza energetica intervenendo principalmente sull'involucro, sui sistemi impiantistici e sui generatori di calore.

Il fabbisogno energetico di un edificio a energia quasi zero deve essere inoltre coperto in gran parte da energia prodotta, in loco o nelle vicinanze, da fonti rinnovabili non fossili, quali l'energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrottermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas. Questa copertura del fabbisogno energetico è già disposta dalla direttiva 2009/28/CE, sull'uso di energia da fonti rinnovabili al fine di raggiungere gli obiettivi generali nazionali previsti per il 2020.

La direttiva 2010/31/UE dispone che gli Stati membri provvedono affinché:

- a) entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero; e
- b) a partire dal 31 dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi siano edifici a energia quasi zero.

Gli Stati membri devono, inoltre, elaborare dei piani d'azione nazionali destinati ad aumentare il numero di edifici a energia quasi zero. Tali piani nazionali possono includere obiettivi differenziati per tipologia edilizia. Inoltre, in questi piani devono essere riportati i seguenti elementi:

- l'applicazione dettagliata nella pratica della definizione di edifici a energia quasi zero;
- gli obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015;
- informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie o di altro tipo adottate per promuovere gli edifici a energia quasi zero.

La Commissione è tenuta a valutare e supervisionare i piani d'azione nazionali e, in caso lo ritenga necessario, a proporre misure intese ad aumentare il numero degli edifici a energia quasi zero. L'EPBD *recast* impone, quindi, alle nazioni europee una decisa accelerazione nella transizione verso l'energia rinnovabile e pulita nel settore edilizio, attraverso l'incentivazione degli nZEB.

#### 1.9. DECRETO-LEGGE 63/2013 E LEGGE 90/2013

La direttiva 2010/31/UE viene recepita in Italia dalle disposizioni urgenti del decreto-legge 4 giugno 2013, n. 63, successivamente modificato e convertito dalla legge 3 agosto 2013, n. 90. Queste due norme vanno principalmente a modificare e aggiornare il Dlgs 192/2005, al fine di adeguarlo alla EPBD *recast*. Si introduce la definizione di edificio a energia quasi zero e si integrano i concetti relativi all'energia da fonti rinnovabili. Vengono stabiliti i termini oltre i quali tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere nZEB, i medesimi dati dalla stessa direttiva, e si predispongono il piano d'azione nazionale con l'obiettivo di aumentare il numero di questi edifici (PANZEB).

Tra le altre principali novità introdotte dal DL 63/2013 e dalla legge 90/2013 si hanno:

- l'aggiornamento delle metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici in funzione alle nuove parti delle norme tecniche UNI/TS 11300;
- i requisiti minimi sono definiti in base alle valutazioni tecniche ed economiche derivanti dall'applicazione della metodologia comparativa stabilita dalla Commissione europea e si dispone la revisione ogni cinque anni;
- per i nuovi edifici e quelli soggetti a importanti ristrutturazioni che i requisiti siano determinati con l'utilizzo dell'edificio di riferimento, in funzione della tipologia edilizia e delle fasce climatiche;
- l'attestato di prestazione energetica (APE), in sostituzione dell'attestato di certificazione energetica, contenente le seguenti informazioni e indicatori:
  - prestazione energetica globale dell'edificio sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
  - classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale dell'edificio, espresso in energia primaria non rinnovabile;
  - requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;
  - emissioni di anidride carbonica;
  - energia esportata;
  - raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti;
  - informazioni quali diagnosi e incentivi di carattere finanziario.

#### 1.10. DECRETI DEL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA 74/2013 E 75/2013

I decreti del presidente della Repubblica 16 aprile 2013, n. 74 e n.75, sono i due decreti mancanti di attuazione dell'articolo 4 del Dlgs 192/2005. Il primo fornisce i criteri generali in materia di esercizio, conduzione, controllo, manutenzione e ispezione degli impianti termici per la climatizzazione invernale ed estiva degli edifici e per la preparazione dell'acqua calda per usi igienici sanitari. Il secondo disciplina i criteri di accreditamento per assicurare la qualificazione e l'indipendenza degli esperti e degli organismi a cui affidare la certificazione energetica degli edifici.

#### 1.11. DIRETTIVA 2012/27/UE E DLGS 102/2014

La direttiva 2012/27/UE del 25 ottobre 2012 sull'efficienza energetica ha lo scopo di stabilire un quadro comune di misure per la promozione dell'efficienza energetica nell'Unione al fine di garantire il conseguimento dell'obiettivo principale relativo all'efficienza energetica del 20 % entro il 2020.

Nel settore dell'edilizia viene incentivata la ristrutturazione degli immobili del parco nazionale residenziale e commerciale, essendo la maggioranza degli edifici esistenti inefficienti sotto il profilo energetico. A tal fine, si propone una strategia a lungo termine per la mobilitazione di investimenti. La direttiva cerca, inoltre, di dare ancora una volta agli edifici pubblici un ruolo esemplare, imponendo una loro ristrutturazione pari al 3% ogni anno a partire dal 2014.

L'obiettivo del normatore è, dunque, quello di dare un nuovo impulso alla transizione verso l'energia pulita, cercando di trasformare gli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero.

Il decreto legislativo 4 luglio 2014, n. 102, è il decreto di recepimento della direttiva 2012/27/UE. Attraverso il piano di azione nazionale per l'efficienza energetica (PAEE) vengono stabilite le strategie a medio-lungo termine volte a migliorare la prestazione energetica degli immobili esistenti, sia privati che pubblici.

#### 1.12. DECRETI INTERMINISTERIALI 26 GIUGNO 2015

A seguito della direttiva 2010/31/UE e delle sostanziali modifiche del DL 63/2013 e della legge 90/2013 apportate al Dlgs 192/2005, nonché dell'introduzione degli obblighi sull'energia prodotta da fonti rinnovabili per gli edifici di nuova costruzione e quelli soggetti a ristrutturazioni importanti disposti dal Dlgs 28/2011, in attuazione della direttiva 2009/28/CE, si rende necessario un adeguamento dei provvedimenti attuativi emanati ai sensi degli articoli 4 e 6 del Dlgs 192/2005. Si tratta di quelli riguardanti i criteri generali, la metodologia di calcolo, le prescrizioni e i requisiti minimi e le linee guida per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici. A tale scopo, il 26 giugno 2015 vengono pubblicati tre decreti interministeriali:

- 1) primo DM 26 giugno 2015, detto anche decreto requisiti minimi, sull'applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici;
- 2) secondo DM 26 giugno 2015, che riporta schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto ai fini dell'applicazione delle prescrizioni e dei requisiti minimi di prestazione energetica negli edifici;
- 3) terzo DM 26 giugno 2015, detto anche decreto linee guida per l'APE, che riguarda l'adeguamento delle Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Lo scopo del normatore è, pertanto, di unificare, semplificare e ordinare, rendere omogenea e aggiornare tutta la disciplina sull'efficienza energetica degli edifici sviluppata nell'ultimo decennio, come pure di promuovere e incentivare gli edifici a energia quasi zero.

##### 1.12.1. *Primo DM 26 giugno 2015*

Il primo DM 26 giugno 2015 si può riassumere nei seguenti punti:

- aggiornamento delle metodologie di calcolo della prestazione energetica degli edifici in funzione delle nuove norme tecniche;
- modificazione dei servizi da prendere in considerazione per la valutazione della prestazione dell'edificio;
- introduzione dell'edificio di riferimento per la determinazione dei requisiti minimi;
- definizione dei requisiti degli edifici ad energia quasi zero e dei nuovi standard minimi in vigore dal 2015;
- divisione in due livelli delle ristrutturazioni di edifici esistenti, in funzione dell'entità dell'intervento.

Tra le metodologie di calcolo, come prima cosa, si ha l'aggiornamento in funzione delle nuove norme tecniche:

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

Gli strumenti di calcolo, tra cui i software commerciali, per l'applicazione delle metodologie precedentemente definite garantiscono che i valori degli indici di prestazione energetica, calcolati attraverso il loro utilizzo, abbiano uno scostamento massimo di più o meno il 5% rispetto ai corrispondenti parametri determinati con l'applicazione dello strumento nazionale di riferimento. La garanzia è fornita attraverso una dichiarazione resa dal CTI.

I criteri generali, le prescrizioni e i requisiti minimi della prestazione energetica per la progettazione degli edifici e per la progettazione e installazione degli impianti sono fissati dalla legge 10/1991, dal DPR 412/1993 e successive modificazioni, nonché dalle ulteriori disposizioni di cui all'Allegato 1 al presente decreto.

Nel capitolo 1 dell'Allegato 1 si trova il quadro comune generale per il calcolo della prestazione energetica degli edifici e per la loro classificazione in base alla destinazione d'uso. Si definisce la prestazione energetica degli edifici come quantità di energia necessaria annualmente per soddisfare le esigenze legate a un uso standard dell'edificio e corrisponde al fabbisogno energetico annuale globale in energia primaria per il riscaldamento, il raffrescamento, per la ventilazione, per la produzione di acqua calda sanitaria e, nel settore non residenziale, per l'illuminazione, gli impianti ascensori e scale mobili.

Il normatore fornisce, inoltre, nozioni basilari su come:

- determinare il fabbisogno energetico annuale globale;
- operare la compensazione tra i fabbisogni energetici e l'energia da fonte rinnovabile prodotta e utilizzata all'interno del confine del sistema;
- considerare l'energia da fonte rinnovabile prodotta nell'ambito del confine del sistema (in situ);
- effettuare il calcolo dell'energia primaria, applicando ai vettori energetici i fattori di conversione in energia primaria  $f_{P,tot}$ ,  $f_{P,ren}$  e  $f_{P,ren}$ , rispettivamente per l'energia totale, non rinnovabile e rinnovabile [Figura 1.8].

Vettore energetico	$f_{P,nren}$	$f_{P,ren}$	$f_{P,tot}$
Gas naturale <sup>(1)</sup>	1,05	0	1,05
GPL	1,05	0	1,05
Gasolio e Olio combustibile	1,07	0	1,07
Carbone	1,10	0	1,10
Biomasse solide <sup>(2)</sup>	0,20	0,80	1,00
Biomasse liquide e gassose <sup>(2)</sup>	0,40	0,60	1,00
Energia elettrica da rete <sup>(3)</sup>	1,95	0,47	2,42
Teleriscaldamento <sup>(4)</sup>	1,5	0	1,5
Rifiuti solidi urbani	0,2	0,2	0,4
Teleraffrescamento <sup>(4)</sup>	0,5	0	0,5
Energia termica da collettori solari <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico, mini-eolico e mini-idraulico <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – free cooling <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore <sup>(5)</sup>	0	1,00	1,00
<sup>(1)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE. <sup>(2)</sup> Come definite dall'allegato X del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. <sup>(3)</sup> I valori saranno aggiornati ogni due anni sulla base dei dati forniti da GSE. <sup>(4)</sup> Fattore assunto in assenza di valori dichiarati dal fornitore e asseverati da parte terza, conformemente al quanto previsto al paragrafo 3.2. <sup>(5)</sup> Valori convenzionali funzionali al sistema di calcolo.			

Figura 1.8 – Tabella 1 dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 recante i fattori di conversione in energia primaria dei vettori energetici. [Fonte: Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Per la classificazione degli edifici in base alla loro destinazione d'uso si usano le categorie definite dal DPR 412/1993 [Tabella 1.2].

Infine, si definiscono le tipologie di intervento:

- edifici di nuova costruzione, demolizione e ricostruzione, ampliamento e sopraelevazione;
- ristrutturazioni importanti di primo livello, se l'intervento, oltre a interessare l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio, comprende anche la ristrutturazione dell'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva asservito all'intero edificio;
- ristrutturazioni importanti di secondo livello, se l'intervento interessa l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 25% della superficie disperdente lorda complessiva dell'edificio e può interessare l'impianto termico per il servizio di climatizzazione invernale e/o estiva;
- riqualificazioni energetiche, se l'intervento ha un impatto sulla prestazione energetica dell'edificio ma non rientra nei casi precedenti.

Nel capitolo 2 si forniscono prescrizioni comuni per gli edifici di nuova costruzione, gli edifici oggetto di ristrutturazioni importanti o gli edifici sottoposti a riqualificazione energetica. I calcoli e le verifiche che attestano la rispondenza alle prescrizioni per il contenimento del consumo di energia degli edifici e dei relativi impianti termici devono essere inseriti nella relazione tecnica, definita dall'articolo 8 del Dlgs 192/2005.

Le prescrizioni comuni riguardano:

- progettazione dell'edificio e degli impianti al fine di conseguire la migliore prestazione energetica tenendo conto del profilo dei costi;
- verifiche dell'assenza di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione, e di condensa interstiziale;

- verifiche dell'efficacia di coperture ad elevata riflettanza o tecnologie di climatizzazione passiva;
- deroghe alle altezze minime dei locali di abitazione previste dal DM 5 luglio 1975;
- altre prescrizioni che riguardano nello specifico gli impianti di riscaldamento, produzione acqua calda sanitaria, microgenerazione e ascensori e scale mobili.

Il capitolo 3 è di particolare interesse nell'ambito dei temi trattati in questa sede. Riguarda requisiti e prescrizioni specifici per gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazioni importanti di primo livello, nonché requisiti degli edifici a energia quasi zero.

Vengono, innanzitutto, fornite le prescrizioni specifiche:

- predisposizione di opere murarie e impiantistiche necessarie al collegamento alle reti di teleriscaldamento e teleraffrescamento, nel caso queste siano presenti nelle vicinanze dell'edificio oggetto di progetto e siano approvate nell'ambito di opportuni strumenti pianificatori;
- dotazione degli impianti di climatizzazione invernale di sistemi per la regolazione automatica della temperatura ambiente;
- installazione di sistemi di misurazione intelligente dell'energia consumata;
- nel caso di impianti termici a servizio di più unità immobiliari, l'installazione di sistemi di contabilizzazione del calore, del freddo e dell'acqua calda sanitaria;
- nel caso di edifici non residenziali, un livello minimo di automazione per il controllo, la regolazione e la gestione di tecnologie e impianti dell'edificio.

Per quanto riguarda i requisiti minimi, rispetto a quelli adottati dai precedenti provvedimenti, si può notare nei paragrafi seguenti come cambi in modo sostanziale la loro applicazione, ai fini del raggiungimento dei livelli ottimali in funzione dei costi.

Come prima cosa, il normatore stabilisce che i requisiti siano determinati con l'utilizzo dell'edificio di riferimento, definito in conformità all'Appendice A dell'Allegato 1: edificio identico a quello di progetto in termini di geometria (sagoma, volumi, superficie calpestabile, superfici degli elementi costruttivi e dei componenti), orientamento, ubicazione territoriale, destinazione d'uso e situazione al contorno, ma avente caratteristiche termiche e parametri energetici predeterminati secondo la disciplina fornita dalla presente Appendice A. Queste caratteristiche e parametri definiscono i valori limite da normativa della prestazione energetica del fabbricato. L'edificio di riferimento rappresenta, dunque, l'obiettivo minimo del progettista energetico.

Per conoscere la prestazione energetica di un edificio, che sia quello reale o di riferimento, bisogna determinare i parametri e gli indici energetici, nonché le efficienze degli impianti tecnici installati [Figura 1.9], calcolati secondo le disposizioni fornite dalla presente normativa.



$H_T$ [W/ m <sup>2</sup> K]	coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente
$A_{sol,est}/ A_{sup\ utile}$ [-]	area solare equivalente estiva per unità di superficie utile;
$EP_{H,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione termica utile per riscaldamento;
$\eta_H$ [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione invernale;
$EP_H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot") ;
$EP_{W,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria;
$\eta_w$ [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di produzione dell'acqua calda sanitaria;
$EP_w$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica per la produzione dell'acqua calda sanitaria. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_v$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica per la ventilazione. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_{C,nd}$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione termica utile per il raffrescamento;
$\eta_c$ [-]	efficienza media stagionale dell'impianto di climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità);
$EP_C$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica per la climatizzazione estiva (compreso l'eventuale controllo dell'umidità). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_L$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica per l'illuminazione artificiale. Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3). Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot");
$EP_T$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica del servizio per il trasporto di persone e cose (impianti ascensori, marciapiedi e scale mobili). Questo indice non si calcola per la categoria E.1, fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3);
$EP_{gl} = EP_H + EP_w + EP_v + EP_C + EP_L + EP_T$ [kWh/m <sup>2</sup> ]	indice di prestazione energetica globale dell'edificio. Si esprime in energia primaria non rinnovabile (indice "nren") o totale (indice "tot").

Figura 1.9 – Tabella 3 dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 recante le efficienze, i parametri e gli indici della prestazione energetica. [Fonte: Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Gli indici di prestazione  $EP$  e le efficienze  $\eta$  dei singoli servizi energetici si calcolano con l'ausilio delle norme tecniche UNI/TS 11300, sia per l'edificio reale che per quello di riferimento, utilizzando per quest'ultimo le caratteristiche termiche ed energetiche riportate in seguito. Si procede poi alla verifica delle seguenti condizioni:

- gli indici  $EP_{H,nd}$ ,  $EP_{C,nd}$  e  $EP_{gl,tot}$  risultino inferiori ai valori limite dei corrispondenti indici  $EP_{H,nd,limite}$ ,  $EP_{C,nd,limite}$  e  $EP_{gl,tot,limite}$  dell'edificio di riferimento:

$$EP_{H,nd} \leq EP_{H,nd,limite} \quad (1.2)$$

$$EP_{C,nd} \leq EP_{C,nd,limite} \quad (1.3)$$

$$EP_{gl,tot} \leq EP_{gl,tot,limite} \quad (1.4)$$

con  $EP_{gl,tot}$  indice di prestazione energetica globale totale:

$$EP_{gl,tot} = EP_{gl,nren} + EP_{gl,ren} \quad (1.5)$$

dove l'indice "nren" sta per non rinnovabile e l'indice "ren" sta per rinnovabile;

- le efficienze  $\eta_H$ ,  $\eta_W$  e  $\eta_C$ , risultino superiori ai valori limite delle corrispondenti efficienze  $\eta_{H,limite}$ ,  $\eta_{W,limite}$ , e  $\eta_{C,limite}$  dell'edificio di riferimento:

$$\eta_H \geq \eta_{H,limite} \quad (1.6)$$

$$\eta_W \geq \eta_{W,limite} \quad (1.7)$$

$$\eta_C \geq \eta_{C,limite} \quad (1.8)$$

Per quanto riguarda il fabbricato di riferimento, i parametri stabiliti dal normatore nell'Appendice A riguardano i valori delle trasmittanze termiche  $U$  [Figura 1.10 - 1.11 - 1.12 - 1.13 - 1.14] per le varie strutture dell'involucro che delimita le zone climatizzate dalle zone non climatizzate e dall'esterno, per qualunque categoria di edificio, in funzione della zona climatica, e il valore del fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh}$  [Figura 1.15] per componenti finestrati.

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Figura 1.10 – Tabella 1 dell'Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite della trasmittanza termica  $U$  delle strutture opache verticali. [Fonte: Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

Figura 1.11 – Tabella 2 dell'Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite della trasmittanza termica  $U$  delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura. [Fonte: Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
A e B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Figura 1.12 – Tabella 3 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

Figura 1.13 – Tabella 4 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
Tutte le zone	0,8	0,8

Figura 1.14 – Tabella 5 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici confinanti. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Zona climatica	g <sub>gl+sh</sub>	
	2015 <sup>(1)</sup>	2019/2021 <sup>(2)</sup>
Tutte le zone	0,35	0,35

Figura 1.15 – Tabella 6 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite del fattore di trasmissione solare totale g<sub>gl+sh</sub>. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Si precisa che i suddetti parametri sono in funzione del loro anno di applicazione con progressivo aumento di severità:

- quelli contrassegnati dal 2015 sono i valori limite applicabili dal 1° luglio 2015 per tutti gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazione di primo livello;
- quelli contrassegnati dal 2019/2021 sono i valori limite applicabili dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri.

Per quanto concerne gli impianti tecnici dell’edificio di riferimento, la normativa riporta i valori limite delle efficienze medie  $\eta_u$  [Figura 1.16] del complesso dei sottosistemi di utilizzazione (emissione/erogazione, regolazione, distribuzione e dell’eventuale accumulo) e le efficienze medie  $\eta_{gn}$  [Figura 1.17] dei sottosistemi di generazione per i servizi di climatizzazione invernale (H), climatizzazione estiva (C) e per il servizio di acqua calda sanitaria (W).

<b>Efficienza dei sottosistemi di utilizzazione <math>\eta_u</math>:</b>	<b>H</b>	<b>C</b>	<b>W</b>
Distribuzione idronica	0,81	0,81	0,70
Distribuzione aeraulica	0,83	0,83	-
Distribuzione mista	0,82	0,82	-

Figura 1.16 – Tabella 7 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite delle efficienze medie  $\eta_u$  dei sottosistemi di utilizzazione. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

	<b>Produzione di energia termica</b>			<b>Produzione di energia elettrica in situ</b>
	<b>H</b>	<b>C</b>	<b>W</b>	
<b>Sottosistemi di generazione:</b>				
- Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,80	-
- Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
- Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,70	-
- Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
- Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
- Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3,00	(*)	2,50	-
- Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,50	-	-
- Pompa di calore ad assorbimento	1,20	(*)	1,10	-
- Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	$0,60 \times \eta_{gn}$ (**)	-	-
- Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,60	-	-
- Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	1,00	1,05	-
- Cogeneratore	0,55	-	0,55	0,25
- Riscaldamento con resistenza elettrica	1,00	-	-	-
- Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
- Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
- Solare termico	0,3	-	0,3	-
- Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
- Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)
<p>NOTA: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore</p> <p>(*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento di considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia</p> <p>(**) si assume l’efficienza media del sistema installato nell’edificio reale</p>				

Figura 1.17 – Tabella 8 dell’Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite delle efficienze medie  $\eta_{gn}$  dei sottosistemi di generazione per la produzione di energia termica e di energia elettrica in situ. [Fonte: Appendice A dell’Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Gli ultimi valori dell'edificio di riferimento riportati in Appendice A sono i fabbisogni specifici dell'energia elettrica  $E_{ve}$  per la ventilazione [Figura 1.18]. Per tutti i restanti dati di input necessari ai calcoli energetici si utilizzano i valori dell'edificio reale.

Tipologia di impianto	$E_{ve}$ [Wh/m <sup>3</sup> ]
Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione	0,25
Ventilazione meccanica a semplice flusso per immissione con filtrazione	0,30
Ventilazione meccanica a doppio flusso senza recupero	0,35
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0,50
UTA: rispetto dei regolamenti di settore emanati dalla Commissione Europea in attuazione delle direttive 2009/125/CE e 2010/30/UE del Parlamento europeo e del Consiglio, assumendo la portata e la prevalenza dell'edificio reale.	

Figura 1.18 – Tabella 9 dell'Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite del fabbisogno specifico di energia elettrica per la ventilazione. [Fonte: Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Le ultime verifiche della prestazione energetica dell'edificio riguardano i parametri di coefficiente globale di scambio termico  $H'_T$  e di rapporto tra area solare equivalente estiva e superficie utile  $A_{sol,est}/A_{sup}$ . I loro valori vanno confrontati e verificati con i valori limite riportati nelle tabelle 10 e 11 dell'Appendice A [Figure 1.19 - 1.20].

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70
Zona climatica						
Numero Riga	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
4	Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

Figura 1.19 – Tabella 10 dell'Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite del coefficiente globale di scambio termico  $H'_T$ , espresso in  $W/m^2 \cdot K$ . [Fonte: Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

#	Categoria edificio	Tutte le zone climatiche
1	Categoria E.1 fatta eccezione per collegi, conventi, case di pena, caserme nonché per la categoria E.1(3)	$\leq 0,030$
2	Tutti gli altri edifici	$\leq 0,040$

Figura 1.20 – Tabella 11 dell'Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015 con i valori limite del rapporto tra area solare equivalente estiva dei componenti finestrati e area della superficie utile  $A_{sol,est}/A_{sup}$ . [Fonte: Appendice A dell'Allegato 1 del primo DM 26 giugno 2015]

Si può ora definire l'edificio a energia quasi zero secondo il DM 26 giugno 2015: sono *nearly Energy Zero Building* tutti gli edifici, siano essi di nuova costruzione o esistenti, i cui indici di prestazione e parametri energetici, nonché le efficienze degli impianti tecnici, così come determinati nei paragrafi precedenti, rispettino i requisiti minimi dell'edificio di riferimento calcolati con i valori vigenti dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri. Inoltre, devono essere in contemporanea rispettati gli obblighi di integrazione delle fonti rinnovabili nel rispetto dei principi minimi del Dlgs 28/2011, in attuazione della direttiva 2009/28/CE. In altre parole, tutti gli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazione importante dal 2021 in poi devono essere edifici a energia quasi zero.

#### 1.12.2. Secondo DM 26 giugno 2015

Il secondo DM 26 giugno 2015 definisce tre schemi e modalità di riferimento per la compilazione della relazione tecnica di progetto, in funzione delle diverse tipologie di lavori, riferiti a:

- nuove costruzioni, alle ristrutturazioni importanti e agli edifici ad energia quasi zero (Allegato 1);
- riqualificazione energetica e ristrutturazioni importanti di secondo livello, costruzioni esistenti con riqualificazione dell'involucro edilizio e di impianti termici (Allegato 2);
- riqualificazione energetica degli impianti tecnici (Allegato 3).

#### 1.12.3. Terzo DM 26 giugno 2015

Il terzo DM 26 giugno 2015 introduce le *Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici*. Si tratta dell'adeguamento e aggiornamento delle linee guida nazionali per la certificazione energetica fornite dal DM 26 giugno 2009. Il sistema di attestazione della prestazione energetica degli immobili è volto a favorire, in coerenza con la direttiva 2010/31/UE e con i principi desumibili dal Dlgs 192/2005, una applicazione omogenea su tutto il territorio nazionale che consenta la valutazione e il confronto tra immobili da parte dell'utente finale.

Nell'Allegato 1 della presente normativa si trovano le *Linee guida nazionali per l'attestazione della prestazione energetica degli edifici* e comprendono i criteri generali, le metodologie per il calcolo, la classificazione degli edifici, le procedure amministrative, i format, nonché le norme per il monitoraggio e i controlli della regolarità tecnica e amministrativa.

Gli elementi essenziali delle presenti linee guida sono:

- le informazioni che devono obbligatoriamente essere contenute nell'attestato di prestazione energetica (APE), compresi i dati relativi all'efficienza energetica dell'edificio, i valori vigenti a norma di legge, i valori di riferimento o classi prestazionali che consentano ai cittadini di valutare e raffrontare la prestazione energetica dell'edificio in forma sintetica e anche non tecnica, i suggerimenti e le raccomandazioni in merito agli interventi più significativi ed economicamente convenienti per il miglioramento della predetta prestazione;
- le norme tecniche di riferimento, conformi a quelle sviluppate in ambito europeo e nazionale;
- le procedure e i metodi di calcolo della prestazione energetica degli edifici, compresi i metodi semplificati;
- i requisiti professionali e i criteri per assicurare la qualificazione e l'indipendenza dei soggetti preposti alla certificazione energetica degli edifici.

Ogni APE riporta obbligatoriamente:

- la prestazione energetica globale dell'immobile, sia in termini di energia primaria totale che di energia primaria non rinnovabile, attraverso i rispettivi indici;
- la classe energetica determinata attraverso l'indice di prestazione energetica globale, espresso in energia primaria non rinnovabile;
- la qualità energetica del fabbricato ai fini del contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento e il raffrescamento, attraverso gli indici di prestazione termica utile per la climatizzazione invernale ed estiva dell'edificio;

- i valori di riferimento, quali i requisiti minimi di efficienza energetica vigenti a norma di legge;
- le emissioni di anidride carbonica;
- l'energia esportata;
- le raccomandazioni per il miglioramento dell'efficienza energetica con le proposte degli interventi più significativi ed economicamente convenienti, distinguendo gli interventi di ristrutturazione importanti da quelli di riqualificazione energetica;
- le informazioni correlate al miglioramento della prestazione energetica, quali gli incentivi di carattere finanziario e l'opportunità di eseguire diagnosi energetiche.

Rispetto alle linee guida precedenti, in queste viene data maggiore enfasi ad informare il cittadino non solo sulla prestazione energetica globale e dei diversi servizi dell'edificio, ma anche come le singole parti, involucro e impianti, intervengono specificatamente a influenzare detta prestazione, così da mettere in evidenza le più significative carenze energetiche dell'edificio.

Ai fini della classificazione, la prestazione energetica dell'immobile è definita attraverso l'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren}$ . Tale indice, espresso in  $kWh/m^2anno$ , tiene conto del fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la climatizzazione invernale ed estiva ( $EP_{H,nren}$  ed  $EP_{C,nren}$ ), per la produzione di acqua calda sanitaria ( $EP_{W,nren}$ ), per la ventilazione ( $EP_{V,nren}$ ) e, nel caso del settore non residenziale, per l'illuminazione artificiale ( $EP_{L,nren}$ ) e il trasporto di persone o cose ( $EP_{T,nren}$ ):

$$EP_{gl,nren} = EP_{H,nren} + EP_{C,nren} + EP_{W,nren} + EP_{V,nren} + EP_{L,nren} + EP_{T,nren} \quad (1.9)$$

Per determinare detti indici prestazionali il normatore individua due procedure di calcolo:

- a) procedura di calcolo di progetto o di calcolo standardizzato, applicabile agli edifici di nuova costruzione o soggetti a ristrutturazione importante;
- b) procedura di calcolo da rilievo sull'edificio, per tutti gli altri casi.

Queste procedure definiscono le modalità di reperimento dei dati di ingresso. Tali dati vengono poi elaborati attraverso i metodi di calcolo:

- 1) metodo di calcolo di progetto, in attuazione della procedura di calcolo di progetto, che utilizza le norme tecniche UNI/TS 11300 definite dal DM 26 giugno 2015 sui requisiti minimi;
- 2) metodo di calcolo da rilievo sull'edificio, per la procedura di calcolo da rilievo sull'edificio, che utilizza sempre le norme tecniche UNI/TS 11300, ma possono essere attuate delle semplificazioni per la determinazione di alcuni dati, anche in funzione della tipologia edilizia e della dimensione del fabbricato.

Il sistema di classificazione degli immobili in funzione della qualità energetica si basa su classi prestazionali che vanno dalla lettera G, rappresentante gli edifici con maggiori consumi energetici, alla lettera A. Questa è a sua volta suddivisa in quattro sottoclassi individuate da un indicatore numerico che va da 1, il livello più basso, a 4 [Figura 1.21].

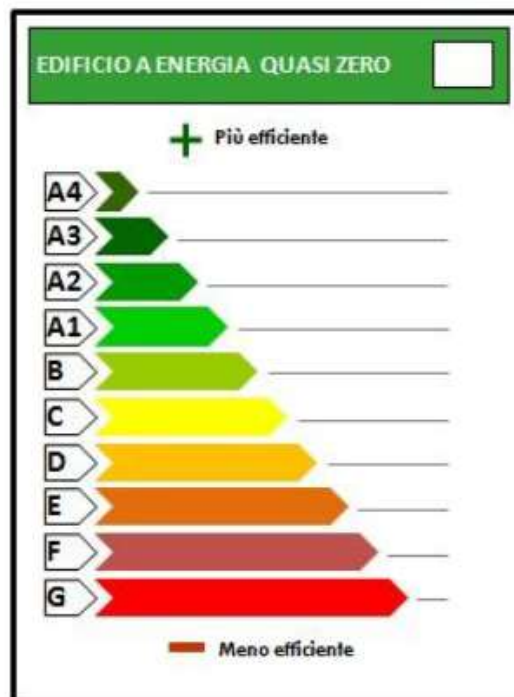


Figura 1.21 – Scala di classificazione della prestazione energetica degli immobili. [Fonte: Allegato 1 del terzo DM 26 giugno 2015]

La scala delle classi è definita a partire dal valore dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile dell'edificio di riferimento  $EP_{gl,nren,rif,standard}$  (2019/21), dotato delle specifiche tecnologie standard riportate nella tabella 1 dell'Allegato 1 della presente normativa [Figura 1.22]. Tale indice è calcolato secondo quanto previsto dal DM 26 giugno 2015 sui requisiti minimi, utilizzando i valori limite di legge in vigore dal 1° gennaio 2019 per gli edifici pubblici, e dal 1° gennaio 2021 per tutti gli altri. Gli intervalli delle classi vengono individuate applicando un fattore riduttivo o maggiorativo al suddetto parametro [Figura 1.23].

Climatizzazione invernale	Generatore a combustibile gassoso (gas naturale) nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Climatizzazione estiva	Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Ventilazione	Ventilazione meccanica a semplice flusso per estrazione nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 9 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi
Acqua calda sanitaria	Generatore a combustibile gassoso (gas naturale) nel rispetto dei requisiti di cui alla tabella 8 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi e con relativa efficienza dei sottosistemi di utilizzazione di cui alla tabella 7 della stessa Appendice.
Illuminazione	Rispetto dei requisiti di cui al paragrafo 1.2.2 dell'Appendice A all'Allegato 1 del DM requisiti minimi.
Trasporto persone o cose	Rispetto dei requisiti al DM requisiti minimi.

Figura 1.22 – Tabella 1 dell'Allegato 1 del terzo DM 26 giugno 2015 recante le tecnologie standard dell'edificio di riferimento per la determinazione della scala delle classi prestazionali energetiche. [Fonte: Allegato 1 del terzo DM 26 giugno 2015]



Tabella 2 - Scala di classificazione degli edifici sulla base dell'indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren}$

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

Figura 1.23 – Tabella 2 dell’Allegato 1 del terzo DM 26 giugno 2015 recante la scala di classificazione degli edifici sulla base dell’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$ . [Fonte: Allegato 1 del terzo DM 26 giugno 2015]

L’indice di prestazione energetica globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren,rif,standard} (2019/21)$  moltiplicato per il coefficiente 1 individua il limite di separazione tra le classi A1 e B.

Sebbene sembri palese che un edificio a energia quasi zero deve per forza ricadere in una classe A1 o superiore, in realtà ciò non è detto. Infatti, l’edificio di riferimento utilizzato per determinare le classi dell’attestato di prestazione energetica non è esattamente lo stesso di quello usato per le verifiche secondo il DM requisiti minimi. Quello delle linee guida utilizza impianti tecnologici standard definiti dalla normativa stessa [Figura 1.22], mentre quello dei requisiti minimi utilizza gli stessi impianti tecnologici di quello reale ma con valori limite di efficienza stabiliti da legge [Figure 1.16 - 1.17]. Questo comporta che se si ha, per esempio, un edificio reale identico a quello di riferimento, secondo il DM requisiti minimi, anche nelle caratteristiche termiche e parametri energetici, e se rispetta gli obblighi di integrazione di energia da fonti rinnovabili stabiliti dal Dlgs 28/2011, è sicuramente un edificio a energia quasi zero. Tale fabbricato, però, se ha un generatore termico a norma di legge, ma con una efficienza più bassa della tecnologia standard stabilita per l’edificio di riferimento al fine di determinare la classe energetica secondo le presenti linee guida, si avrà per forza che l’edificio reale, pur essendo un nZEB, apparterrà a una classe prestazionale peggiore della A1.

### 1.13. DIRETTIVA (UE) 2018/844

L’ultima direttiva emanata che riguarda l’efficienza energetica degli edifici è la direttiva (UE) 2018/844 del 30 maggio 2018, detta anche EPBD 3. Questa modifica la direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell’edilizia e la direttiva 2012/27/UE sull’efficienza energetica.

Una delle principali novità introdotte riguarda la definizione da parte di ogni Stato membro di una strategia a lungo termine per sostenere la ristrutturazione del parco nazionale di edifici residenziali e non residenziali, sia pubblici che privati, al fine di ottenere un parco immobiliare decarbonizzato e ad alta efficienza energetica entro il 2050, facilitando la trasformazione efficace in termini di costi degli edifici esistenti in edifici a energia quasi zero.

Inoltre, la presente direttiva, pone particolare attenzione allo sviluppo tecnologico:

- incoraggia l'uso delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione e delle tecnologie intelligenti di automazione e controllo negli edifici;
- sostiene l'implementazione dell'infrastruttura per la ricarica dei veicoli elettrici nei parcheggi degli edifici, richiedendo l'installazione di infrastrutture di canalizzazione e punti di ricarica;
- introduce un indicatore di predisposizione degli edifici all'intelligenza per valutare la capacità degli edifici di adattarsi alle esigenze dell'occupante, di ottimizzare il proprio funzionamento e di interagire con la rete.

La EPBD 3 viene recepita e attuata dal decreto legislativo del 10 giugno 2020, n. 48, che va a modificare e aggiornare il Dlgs 192/2005.

## 2. PROGETTAZIONE DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE PUBBLICO

### 2.1. INTRODUZIONE

Il progetto oggetto della presente tesi vuole essere lo sviluppo su scala edilizia di una proposta a livello urbanistico identificata dal comune di Padova<sup>7</sup> a seguito del bando nazionale *Programma Innovativo Nazionale per la Qualità dell’Abitare* (PINQuA). Questo si tratta di un piano di investimento di 2,82 miliardi di euro assegnati dal *Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza* (PNRR) per realizzare interventi di edilizia sociale e rigenerazione urbana in tutta Italia<sup>8</sup>.

In questa tesi si tratterà e svilupperà la proposta riguardante la riqualificazione urbanistica e edilizia di un’area sita in via Telesio a Padova, localizzata in un quartiere a sud della città. L’intervento prevede la demolizione di diciotto alloggi popolari esistenti e loro ricostruzione con standard qualitativi attuali, aumentando così l’offerta abitativa a ventidue unità abitative di edilizia residenziale pubblica (ERP).

Essendo un intervento di demolizione e ricostruzione di un edificio di proprietà pubblica successivo al 2019, questo, per legge, dovrà sicuramente essere un edificio a energia quasi zero.

Nel seguito, si affronterà il tema progettuale prestando specifica attenzione ad alcuni aspetti:

- conoscenza del luogo, della posizione, degli orientamenti e del clima;
- progettazione architettonica di un edificio residenziale pubblico, con riguardo alle dimensioni degli alloggi e all’accessibilità;
- progettazione dei dettagli costruttivi, in particolare dell’involucro e dei serramenti al fine di garantire un adeguato isolamento termico e di evitare i ponti termici.

Per un’accurata progettazione energetica di un edificio è indispensabile conoscere il luogo, la posizione, gli orientamenti, il clima e ciò che costituisce l’intorno al fine di valutare gli eventuali ombreggiamenti dovuti ad esempio da altri edifici, alberi di grande dimensione o rilievi del terreno. Il tema progettuale viene sviluppato principalmente in ambiente BIM tramite il software Autodesk Revit. Questo permetterà successivamente di avere un modello definito nei materiali e nei componenti che può essere esportato in IFC e importato, poi, nel software di analisi energetiche Edilclima.

### 2.2. INQUADRAMENTO DELL’AREA DI PROGETTO

Il lotto oggetto di intervento è localizzato in via Bernardino Telesio, nel quartiere 4 del comune di Padova, a sud-est della città, tra le località della Guizza e Voltabarozzo, a nord della frazione di Salboro. Da un punto di vista generale si tratta di una zona periferica con un tessuto urbano caratterizzato principalmente da edifici residenziali isolati, con diverse tipologie di fabbricati, tra cui case monofamiliari e plurifamiliari, villette e condomini. Si nota, inoltre, una discreta presenza di aree verdi, sia pubbliche che private, e terreni a destinazione agricola [Figura 2.1].

---

<sup>7</sup> (PadovaNET 2021)

<sup>8</sup> (Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 2021)



Figura 2.1 – Ortofoto della zona sud-est del comune di Padova. [Fonte: Google Earth]

Scendendo più in particolare in via Telesio, si affacciano su ambedue i lati della strada una serie di edifici residenziali di modeste dimensioni, con proporzioni e volumi pressoché simili [Figura 2.2]. Si tratta di case mono e bifamiliari utilizzate dal comune di Padova come case popolari. Secondo un certo progetto dell'ufficio del genio civile di Padova, sono baracche in muratura per sinistrati o sfollati, costruite su area demaniale in località Salboro. Tali baracche, nel dopoguerra, sono state date in gestione all'ECA di Padova. I fabbricati, in origine proprietà del Ministero delle Finanze, sono stati poi acquisiti dal comune di Padova.

Attualmente sono presenti undici edifici, alcuni dei quali in stato di abbandono e degrado [Figura 2.3]. Sono disposti quattro sul lato sinistro e sette sul lato destro della strada e contengono un totale di diciotto unità abitative. Questi fabbricati sono a pianta rettangolare, disposti trasversalmente alla direzione della via, con un lato perimetrale che coincide con il confine del lotto su cui sorgono. L'obiettivo del comune di Padova è la loro demolizione [Figura 2.4] e ricostruzione, aumentando l'offerta abitativa a ventidue alloggi e raggruppandoli in un unico lotto a destra di via Telesio.



Figura 2.2 – Ortofoto della zona di via Bernardino Telesio con evidenziata l'area di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.3 – Foto rilievo dello stato di fatto. [Fonte: elaborazione dell'autore]





-  Area di progetto
-  Fabbricati da demolire

Figura 2.4 – Estratto della mappa topografica di Padova con evidenziati i fabbricati da demolire. [Fonte: <https://cartografia.comune.padova.it>]

L'area di progetto ha una forma e disposizione favorevole per poter dare il giusto orientamento agli edifici che verranno costruiti. Il terreno, infatti, è un quadrilatero con una dimensione nettamente maggiore rispetto all'altra e una direzione prevalente est-ovest, ruotato di circa 20° in senso antiorario. Questo significa che il lato sud è molto sviluppato e permette quindi un ampio affaccio in questa direzione agli immobili futuri.

Nei terreni a sinistra della strada, lasciati liberi a seguito delle demolizioni, sebbene non facciano parte dell'area di progetto, si è ritenuto opportuno la riqualificazione della zona creando degli spazi pubblici di verde attrezzato a parco, gioco e sport [Figura 2.5]. Il percorso disegnato rispecchia quello fatto dal marciapiede dell'edificio antistante e crea delle aree più piccole che possono essere utilizzate in diversi modi.

La realizzazione di queste zone verdi è pensata anche per controbilanciare il notevole volume edificato che verrà realizzato nell'area di progetto. Infatti, se già attualmente nel terreno di destra a via Telesio sono presenti sette fabbricati che coprono buona parte del lotto, a cui si aggiungeranno i quattro che si trovano a sinistra della strada e in più è previsto anche un aumento dell'offerta abitativa ad un totale di ventidue alloggi, risulterà alquanto critica la situazione dal punto di vista urbanistico e di rapporti tra costruito e non costruito.



Figura 2.5 – Ortofoto-inserimento dello stato di progetto nell'area di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 2.3. INQUADRAMENTO URBANISTICO

Analizzando il *Piano degli Interventi* (PI) di Padova, l'area oggetto di intervento ricade in una zona territoriale omogenea (ZTO) B1 residenziale di completamento consolidata a bassa densità [Figura 2.6]. Secondo la definizione data dalle *Norme Tecniche Operative* (NTO) del PI, le ZTO B1 sono le parti del territorio poste prevalentemente nella città consolidata di seconda cintura e nella corona policentrica insediata, caratterizzate da isolati di dimensione e forma variabili, con bassa densità fondiaria e tipologie edilizie mono o plurifamiliari di edifici isolati su lotto, con una buona dotazione di aree scoperte a giardino<sup>9</sup>.

Le NTO definiscono, inoltre, diversi parametri urbanistici ed edilizi che, in funzione alla ZTO e al tipo di intervento, devono essere rispettati. In particolare, per la ZTO B1 e per gli interventi di demolizione e ricostruzione con mantenimento della destinazione d'uso, di seguito se ne riportano alcuni:

- $I_f$  indice di edificabilità fondiaria dell'area, ovvero il massimo volume edificabile al metro quadro della superficie fondiaria, è pari a massimo  $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ;
- $H$  altezza dell'edificio, ovvero quella compresa tra la quota 0 e la quota dell'intradosso del soffitto o copertura dell'ultimo piano abitabile, non può superare i 9 m;
- $IC$  indice di copertura, ovvero il rapporto tra la superficie coperta e la superficie fondiaria, deve essere minore o uguale al 40%.

L'area di progetto ha una superficie totale di circa  $3780 \text{ m}^2$ , per cui il massimo volume realizzabile è pari a  $5670 \text{ m}^3$ . Tale limite risulta fin da subito difficilmente rispettabile. Infatti, se si considera una superficie lorda media di  $100 \text{ m}^2$  per ciascun alloggio e una loro altezza di minimo 3 m, sono necessari almeno  $6600 \text{ m}^3$  di volume costruibile. Questo non tenendo conto di ulteriori volumi necessari, come garage, locali tecnici e vani scala.



Figura 2.6 – Estratto della mappa del Piano degli Interventi di Padova. [Fonte: <https://cartografia.comune.padova.it>]

<sup>9</sup> (Comune di Padova 2023)



## 2.4. INQUADRAMENTO DEL LUOGO E DEL CLIMA

### 2.4.1. Luogo

Gli ombreggiamenti che sussistono su un edificio possono influenzare in maniera importante sulle temperature degli ambienti interni, nonché sull'efficienza di un eventuale impianto fotovoltaico. Non è detto che tale effetto sia per forza negativo. In estate gli ombreggiamenti sono ben voluti al fine di ridurre, per esempio, il surriscaldamento delle pareti perimetrali o per evitare l'effetto serra generato da una finestra o una vetrata irraggiata dal sole. In inverno, di contro, tali situazioni creano apporti positivi e ricercati al fine di aumentare le temperature degli ambienti interni. L'impianto fotovoltaico, ovviamente, è doveroso che rimanga per tutto l'anno esposto al sole quanto più possibile, evitando di posizionare i pannelli in aree che solitamente vanno in ombra. Per questi motivi è bene conoscere il luogo intorno all'area di progetto.

Gli ostacoli esterni all'area di intervento che possono generare ombra sono sostanzialmente tre:

- edifici o strutture;
- alberi;
- rilievi.

Il loro effetto dipende dalla loro dimensione, in particolare in altezza, e dalla loro vicinanza. In estate, nelle ore pomeridiane, il sole generalmente è alto, per cui, a meno che l'ostacolo non sia molto elevato e/o molto vicino, difficilmente può mettere in ombra l'edificio di progetto. Contrariamente, in inverno il sole è più basso ed eventuali barriere possono generare ombra più lunghe.

L'intorno dell'area di progetto è abbastanza libero da ostacoli<sup>10</sup>:

- a est si trova un lotto privo di edifici e con vegetazione bassa, ad esclusione di alcuni grandi alberi posti più a nord;
- a sud:
  - nella parte destra si trova una casa plurifamiliare su due piani, distaccata dall'area di progetto di circa 18 m;
  - nella parte centrale si trovano alcune alberature di circa 6-7 m di altezza, poste sul confine del terreno;
  - nella parte sinistra si trova un condominio di medie dimensioni con quattro piani fuori terra, distaccato dall'area di progetto di circa 10 m [Figura 2.7];
- a sud/sud-ovest si trovano alcune case bifamiliari di piccole dimensioni su due piani, distaccate dall'area di progetto di circa 10 m;
- a ovest si trova un lotto ineditato e con vegetazione bassa.

---

<sup>10</sup> Per la valutazione dell'altezze e dei distacchi degli ostacoli presenti nell'intorno ci si è avvalsi del software Google Earth.



*Figura 2.7 – Foto rilievo del condominio a sud del lotto d'intervento. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Tramite il software Autodesk Revit è possibile geolocalizzare l'area di progetto ed eseguire una valutazione qualitativa delle ombre indicando la data e l'ora desiderate. Nella *Figura 2.8* si riporta tale simulazione: nella colonna di sinistra si è impostato come giorno il solstizio d'estate, 21 giugno, mentre nella colonna di destra si è impostato il solstizio d'inverno, 21 dicembre; le tre righe invece indicano l'orario, rispettivamente dall'alto al basso, alle ore 09.00, ore 12.00 e ore 16.00.

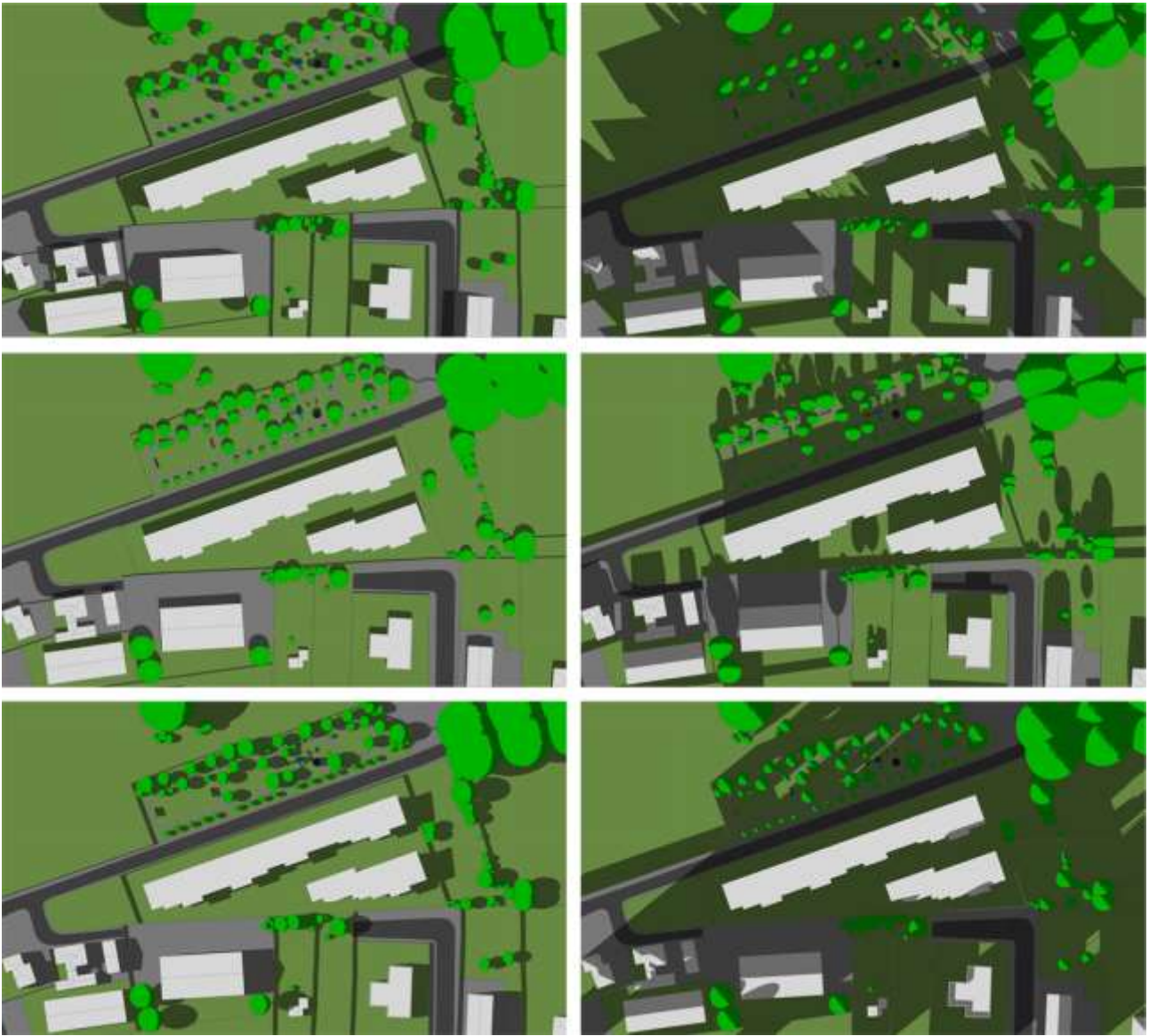


Figura 2.8 – Simulazione degli ombreggiamenti nell’area di progetto tramite il software Autodesk Revit; nella colonna di sinistra si è impostato il solstizio d’estate, mentre in quella di destra il solstizio d’inverno; le tre righe rappresentano tre fasce orarie, rispettivamente dall’alto al basso, alle 9.00, alle 12.00 e alle 16.00. [Fonte: elaborazione dell’autore]

#### 2.4.2. Clima

La zona climatica di Padova, assegnata dal DPR 412/1993, è la zona E con 2383 gradi giorno e con un periodo di accensione degli impianti termici per la stagione invernale che va dall’ultima settimana di ottobre alla prima di aprile.

La città presenta un clima di tipo sub-continentale tipico della pianura padana, mitigato, tuttavia, dalla vicinanza al Mar Adriatico. Dal punto di vista dell’efficientamento energetico di un edificio i fattori più determinanti del clima sono:

- temperatura;
- umidità relativa;
- radiazione solare;
- vento (fonte di energia rinnovabile eolica).

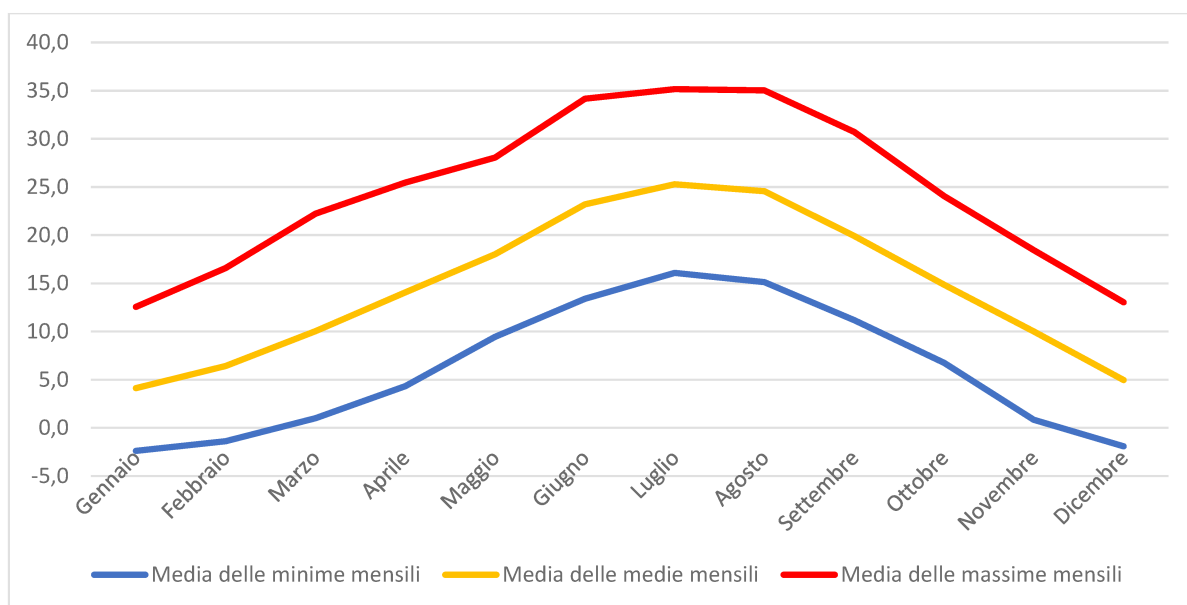
Sebbene nel software per le analisi energetiche Edilclima sono già implementati i dati relativi al clima dei comuni italiani, si è comunque ritenuto doveroso approfondire autonomamente tale tema, al fine, soprattutto, di verificare i dati di input del software.

Per lo studio della condizione climatica di Padova ci si è avvalsi dei dati storici<sup>11</sup> raccolti dalle stazioni meteorologiche dell'agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto (ARPAV). Si sottolinea che nell'area di via Telesio non è presente alcun microclima particolare, per cui si prende come riferimento il clima generale della città.

In *Tabella 2.1* e nel *Grafico 2.1* si riportano i dati relativi alle temperature, elaborati nel periodo 2012-2022. Le temperature vanno da medie minime mensili di -2°C nei mesi invernali, con picchi di -4°C, a medie massime mensili di 35°C nei mesi estivi, con picchi di 37°C.

*Tabella 2.1 – Medie delle temperature minime, medie e massime mensili del periodo 2012-2022. [Fonte: dati meteorologici ARPAV]*

	Temperatura (°C)											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
<b>Media delle minime mensili</b>	-2,4	-1,4	1,0	4,3	9,4	13,4	16,1	15,1	11,2	6,7	0,8	-1,9
<b>Media delle medie mensili</b>	4,1	6,4	10,0	14,1	18,0	23,2	25,3	24,5	19,9	14,9	10,0	5,0
<b>Media delle massime mensili</b>	12,6	16,6	22,2	25,5	28,0	34,2	35,2	35,0	30,7	24,1	18,5	13,0



*Grafico 2.1 – Rappresentazione dell'andamento annuo delle medie delle temperature minime, medie e massime mensili del periodo 2012-2022 [Fonte: dati meteorologici ARPAV]*

In *Tabella 2.2* si riportano i dati sull'umidità relativa media, elaborati nel periodo 2012-2022. I mesi più critici sono novembre, dicembre e gennaio con un'umidità che si aggira intorno all'80%.

<sup>11</sup> (ARPAV 2023)

Tabella 2.2 – Medie delle umidità relative mensile del periodo 2012-2022. [Fonte: dati meteorologici ARPAV]

	Umidità relativa (%)											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
<b>Media</b>	80	73	69	70	69	70	68	69	71	74	77	81

In Tabella 2.3 si riportano i dati relativi alla radiazione solare globale, elaborati nel periodo 2012-2022. La radiazione solare media va da un minimo di 3,91 MJ/m<sup>2</sup> di dicembre ad un massimo di 24,57 MJ/m<sup>2</sup> di giugno. Tale differenza è data, oltre che dall'elevazione del sole rispetto al piano dell'orizzonte, anche dal numero di ore di luce giornaliera.

Tabella 2.3 – Medie della radiazione solare globale mensile del periodo 2012-2022. [Fonte: dati meteorologici ARPAV]

	Radiazione solare globale (MJ/m <sup>2</sup> )											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
<b>Media</b>	5,15	8,11	14,22	18,04	21,17	24,57	24,53	21,81	15,74	9,83	5,32	3,91

In Tabella 2.4 si riportano i dati relativi alla velocità del vento, elaborati nel periodo 2012-2022. Padova si presenta come una città poco ventosa con una velocità media del vento compresa tra 1,4 m/s e 2,2 m/s. La direzione prevalente è da nord/nord-est.

Tabella 2.4 – Medie della velocità del vento mensile del periodo 2012-2022. [Fonte: dati meteorologici ARPAV]

	Velocità del vento (m/s)											
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
<b>Media</b>	1,6	1,9	2,1	2,2	2,2	2	2	1,8	1,9	1,6	1,8	1,4

## 2.5. INQUADRAMENTO ARCHITETTONICO DEL PROGETTO

### 2.5.1. Studio dei volumi

L'idea progettuale nasce e si sviluppa a seguito di un accurato studio dei volumi [Figura 2.9]. Questi, infatti, sono fortemente influenzati dalle dimensioni e dalla geometria del lotto su cui sorge l'edificio. Sebbene il terreno sembri avere una superficie piuttosto ampia, una volta tracciata la linea di massimo involuppo dell'edificio, gli spazi si riducono nettamente. Inoltre, si è sempre cercato di dare un'esposizione a sud a ciascun alloggio. Da questo punto di vista, la forma allungata del lotto nella direzione est-ovest favorisce la possibilità di creare un volume che ha una dimensione sviluppata nel senso della lunghezza del terreno, ovvero rivolta verso sud.

Da questo primo volume si è deciso di procedere andando a suddividerlo in parti più piccole, rappresentative di appartamenti con una superficie lorda in pianta di circa 100 m<sup>2</sup>. Nell'ipotesi di realizzare tutti e ventidue gli alloggi al piano terra sarebbe necessaria una superficie di almeno 2200 m<sup>2</sup>, cioè quasi l'intera superficie compresa all'interno della linea di massimo involuppo. Questo comporta diversi svantaggi, come ad esempio l'impossibilità di dare un'affaccio a sud a tutte le unità abitative o la realizzazione di una superficie coperta che occupa gran parte del terreno, riducendo notevolmente gli spazi verdi. Inoltre, in questo volume non si è tenuto conto di aree pertinenziali come garage o locali tecnici. Disponendo gli alloggi su due livelli e distribuendoli lungo il lato nord del lotto d'intervento si riesce invece a dare un'esposizione a sud a ciascuno di essi.

In seguito a queste prime considerazioni si decide di sollevare i due piani degli appartamenti e di inserire un terzo livello al piano terra dove collocare garage e cantine e di posizionare i volumi dei

vani scala necessari a raggiungere i piani superiori. Questi vengono frapposti ogni due blocchi verticali di alloggi, in modo da creare un unico ingresso in grado di servire fino a quattro unità abitative. Il nuovo assetto comporta la necessità di ricollocare alcuni volumi. Tenuto conto di un limite massimo di altezza dell'edificio di 9 m e, quindi, dell'impossibilità di aggiungere un quarto livello, l'unico spazio possibile è quello nella parte sud-est dell'area di progetto. Si decide pertanto di creare in questa superficie un secondo volume e di separarlo dal primo considerando un distacco minimo di 10 m tra corpi di fabbrica.

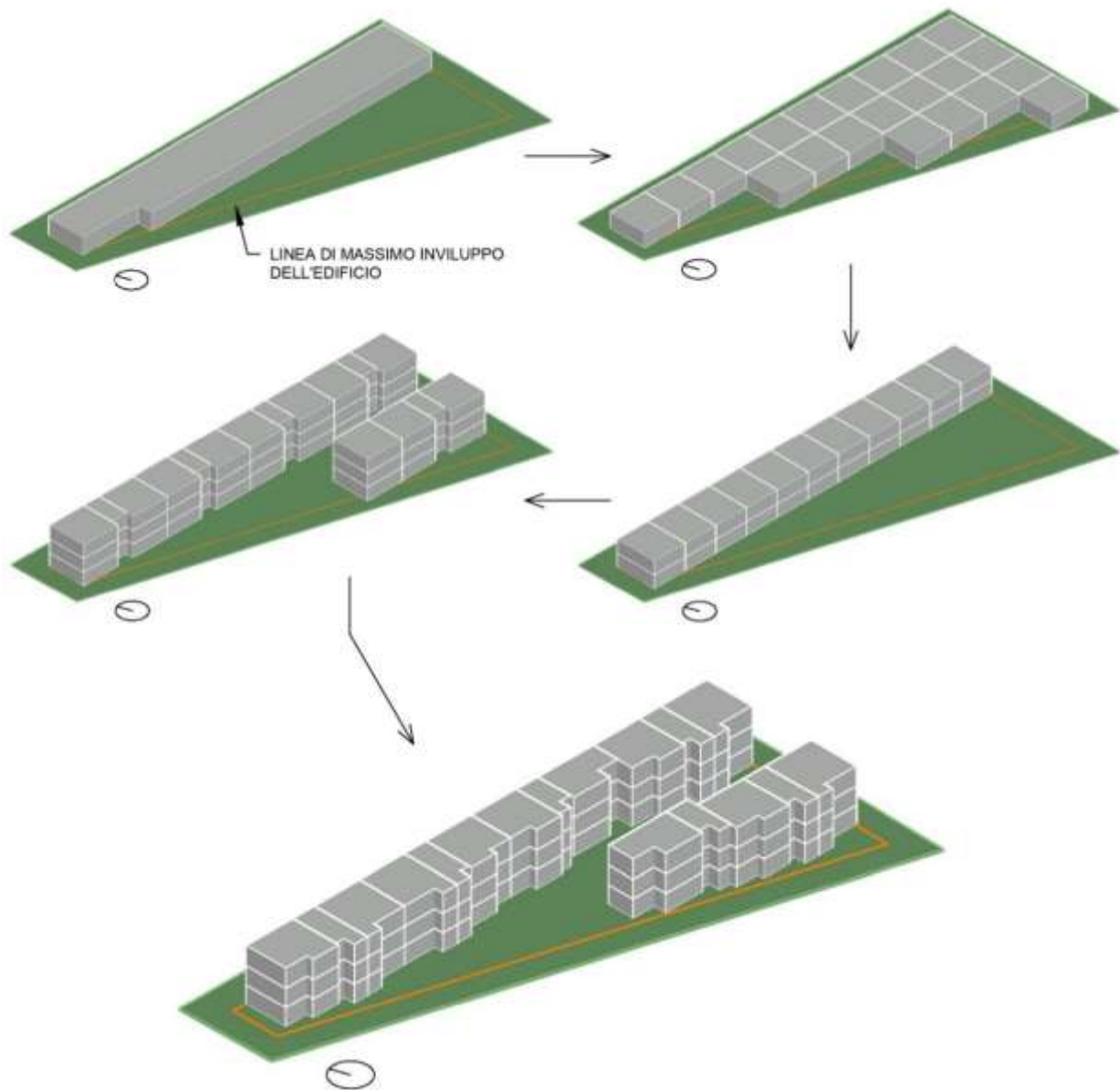


Figura 2.9 – Studio preliminare dei volumi di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 2.5.2. Progettazione degli interni

Il piano primo e il piano secondo contengono le unità abitative. La progettazione degli ambienti interni determina il movimento delle superfici dei prospetti sud dei due edifici. Questi, infatti, sono il risultato di alcune scelte comuni fatte per disegnare i locali dei ventidue alloggi.

Per prima cosa si è optato di variegare l'offerta abitativa introducendo tre tipologie di appartamenti:

- quattro alloggi per nuclei familiari di due persone;
- dieci alloggi per nuclei familiari di tre persone;
- otto alloggi per nuclei familiari di quattro persone.

Trattandosi di un complesso residenziale pubblico, per l'assegnazione delle varie unità abitative esistono delle normative concernenti le superfici utili minime e massime, nonché il numero di camere massime, in funzione al numero di componenti del nucleo familiare. In Veneto questa disciplina si trova nel regolamento regionale del 10 agosto 2018, n. 4 [Figura 2.10].

Numero componenti	Superficie utile minima	Superficie utile massima	Numero camere max
1	28	45	1
2	45,01	65	2
3	65,01	75	2
4	75,01	80	3
5	80,01	95	3
6 o più	Oltre 95		4 o più

Figura 2.10 – Tabella estratta dall'articolo 10 del RR 4/2018 del Veneto riguardante le modalità di assegnazione degli alloggi dell'edilizia residenziale pubblica. [Fonte: RR 4/2018 del Veneto]

Disegnando i vari ambienti interni si è cercato di dare adeguati spazi di vita agli occupanti, allineando le camere da letto e bagni sul lato nord di ciascun appartamento e modellando i volumi della zona giorno nella parte sud, togliendo il superfluo ma lasciando il giusto che serve, cercando di rispettare il limite della superficie utile massima.

Altro fattore decisivo nelle scelte progettuali è l'accessibilità ai vari ambienti. Infatti, trattandosi di un edificio residenziale pubblico, questo è soggetto ad una rigorosa disciplina riguardo alla fruizione dell'immobile da parte di utenti soggetti a disabilità. Le disposizioni di questa materia si trovano nel decreto ministeriale 14 giugno 1989, n. 236. Questo prevede, in particolare, che almeno il 5% (con un minimo di uno) degli alloggi sia accessibile e che il restante sia visitabile e adattabile. Ciò significa che la progettazione degli appartamenti deve tener conto di una necessità futura di renderli accessibili. Per questo motivo gli ambienti interni di tutti gli appartamenti sono pensati per permettere la libera circolazione di un utente in carrozzella. Inoltre, l'accessibilità a ciascuna unità abitativa è garantita da un ascensore posto nel vano scala di ingresso.

Anche la posizione delle diverse unità abitative non è casuale [Figura 2.11]. Data la configurazione dell'area di progetto si è collocato ogni alloggio in modo da ottimizzare al meglio la superficie disponibile del terreno, mettendo quelli più piccoli negli spazi meno permissivi. La diversa forma di ciascuna tipologia di appartamento e la loro alternanza concorrono, dunque, al risultato finale dei volumi dei due fabbricati.

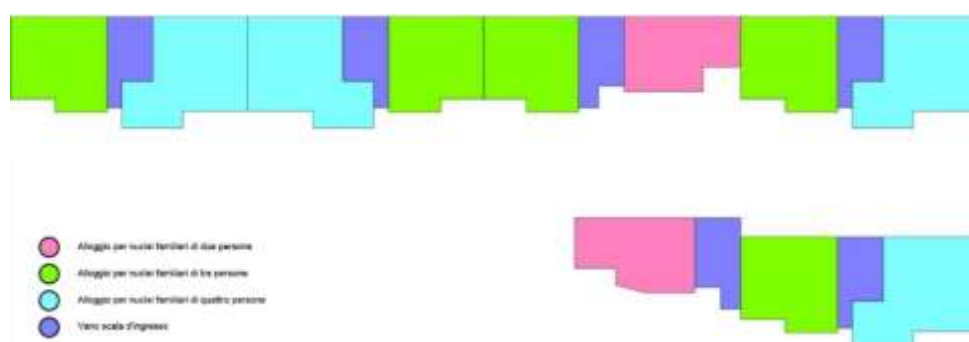


Figura 2.11 – Rappresentazione schematica delle tipologie di alloggi e della loro disposizione in pianta. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 2.5.3. Piante, prospetti, sezioni e viste

Di seguito si riportano le principali piante, prospetti e sezioni estratte dalle tavole progettuali. In Allegato 1 si trovano le tavole progettuali complete.

Per una migliore lettura del progetto, si adotta il seguente schema identificativo dell'area di progetto che vede i due complessi residenziali divisi in blocchi più piccoli composti dal vano scale d'ingresso e dagli appartamenti ad esso collegati e identificati da una lettera compresa tra la A e la F. L'edificio più a nord sarà, invece, identificato come Complesso 1, mentre quello più a sud come Complesso 2.

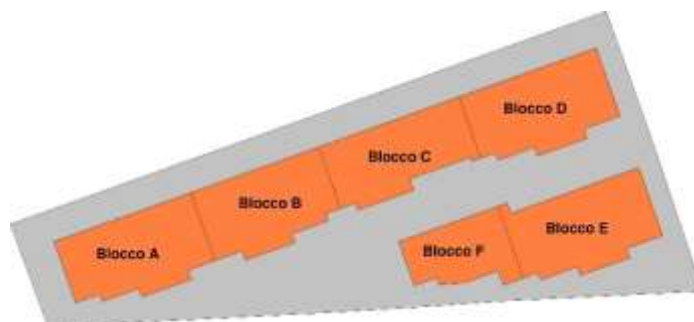


Figura 2.12 – Schema identificativo dell'area di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

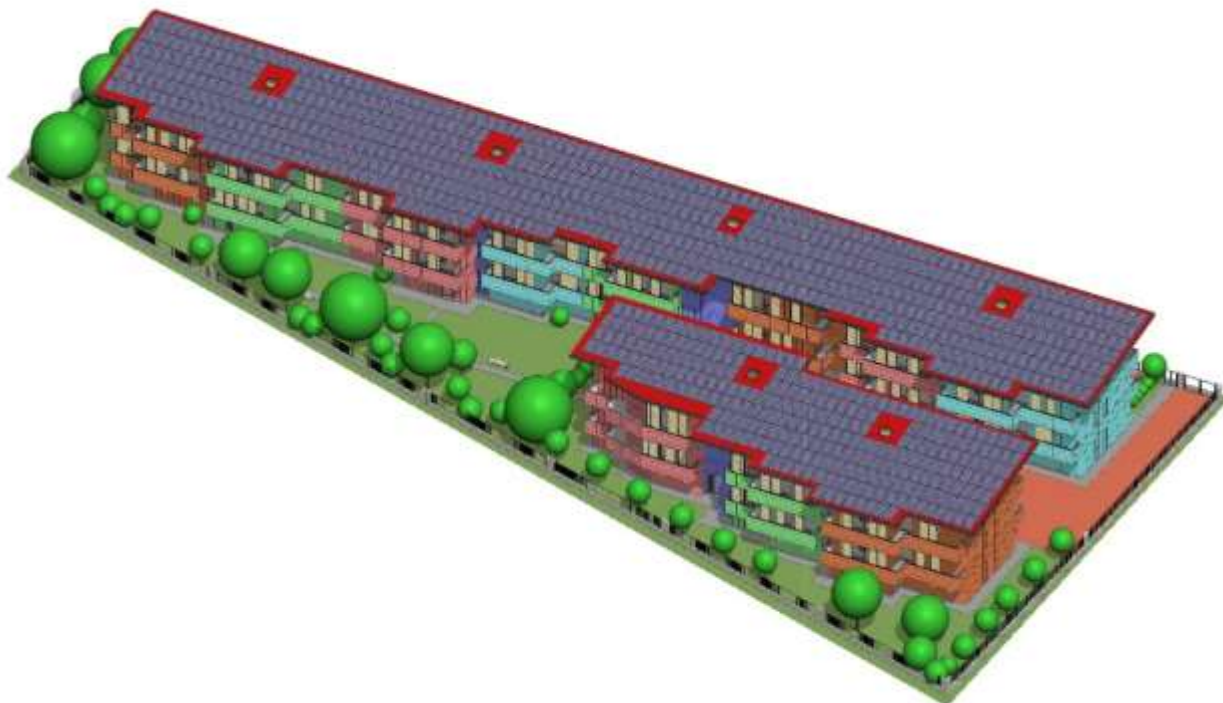


Figura 2.13 – Vista assometria dello stato di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]



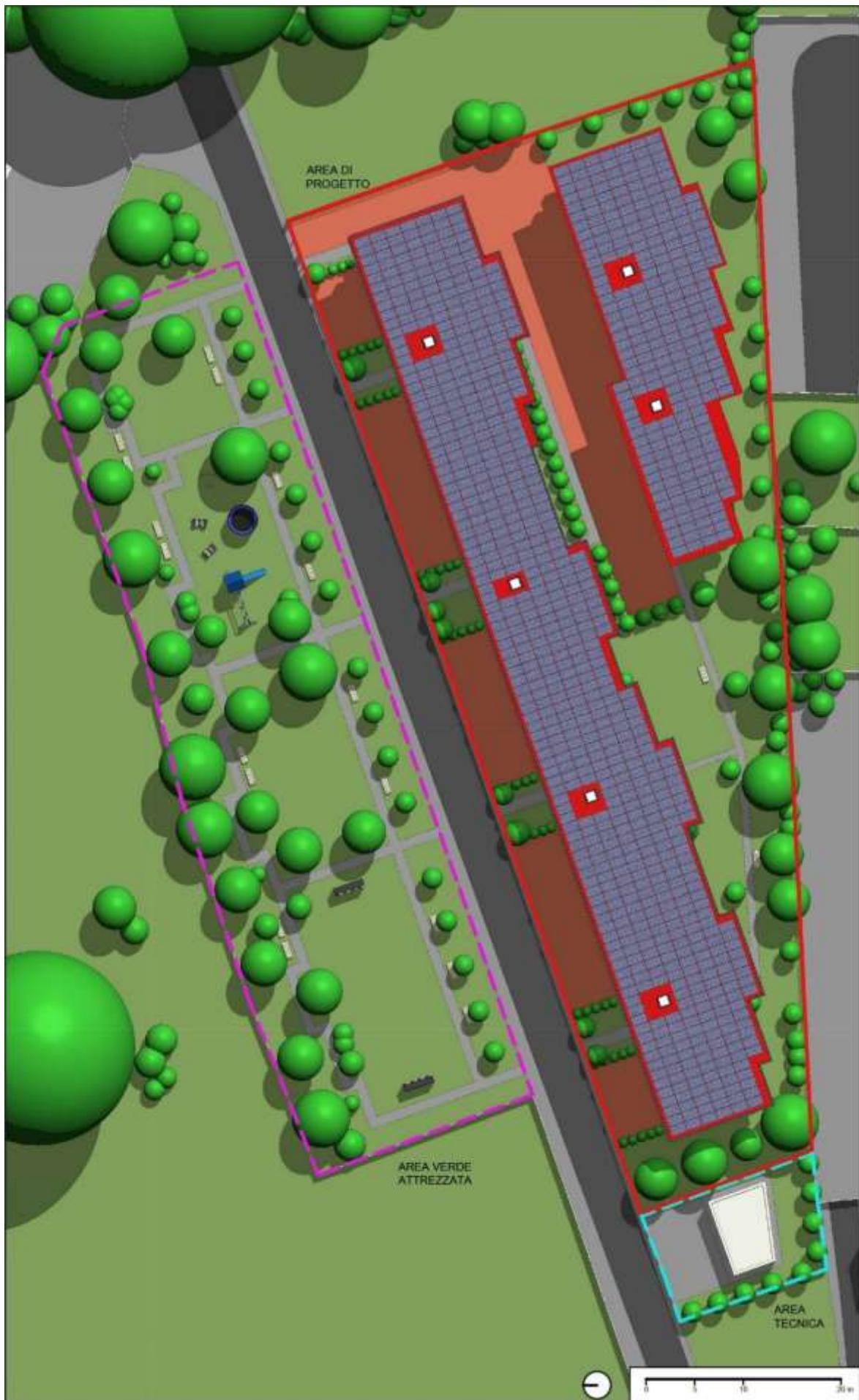


Figura 2.14 – Planivolumetria dello stato di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

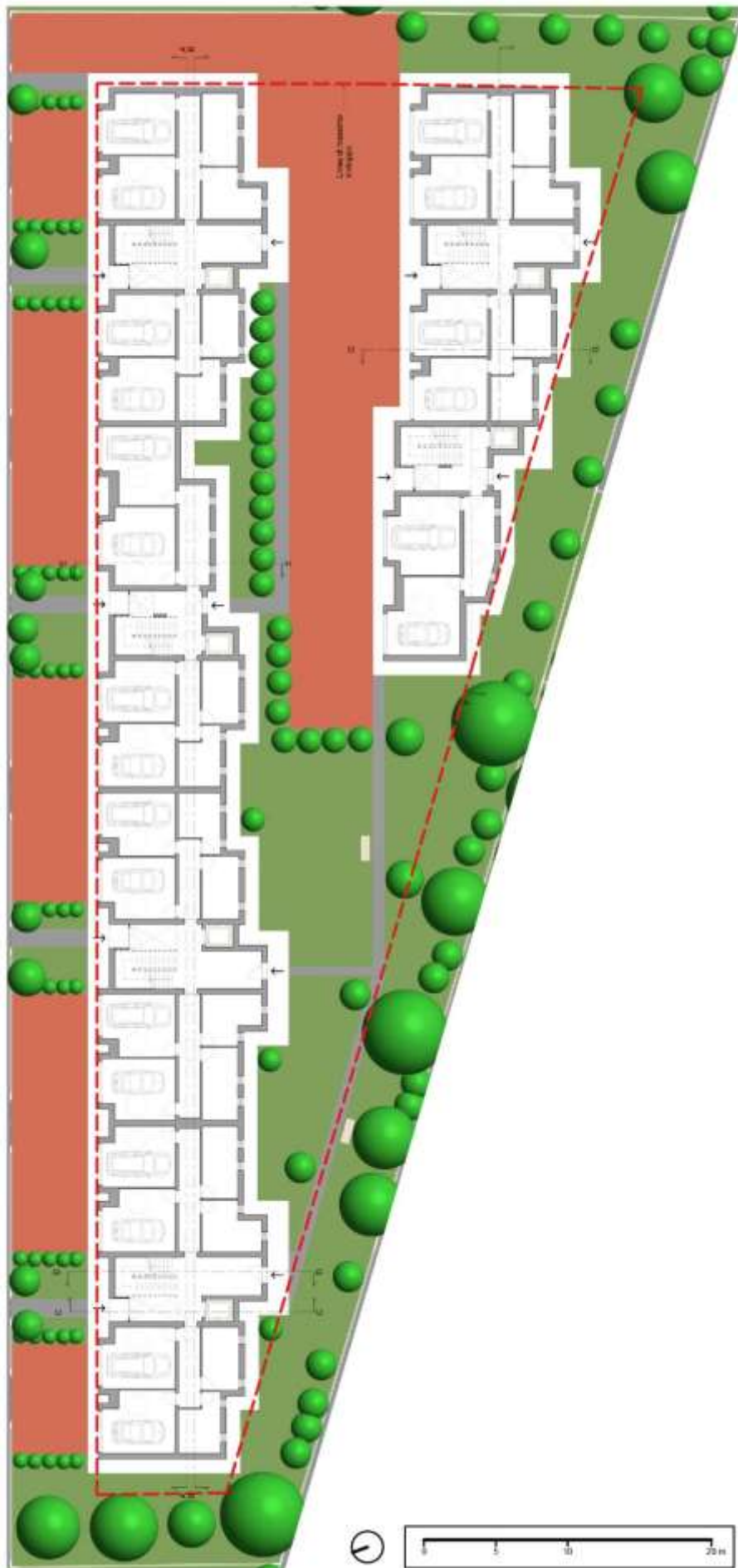


Figura 2.15 – Masterplan P00. [Fonte: elaborazione dell'autore]

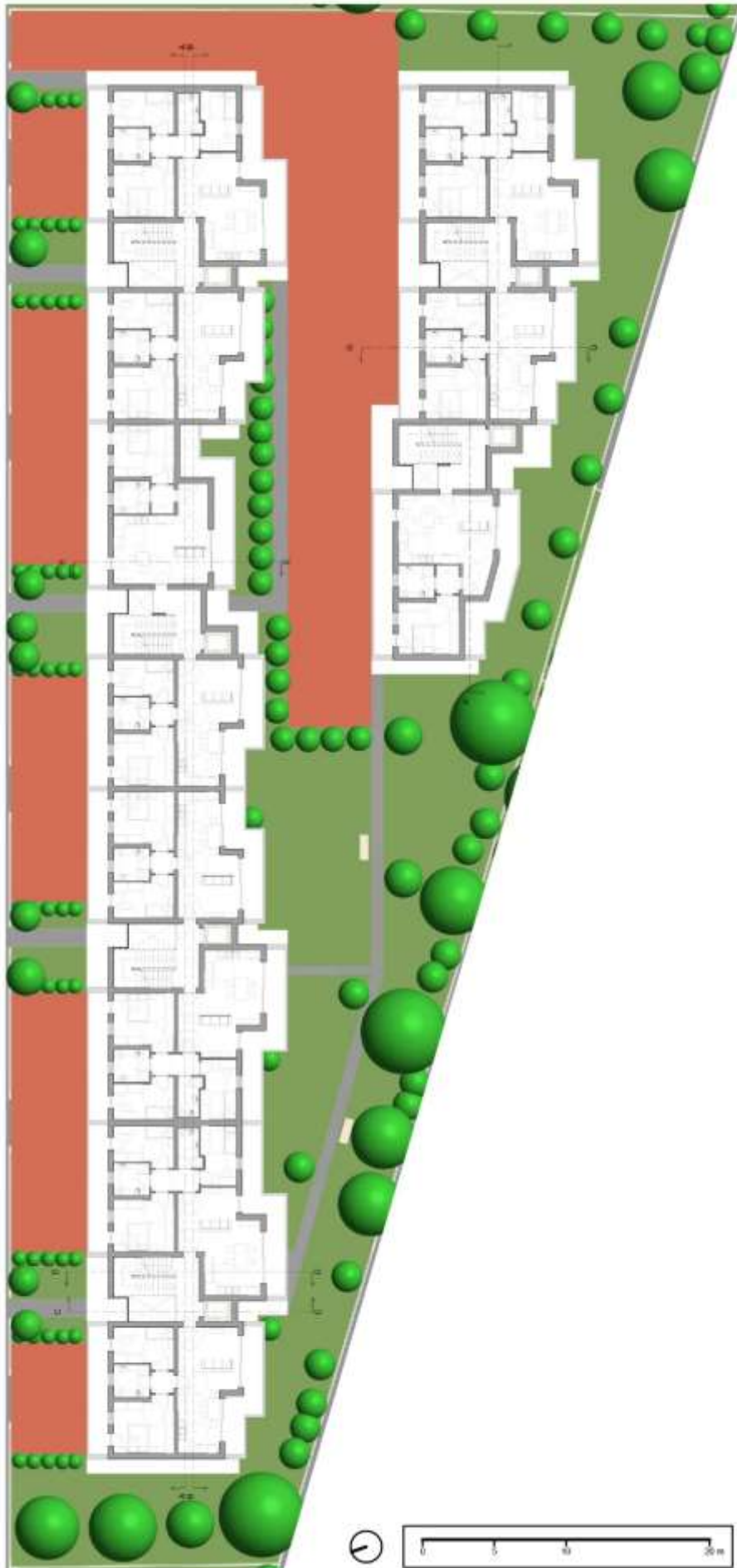


Figura 2.16 – Masterplan P01. [Fonte: elaborazione dell'autore]

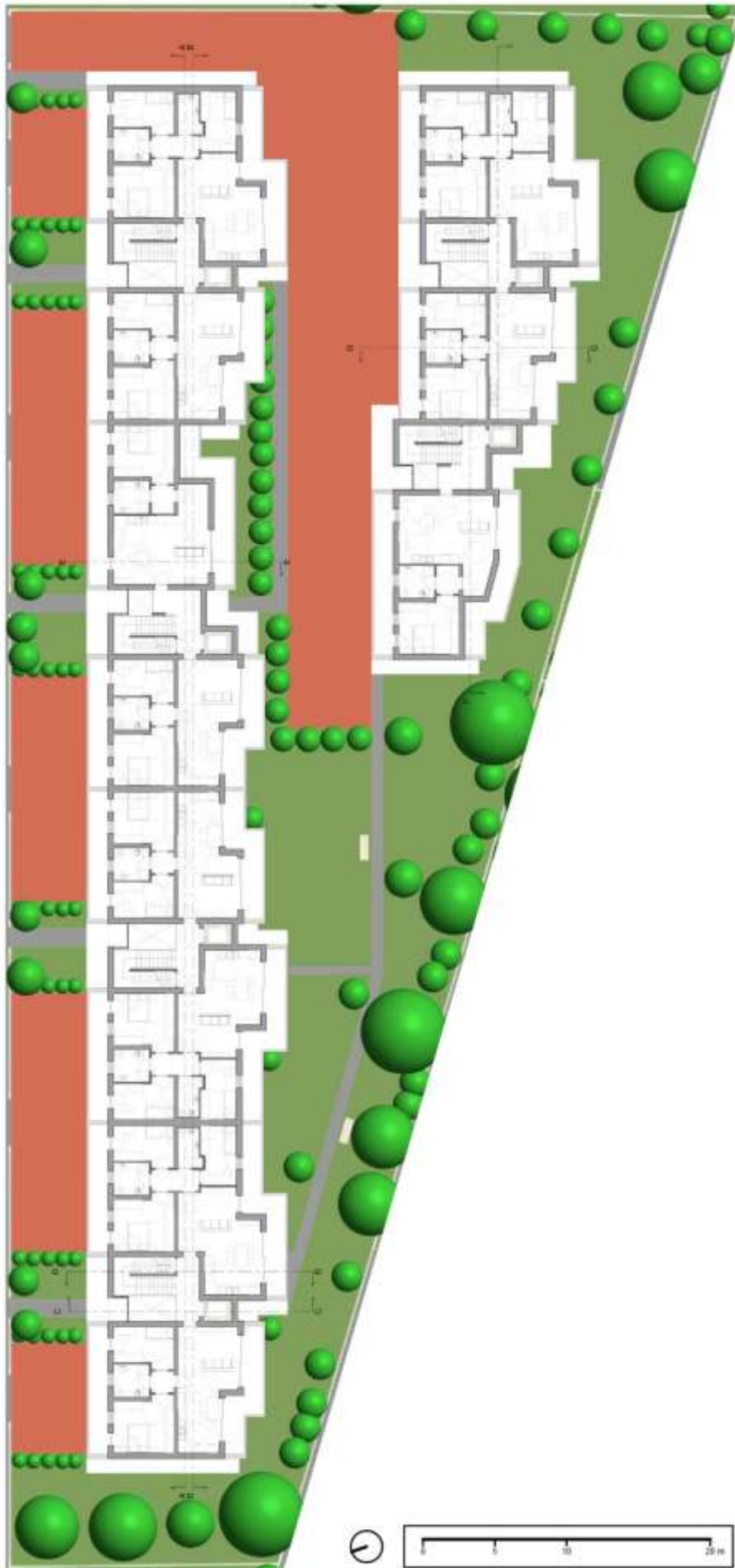


Figura 2.17 – Masterplan P02. [Fonte: elaborazione dell'autore]

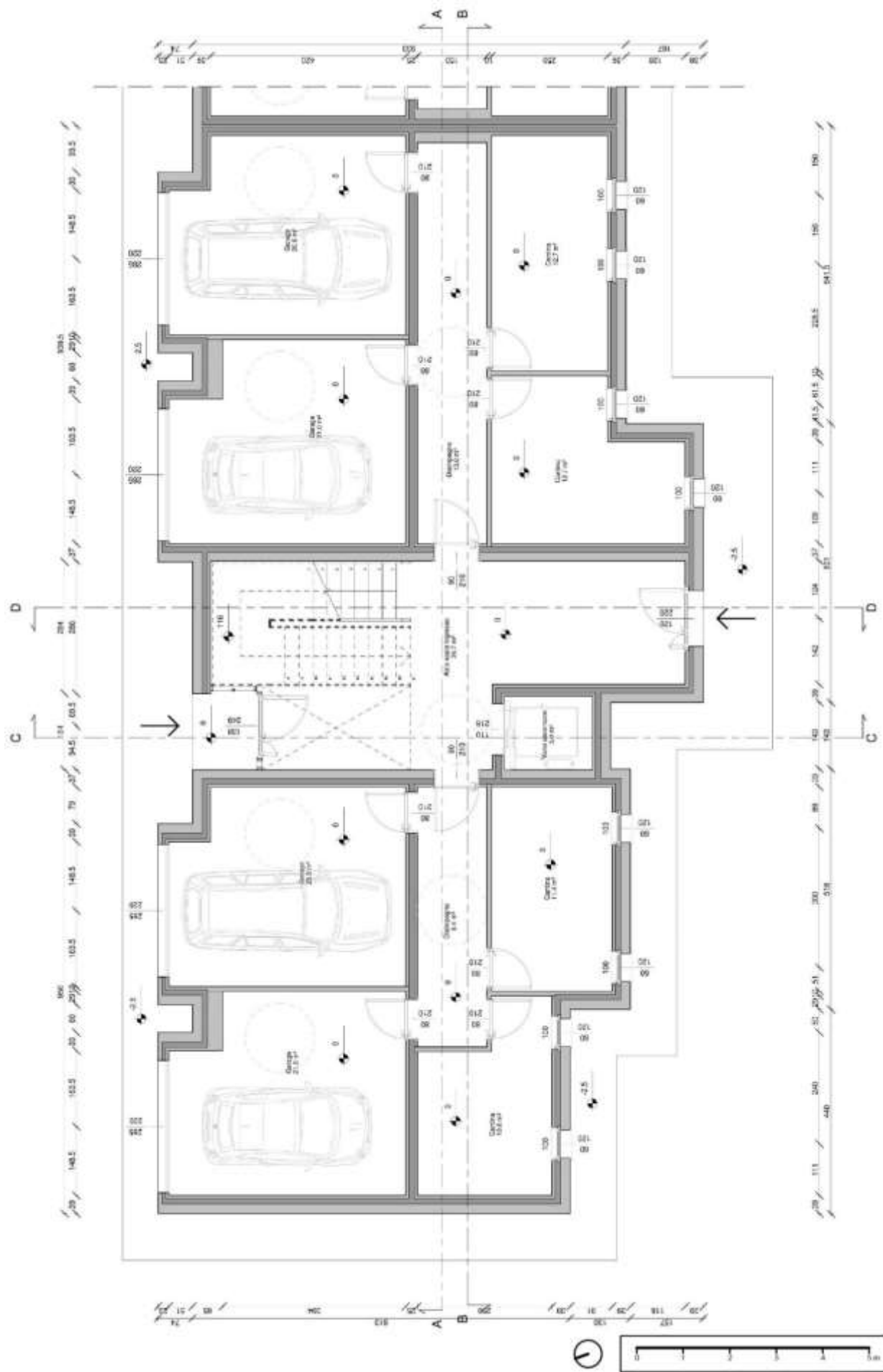


Figura 2.18 – Pianta P00 del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]

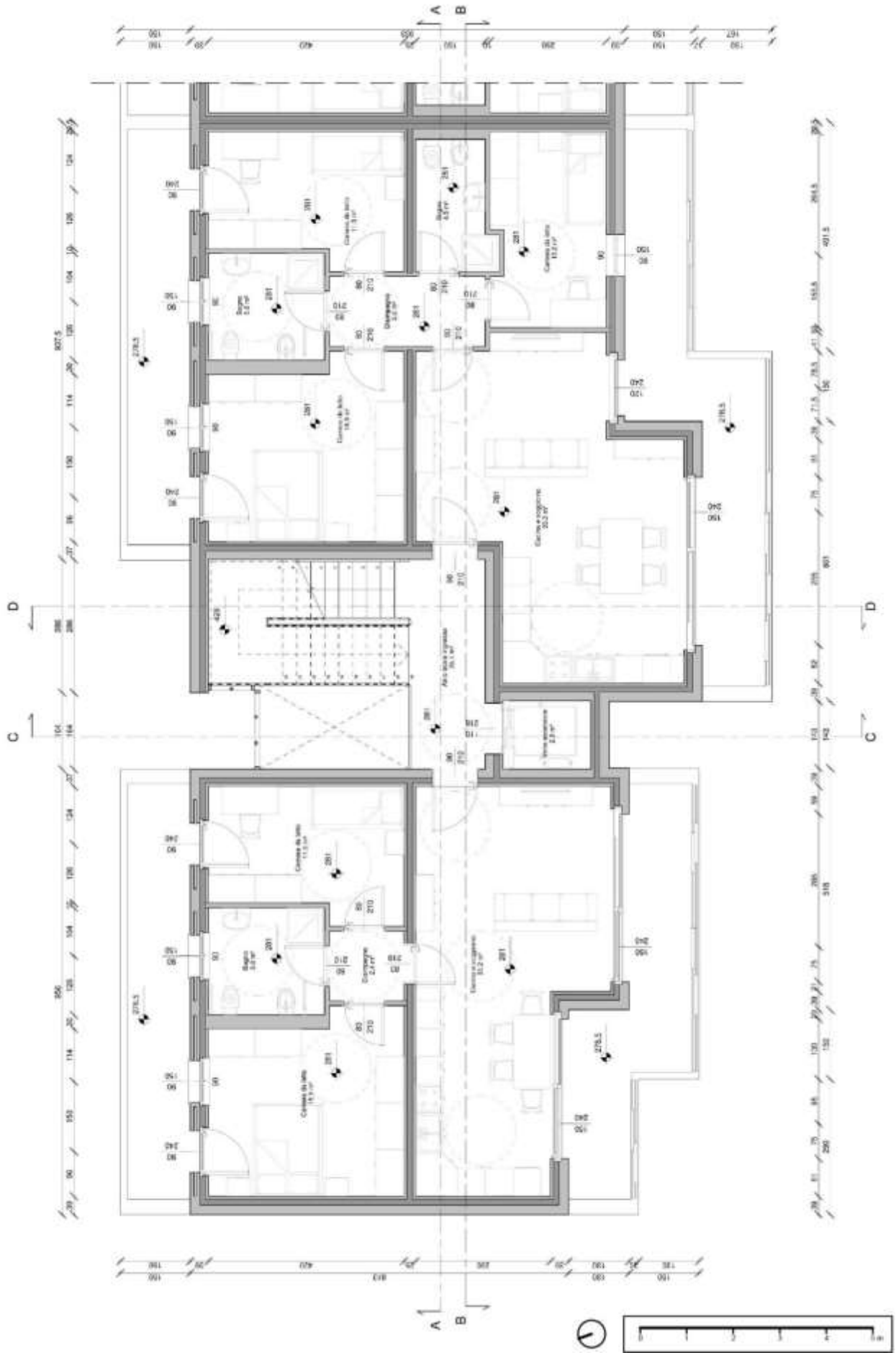


Figura 2.19 – Pianta P01 del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]

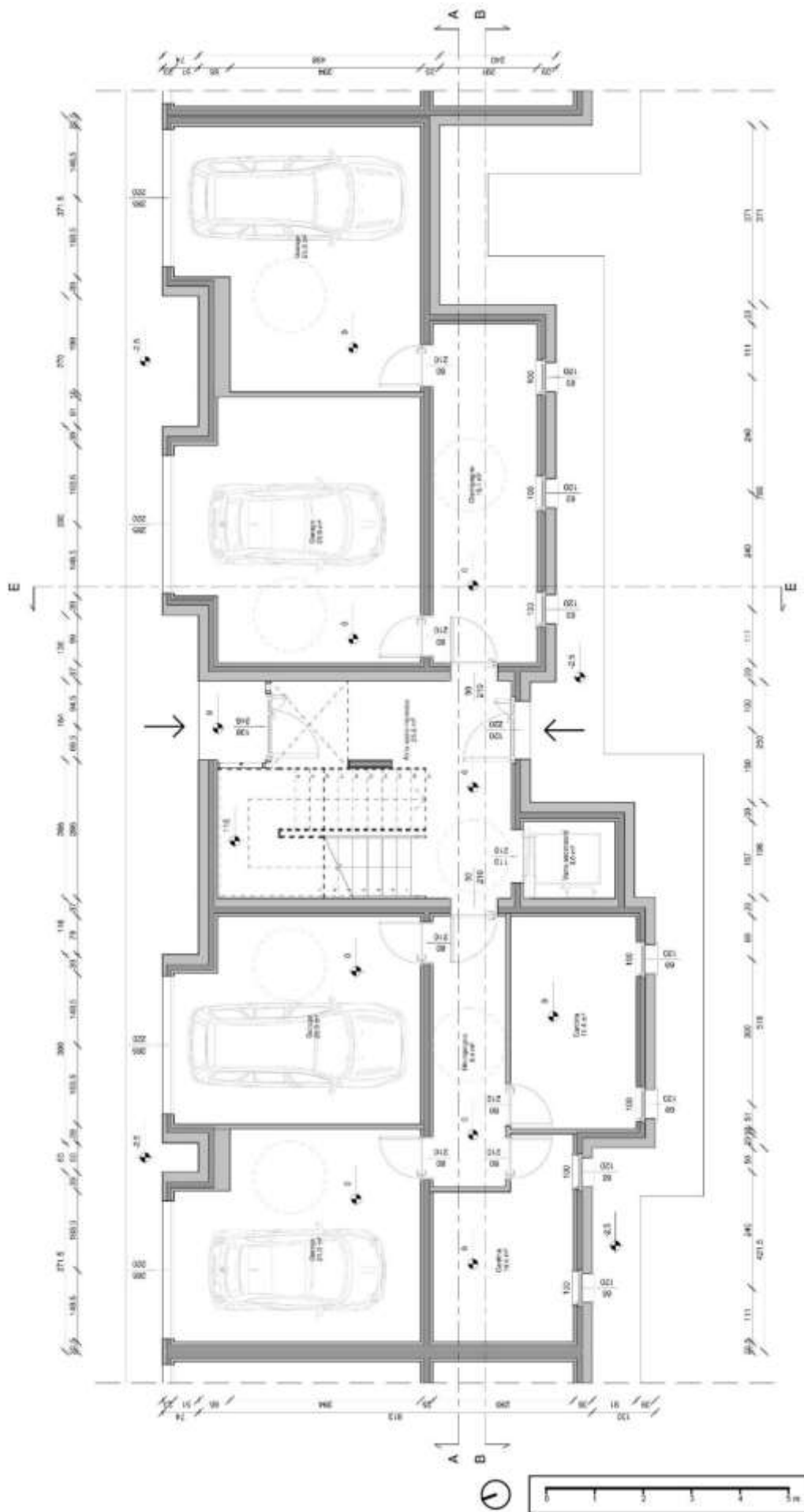


Figura 2.20 – Pianta P00 del Blocco C. [Fonte: elaborazione dell'autore]

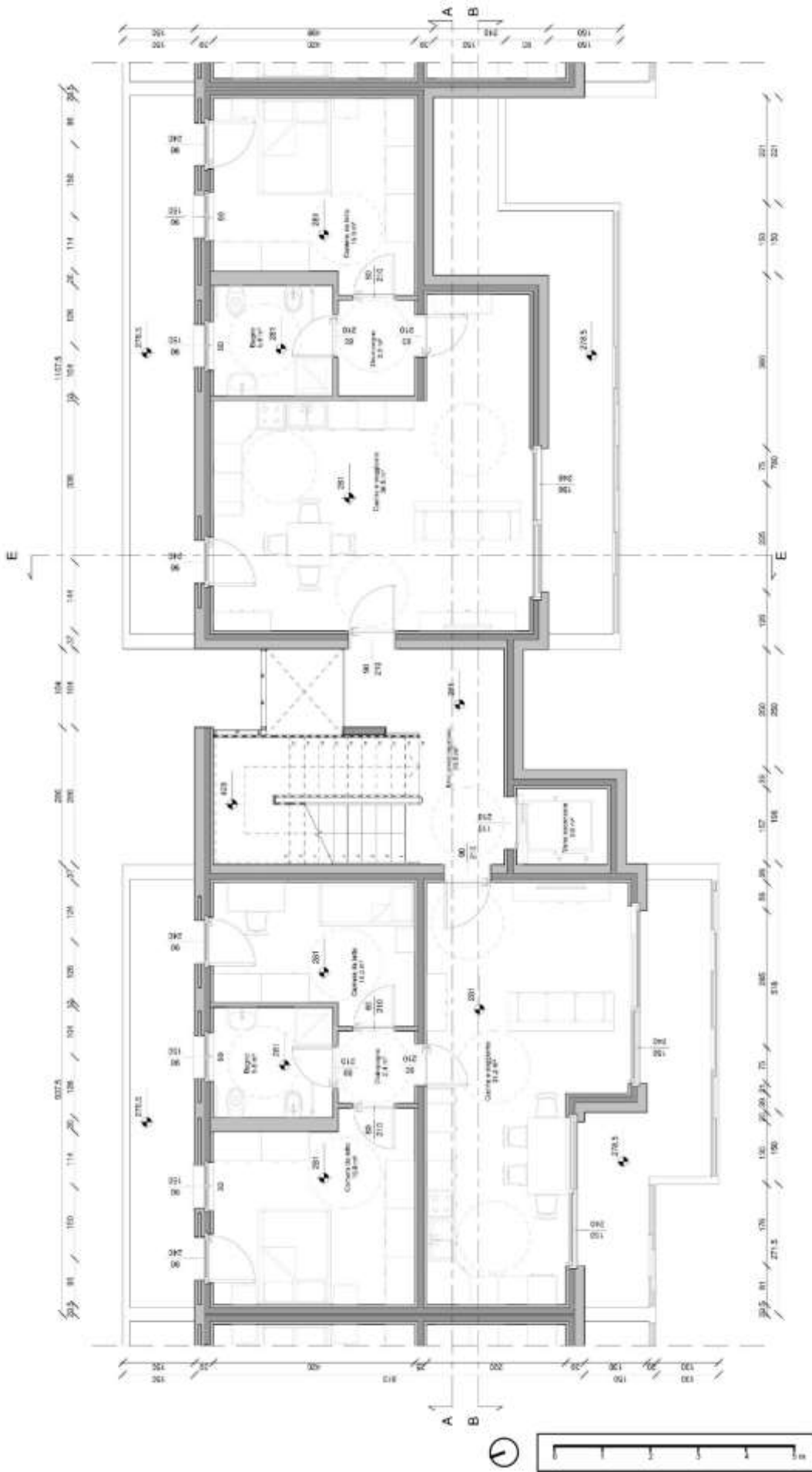


Figura 2.21 – Pianta P01 del Blocco C. [Fonte: elaborazione dell'autore]





Figura 2.22 – Prospetto nord del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.23 – Prospetto sud del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]

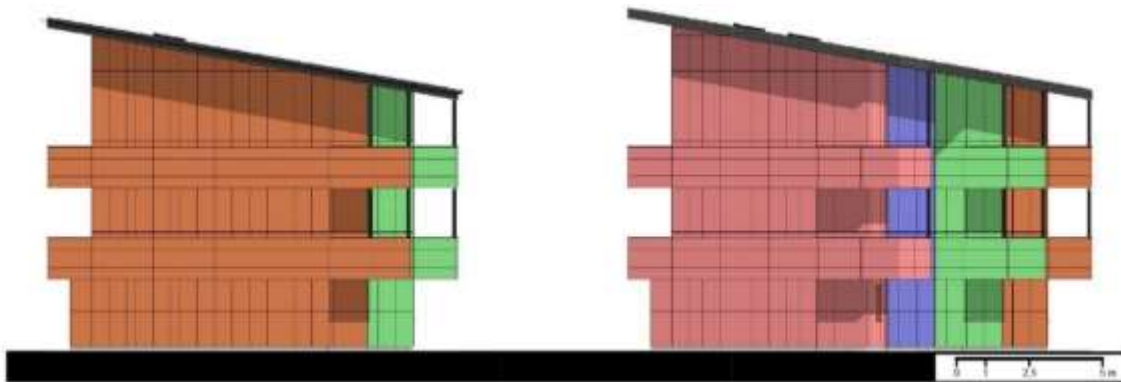


Figura 2.24 – Prospetti ovest del Complesso 1 e del Complesso 2 rispettivamente. [Fonte: elaborazione dell'autore]

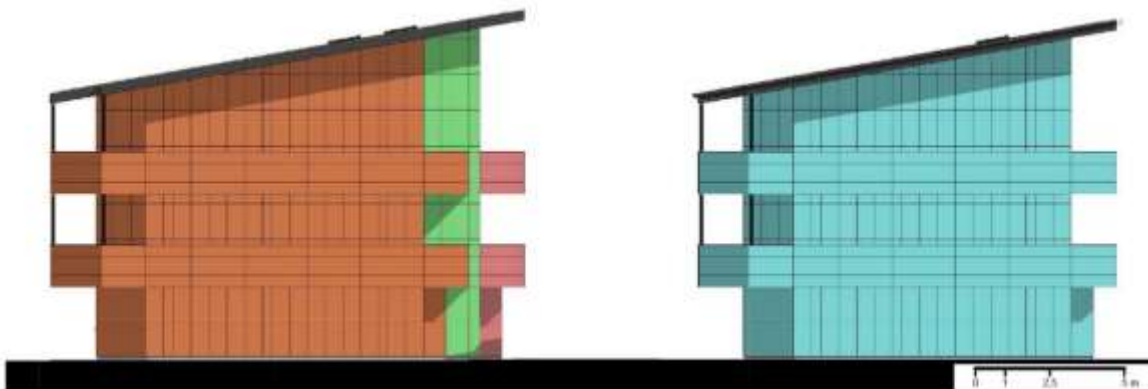


Figura 2.25 – Prospetti est del Complesso 2 e del Complesso 1 rispettivamente. [Fonte: elaborazione dell'autore]

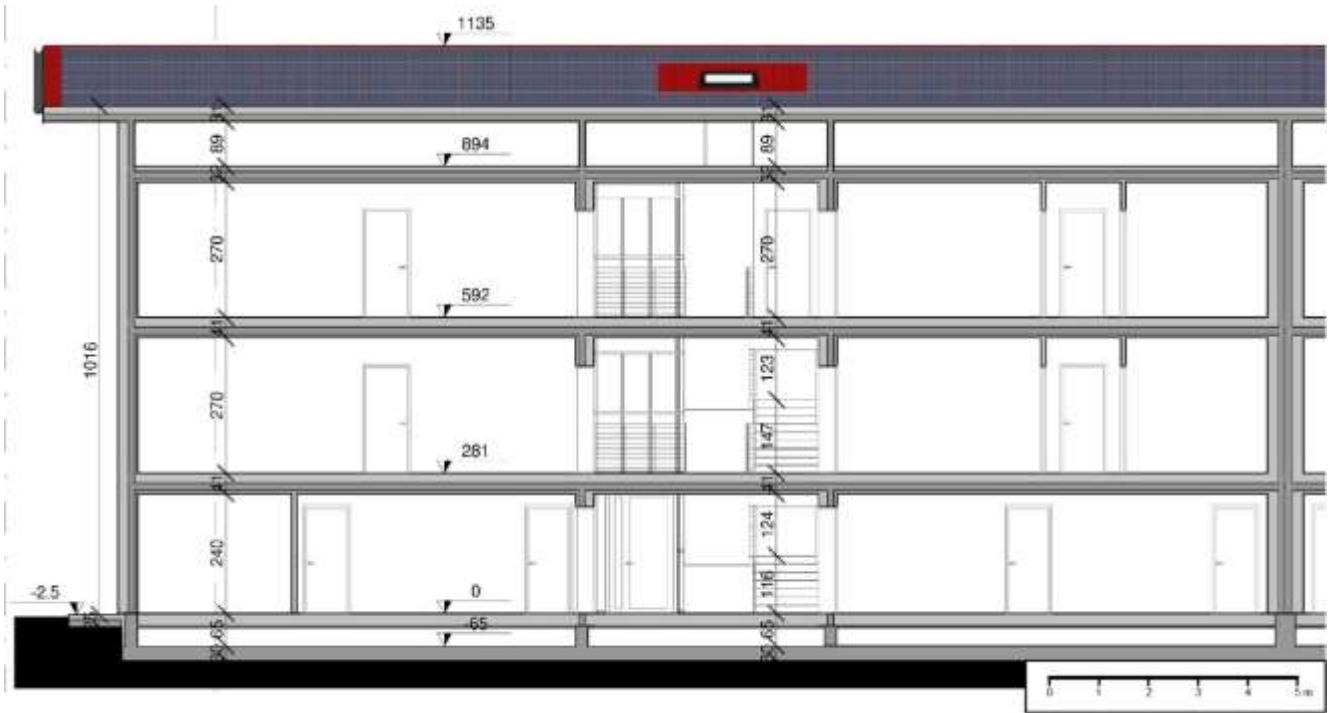


Figura 2.26 – Sezione A-A del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]

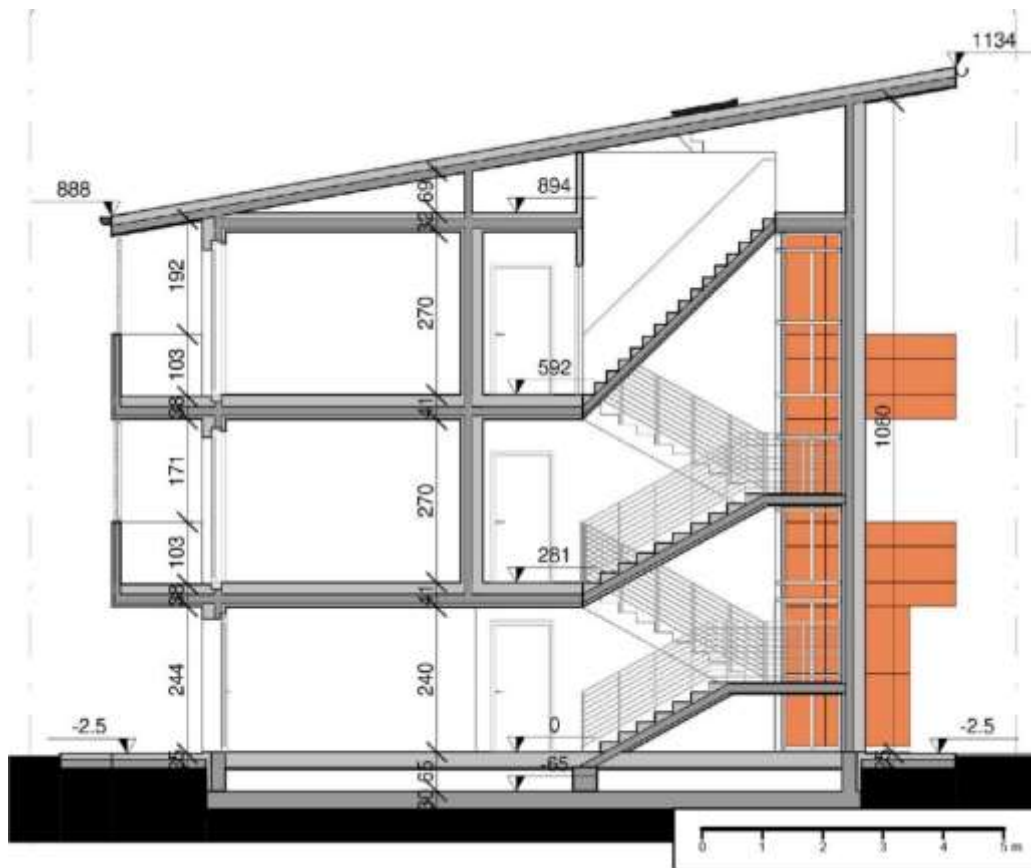


Figura 2.27 – Sezione D-D del Blocco A. [Fonte: elaborazione dell'autore]

#### 2.5.4. Facciata ventilata

La finitura esterna dei due complessi residenziali è costituita da una facciata ventilata composta da pannelli in lana minerale compressa, pitturati superficialmente. Si sono scelti cinque colori: Il blu rappresenta i volumi contenenti l'atrio d'ingresso e il vano scale, mentre l'arancione, il verde, il rosa e l'azzurro definiscono in modo arbitrario quelli contenenti gli appartamenti [Figura 2.28].

I pannelli della facciata ventilata seguono un ritmo e una disposizione apparentemente casuale. In realtà, essendo i volumi dei due complessi residenziali composti da un elevato numero di superfici di dimensioni variabili, trovare un modulo unico per tutte non è stato fattibile. Si è pensato allora di utilizzare un pannello di forma rettangolare con un lato fisso di 60 cm e l'altro variabile in multipli di 30 cm. Successivamente si è giocato con loro disponendoli in orizzontale o in verticale, seguendo trame e linee ben precise, come ad esempio quelle date dal parapetto delle terrazze o dai fili dei serramenti. Osservando i prospetti, si possono notare in particolare due fasce che corrono lungo tutte le pareti perimetrali. Queste sono definite dalla trama utilizzata per disegnare i parapetti delle terrazze, che prosegue anche dove non ci sono.



Figura 2.28 – Vista del prospetto nord dell'Complesso 1. [Fonte: elaborazione dell'autore]

La facciata ventilata, oltre che per il fattore estetico, è stata scelta anche per motivi funzionali. Il suo scopo, infatti, è quello di proteggere dagli agenti atmosferici, come pioggia e sole, gli strati più interni delle pareti perimetrali, primo tra tutti il cappotto di coibentazione, e di permettere una loro elevata traspirabilità attraverso una circolazione naturale dell'aria nell'intercapedine costituita tra i pannelli esterni e lo strato di isolamento interno<sup>12</sup>. Sia per il cappotto, che per la struttura, si è optato per materiali naturali, il primo in fibra di legno e il secondo in pannelli di legno massiccio a strati incrociati (X-LAM). Entrambi sono sensibilmente vulnerabili all'azione dell'acqua e dell'umidità. Una adeguata traspirazione e ventilazione della parete consente una rapida evacuazione del vapore acqueo che trasmigra dagli ambienti interni, permettendo all'eventuale condensa interstiziale o infiltrazioni di pioggia di evaporare, in particolare nella stagione invernale. In estate, invece, la circolazione dell'aria nell'intercapedine della facciata ventilata permette una rapida evacuazione del calore generato dal surriscaldamento del rivestimento esterno irraggiato dal sole, riducendo notevolmente gli apporti solari agli strati interni della parete e, quindi, ai locali degli alloggi.

---

<sup>12</sup> (ANIT 2021)

La camera d'aria deve essere opportunamente dimensionata e progettata al fine di garantire l'adeguata ventilazione della parete. A livello normativo viene fornito un metodo di calcolo semplificato per determinare lo spessore dell'intercapedine in funzione del tipo di ventilazione che si vuole ottenere. Tale metodo si trova nella UNI 11018 "Rivestimenti e sistemi di ancoraggio per facciate ventilate a montaggio meccanico. Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione. Rivestimenti lapidei e ceramici". L'intercapedine può essere classificata come debolmente, mediamente o fortemente ventilata in base al valore del rapporto  $s'/L$ , dove  $s'$  è la somma delle sezioni delle aperture inferiore e superiore della facciata (in  $m^2$ ) per un metro di larghezza, mentre  $L$  è l'altezza (in  $m$ ) della parete [Tabella 2.5].

Tabella 2.5 – Classificazione della facciata ventilata in funzione del rapporto  $s'/L$ . [Fonte: norma tecnica UNI 11018]

Tipo di ventilazione	$s'/L$ ( $m^2/m$ )
Debolmente ventilata	$\leq 0,002$
Mediamente ventilata	$0,002 \div 0,05$
Fortemente ventilata	$\geq 0,05$

Considerando un'altezza media dell'edificio  $L$  di 10 m e un valore di  $s'/L$  di  $0,01 m^2/m$  (mediamente ventilata), si ha:

$$s' = 0,01 \times L = 0,01 \times 10 = 0,1 m^2$$

Se le aperture superiore e inferiore sono uguali, la loro sezione è pari alla metà di  $s'$ , cioè di  $0,05 m^2$  per ogni metro di larghezza della parete. A questa sezione corrisponde uno spessore dell'intercapedine di 5 cm. Per avere una facciata fortemente ventilata bisognerebbe realizzare un'intercapedine di almeno 25 cm.

La sottostruttura del rivestimento esterno è costituita da una intelaiatura in legno, composta da listelli verticali che formano l'intercapedine d'aria, sostenuti da listelli orizzontali interposti tra i pannelli dell'isolamento e collegati alla struttura in X-LAM [Figura 2.29].

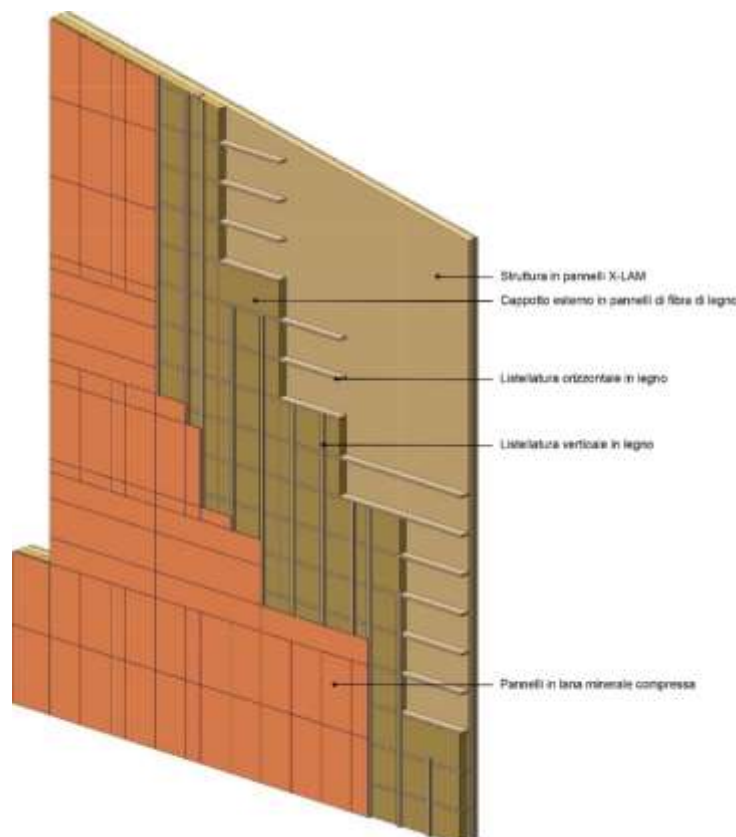


Figura 2.29 – Vista assometrica del dettaglio costruttivo della parete ventilata. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 2.5.5. Altri aspetti architettonici

L'accesso principale ai complessi residenziali avviene da delle aperture che tagliano in verticale fin quasi alla copertura la parete nord, allineandosi al filo superiore dei serramenti dell'ultimo piano. Superata l'apertura ci si ritrova in uno spazio esterno-interno che anticipa la porta d'entrata incorniciata da una facciata continua costituita da moduli vetrati intelaiati [Figura 2.30]. L'atrio dell'ingresso è un volume a tutt'altezza fiancheggiato dalle scale che portano agli appartamenti nei piani superiori. Da qui, inoltre, è possibile raggiungere i locali al piano terra contenenti garage e cantine, di accedere all'ascensore o di andare al giardino posto sul retro passando per una porta secondaria [Figura 2.31]. I prospetti nord e sud sono ulteriormente movimentati e volumizzati dalle terrazze che sono il proseguo a sbalzo dei solai interni del primo e secondo piano [Figura 2.32].



Figura 2.30 – Viste delle aperture dell'ingresso e dell'atrio a tutta altezza. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.31 – Vista del prospetto sud del Complesso 1 e del giardino sul retro. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.32 – Vista del prospetto nord del Complesso 2 e del prospetto sud del Complesso 1. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Entrando in uno qualunque degli alloggi ci si ritrova nel soggiorno-cucina, illuminato da delle porte vetrate scorrevoli rivolte a sud [Figura 2.33]. Gli interni sono rifiniti principalmente in cartongesso per i muri e i soffitti, piastrelle in gres porcellanato per i pavimenti e legno per i serramenti. Come schermatura dai raggi del sole che colpiscono le vetrate a sud si sono inseriti dei frangisole scorrevoli a doghe orizzontali sopra i parapetti delle terrazze.



Figura 2.33 – Vista della zona giorno dell'alloggio da tre, a sinistra, e dell'alloggio da due a destra. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Grazie al software Autodesk Revit, si è riproposta un'ulteriore analisi qualitativa dell'illuminazione naturale e delle ombre eseguita internamente ed esternamente ai due complessi residenziali, alle ore 12.00 del solstizio estivo e di quello invernale. Nelle figure seguenti emerge in particolare una criticità: il Complesso 2, data la sua altezza e la vicinanza al Complesso 1, nei mesi invernali mette in ombra gli appartamenti del piano primo dei Blocchi C e D e una parte del piano secondo del Blocco D.

Si nota inoltre come la profondità delle terrazze, resa possibile dallo sbalzo di 1,5 m dei pannelli X-LAM dei solai, funge da barriera solare alle vetrate poste a sud nei mesi estivi, mentre nei mesi invernali permette al sole di entrare negli ambienti interni.



Figura 2.34 – Vista del prospetto sud del Complesso 1, alle ore 12.00, nel solstizio estivo a sinistra e nel solstizio invernale a destra. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.35 – Vista del prospetto sud del Complesso 1, alle ore 12.00, nel solstizio estivo a sinistra e nel solstizio invernale a destra. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.36 – Vista della zona giorno dell'alloggio da quattro, posto al piano primo del Blocco A, alle ore 12.00, nel solstizio estivo a sinistra e nel solstizio invernale a destra. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.37 – Vista della zona giorno dell'alloggio da tre, posto al piano secondo del Blocco D, alle ore 12.00, nel solstizio estivo a sinistra e nel solstizio invernale a destra. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Infine, la parte sommitale dei due complessi residenziali è definita da una copertura a falda singola inclinata di 10° verso sud [Figura 2.38]. Questo ha permesso di realizzare una superficie esposta all'irraggiamento solare di circa 1750 m<sup>2</sup> dove è possibile installare fino a un massimo di 916 pannelli fotovoltaici. Questi sono integrati nei pannelli che costituiscono il manto del tetto: componenti prefabbricati isolanti in EPS protetti da lamiera grecata. È, inoltre, possibile accedere alla copertura per svolgere lavori di manutenzione dal sottotetto passando attraverso delle finestre.



Figura 2.38 – Vista a volo d'uccello della copertura dei due complessi residenziali. [Fonte: elaborazione dell'autore]

#### 2.5.6. Concetto strutturale

L'aspetto strutturale è stato definito solamente ad un livello di massima, eseguendo comunque un predimensionamento di base. Come già accennato si è deciso di adottare come materiale il legno e, più in particolare, i pannelli in legno massiccio a strati incrociati X-LAM, sia per le strutture verticali che per quelle orizzontali, compresa la copertura e le scale. I solai sono in appoggio sopra le pareti perimetrali e una parete portante interna, parallela ai prospetti nord e sud dei due fabbricati, ed escono a sbalzo per formare le terrazze. Per le pareti si è utilizzato pannelli di spessore 12 cm, mentre quelli degli orizzontamenti sono di spessore 15 cm.

Per le fondazioni, si è scelto di utilizzare una platea con travi rovesce in calcestruzzo armato, su cui poggiano dei cordoli prefabbricati, anch'essi in calcestruzzo armato. Questi servono come base per i pannelli X-LAM delle pareti.



### 2.5.7. Componenti, materiali e dettagli costruttivi

Di seguito si riportano i dettagli costruttivi dei principali nodi e componenti dei due edifici residenziali in progetto.

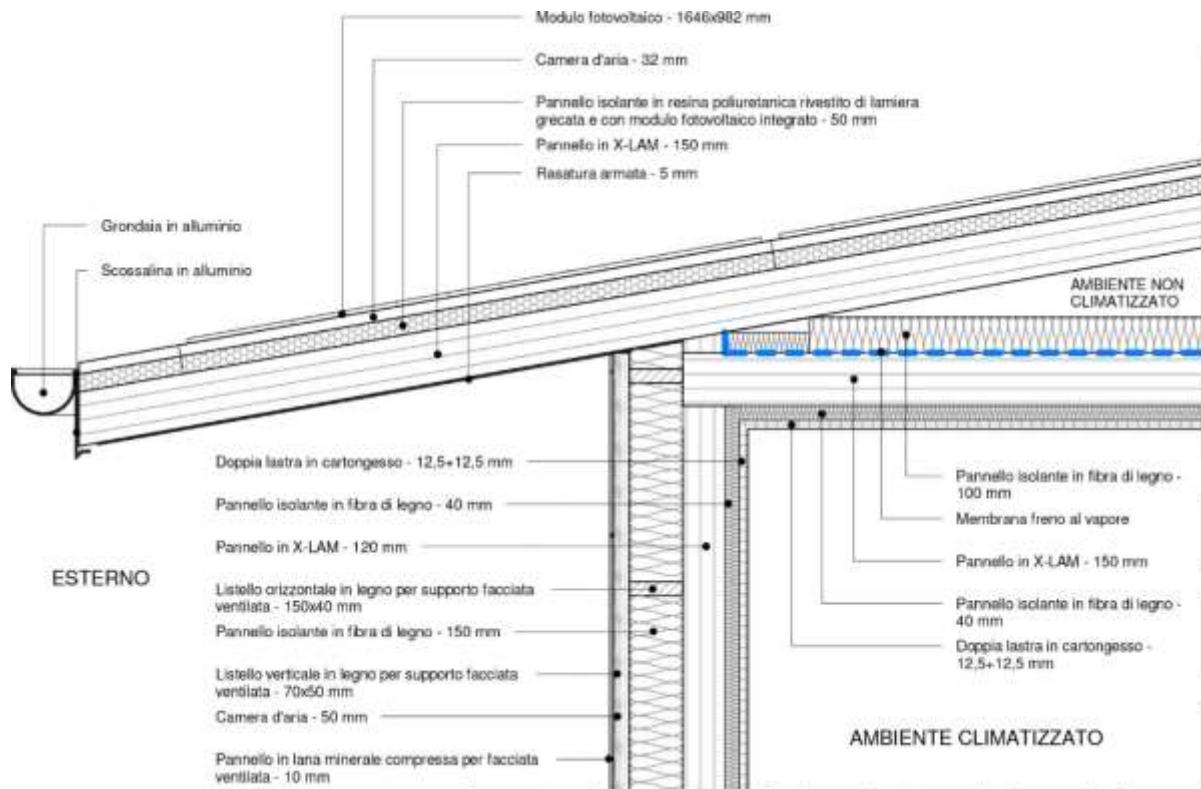


Figura 2.39 – Dettaglio costruttivo nodo parete ventilata esterna, solaio sottotetto e copertura - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

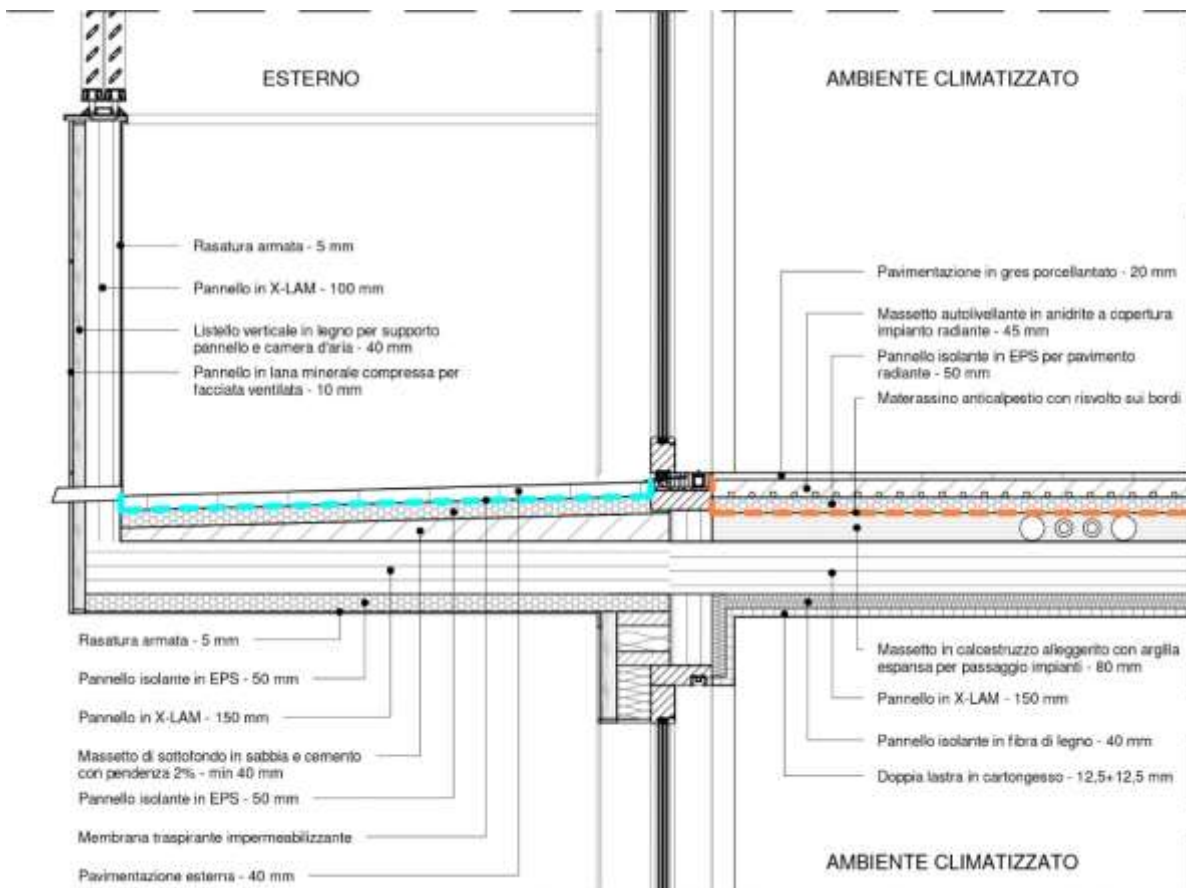


Figura 2.40 – Dettaglio costruttivo nodo parete ventilata esterna, solaio intermedio e terrazza - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

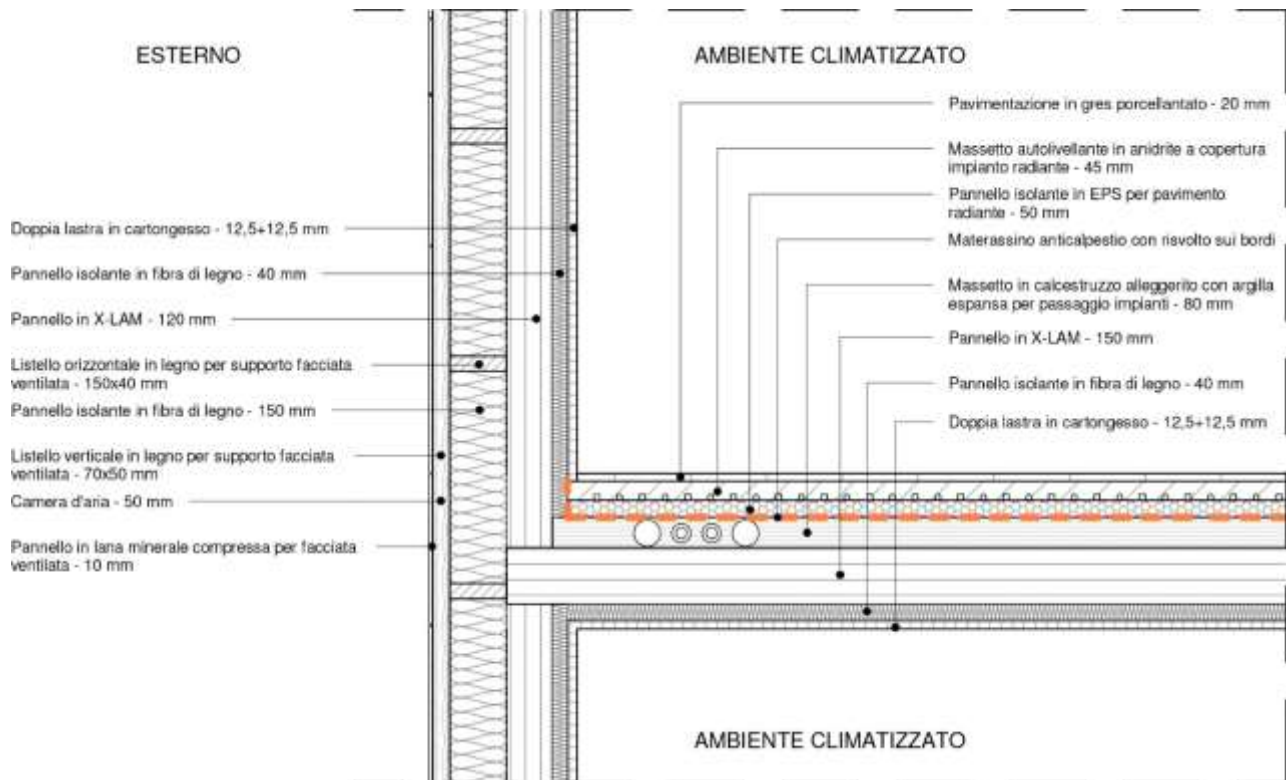


Figura 2.41 – Dettaglio costruttivo nodo parete ventilata esterna e solaio intermedio - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

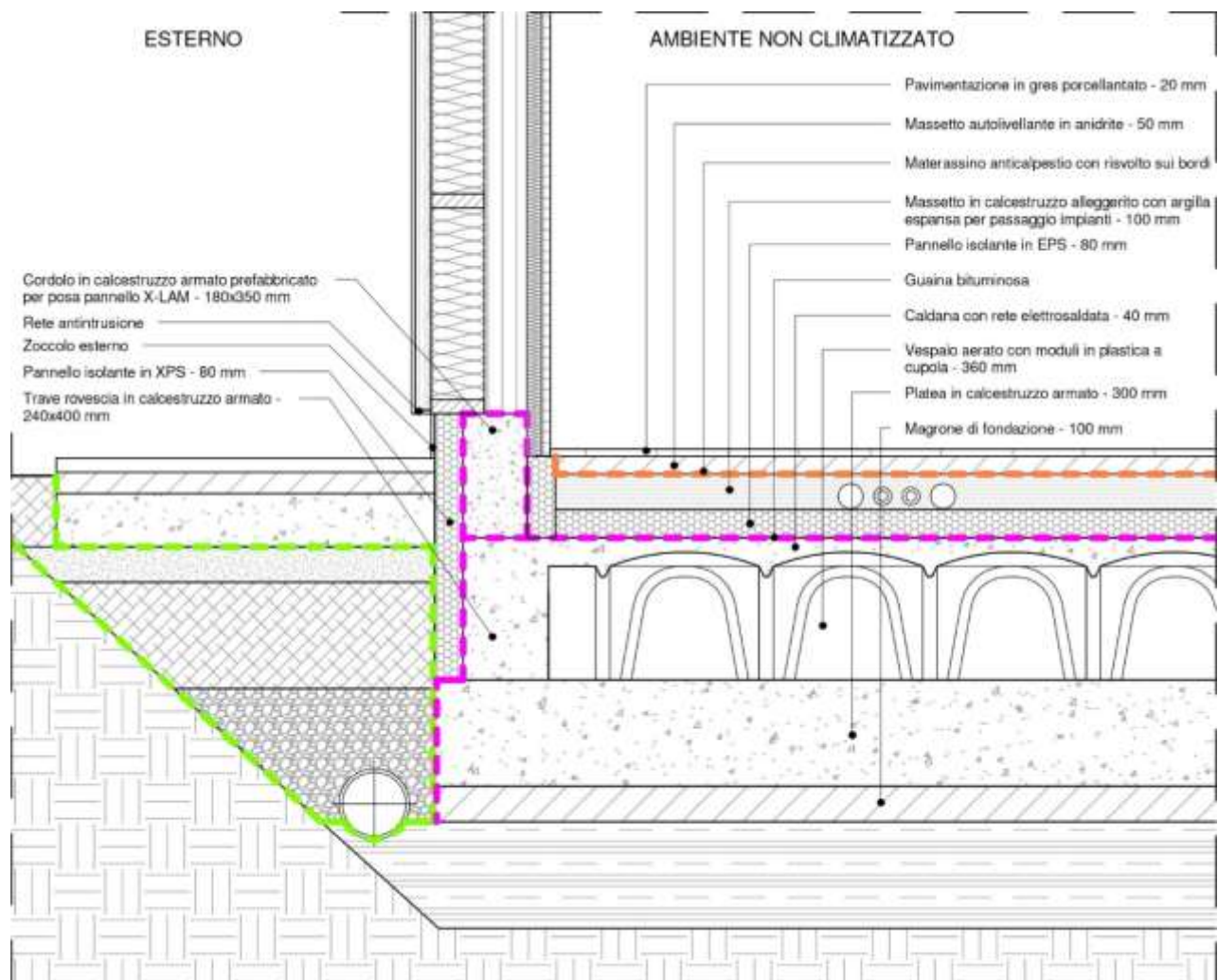


Figura 2.42 – Dettaglio costruttivo nodo parete ventilata esterna e solaio piano terra - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

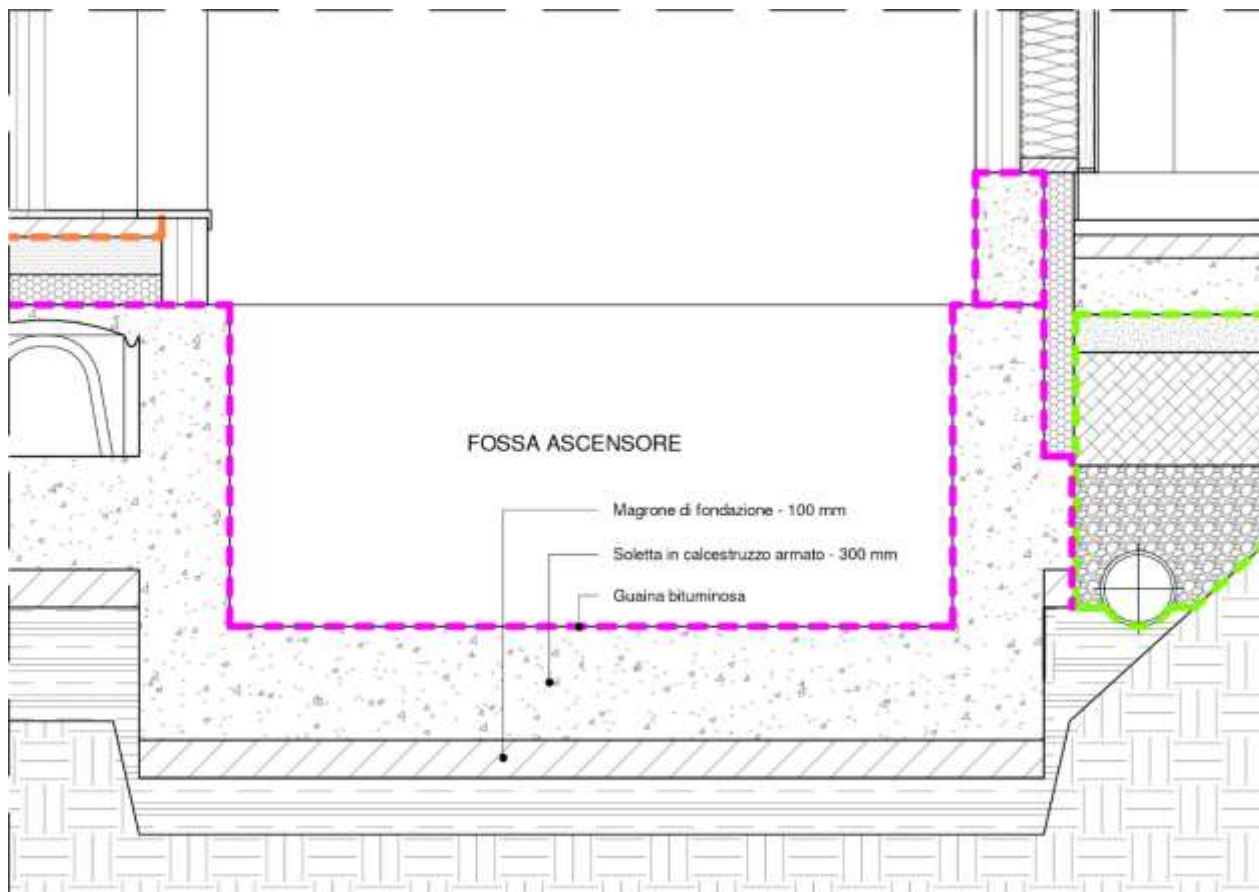


Figura 2.43 – Dettaglio costruttivo fossa ascensore - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

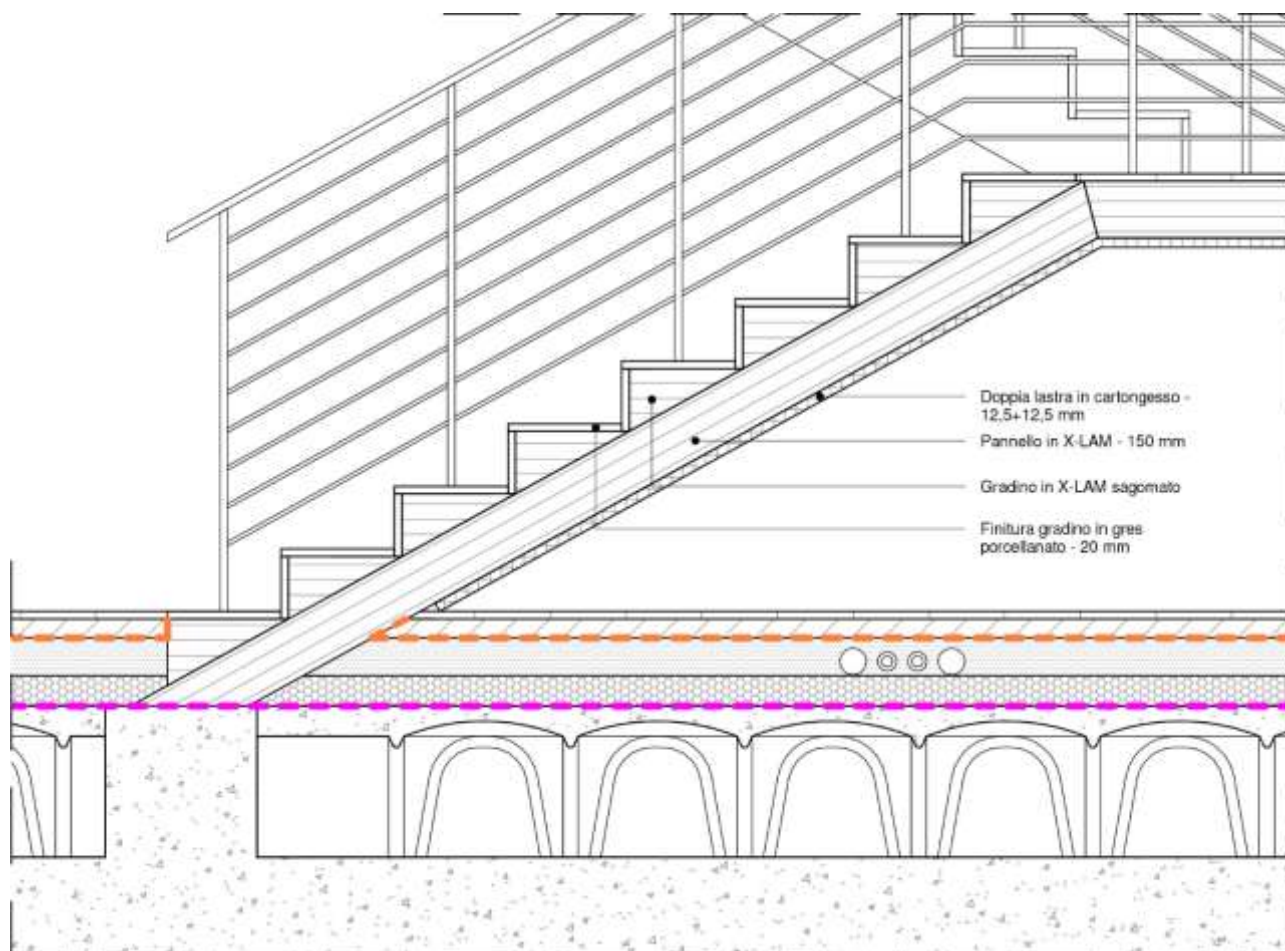


Figura 2.44 – Dettaglio costruttivo scale dell'atrio d'ingresso - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

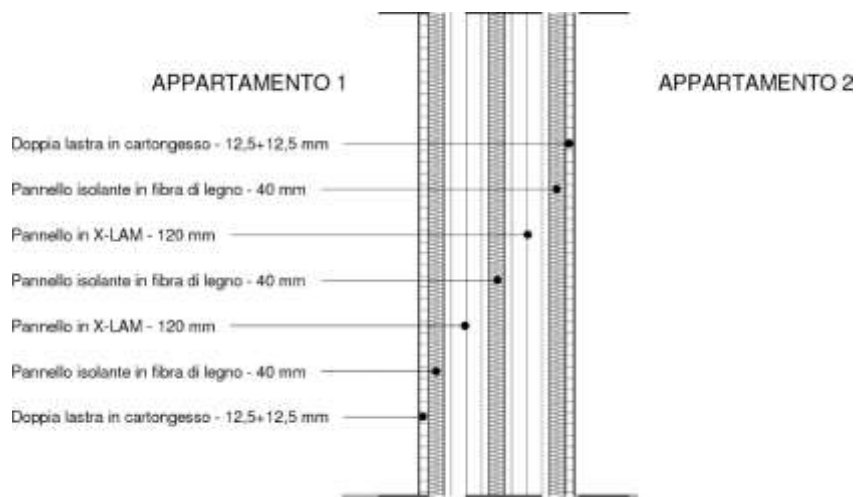


Figura 2.45 – Dettaglio costruttivo parete portante interna divisoria tra appartamenti differenti - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

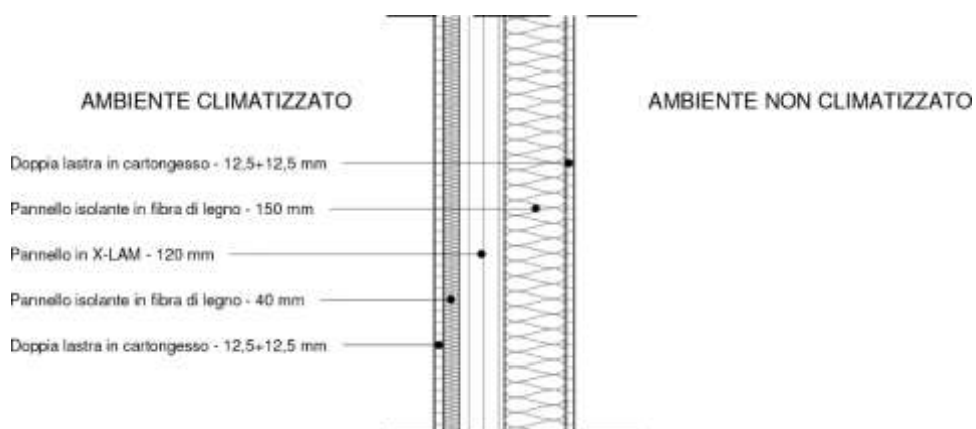


Figura 2.46 – Dettaglio costruttivo parete portante interna divisoria tra ambiente climatizzato e non climatizzato - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 2.47 – Dettaglio costruttivo parete portante interna divisoria tra ambienti dello stesso clima - scala 1:20. [Fonte: elaborazione dell'autore]

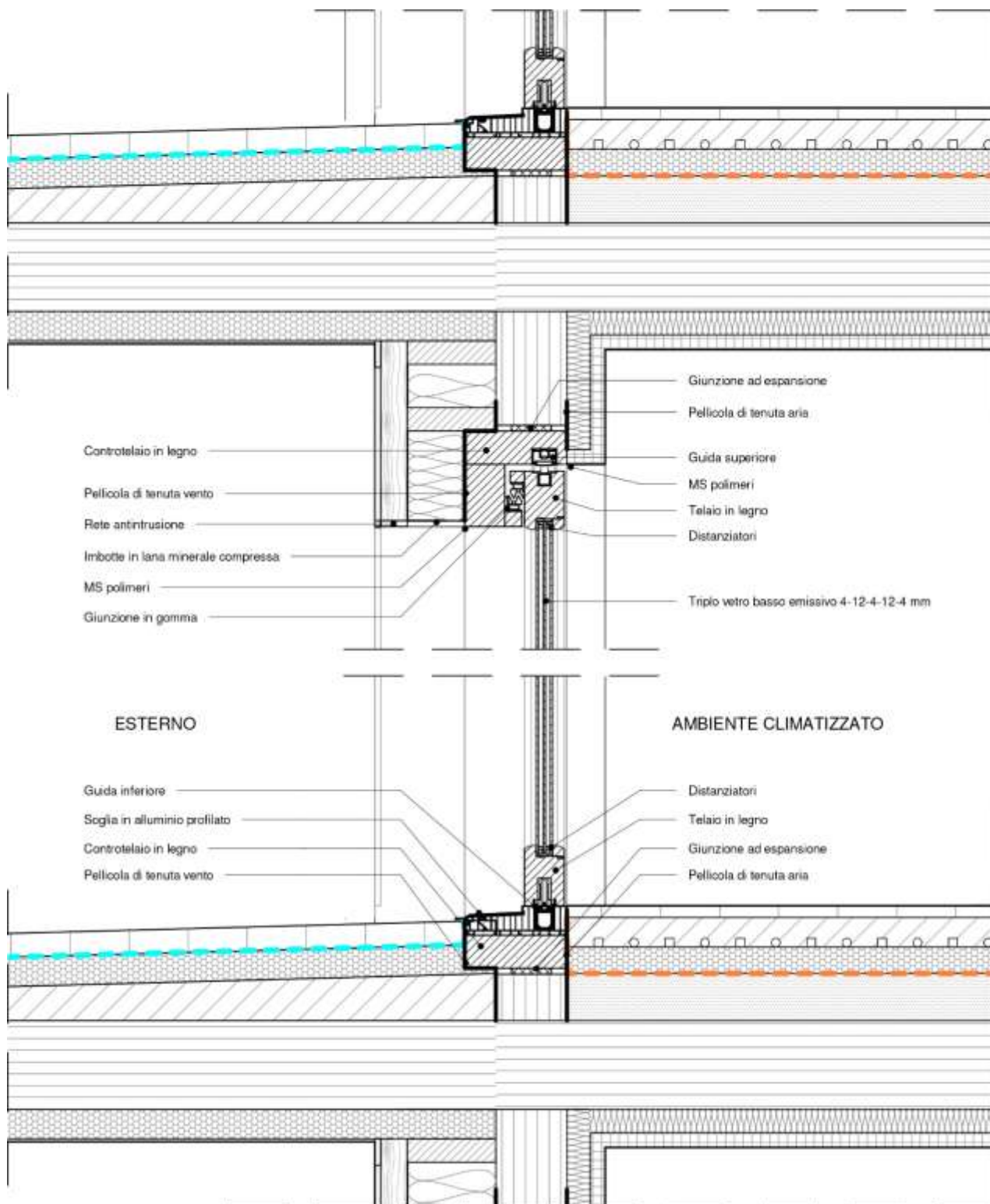


Figura 2.48 – Dettaglio costruttivo della sezione verticale della vetrata scorrevole - scala 1:10. [Fonte: elaborazione dell'autore]

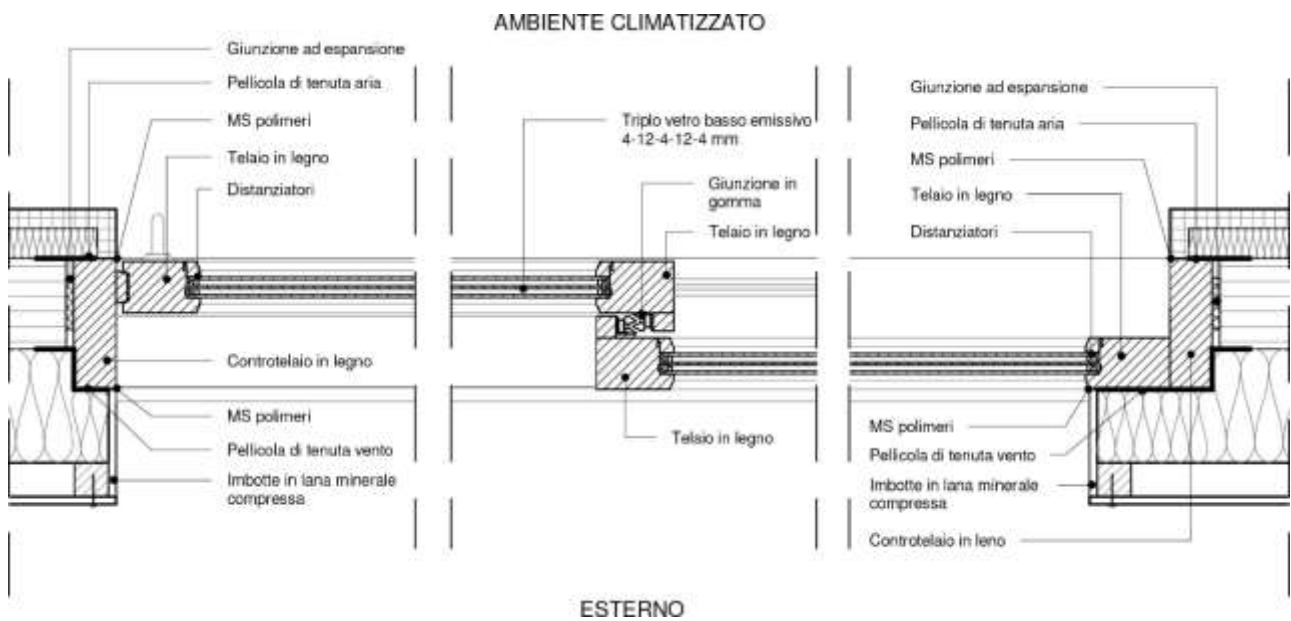


Figura 2.49 – Dettaglio costruttivo della sezione orizzontale della vetrata scorrevole - scala 1:10. [Fonte: elaborazione dell'autore]

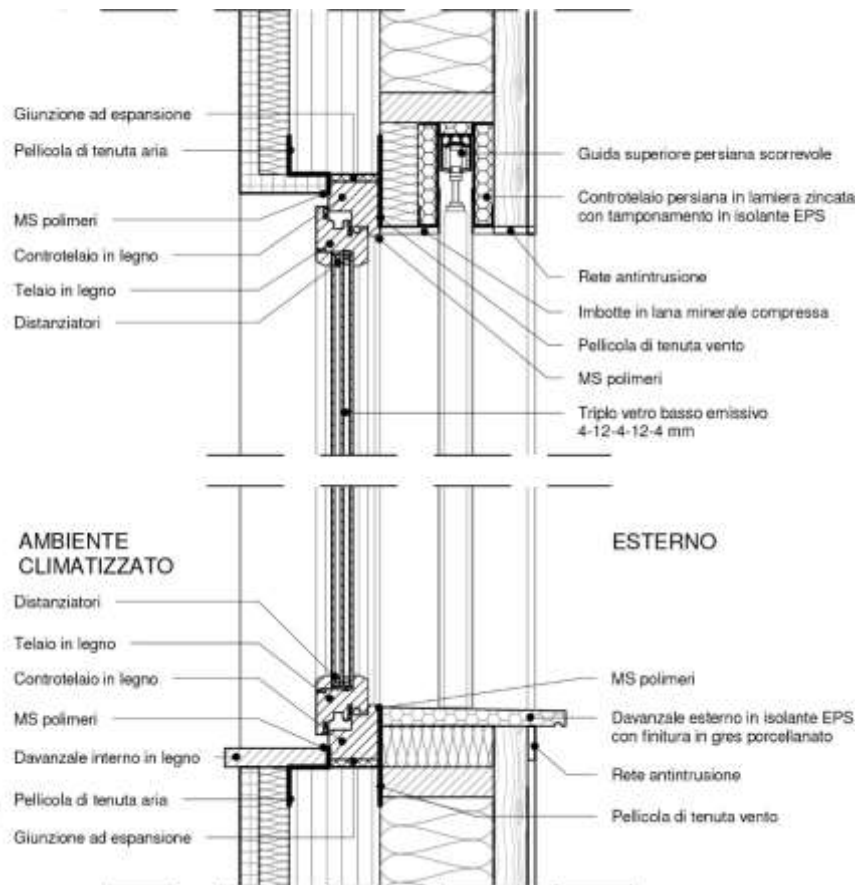


Figura 2.50 – Dettaglio costruttivo della sezione verticale della finestra tipo - scala 1:10. [Fonte: elaborazione dell'autore]

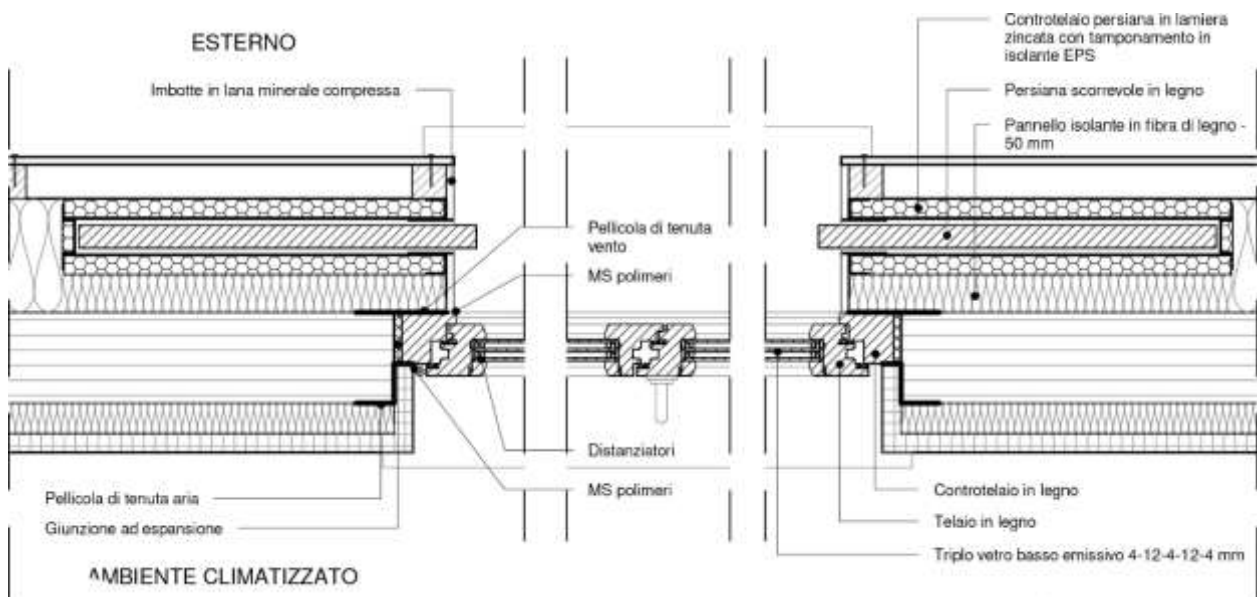


Figura 2.51 – Dettaglio costruttivo della sezione orizzontale della finestra tipo - scala 1:10. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 3. ANALISI ENERGETICA DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE PUBBLICO

#### 3.1. INTRODUZIONE

In questo capitolo si affronta l'analisi energetica del complesso residenziale di via Telesio, descritto nel capitolo precedente. L'analisi verrà condotta con l'ausilio del software Edilclima e del suo modulo EC700 – Calcolo prestazioni energetiche degli edifici. L'obiettivo dell'analisi è quello di conoscere le caratteristiche termiche ed energetiche dell'edificio e verificare che rispettino i requisiti minimi e le prescrizioni fornite dal DM 26/06/2015. Una volta superate queste verifiche, affinché l'immobile possa essere definito come un edificio a energia quasi zero a livello normativo, è necessario che vengano rispettate anche le disposizioni fornite dal Dlgs 199/2021 che prevede per gli edifici pubblici costruiti dal 2022 in poi, una copertura minima del 65% da energia prodotta da fonti rinnovabili.

##### 3.1.1. Edilclima

Edilclima è un software per la progettazione termotecnica energetica degli edifici e dei sistemi impiantistici. È composto da diversi moduli ciascuno dei quali sviluppato e pensato per specifici scopi, come la progettazione e le verifiche del sistema edificio-impianto, il calcolo dei ponti termici, la progettazione degli impianti solari termici e fotovoltaici, la produzione di attestati energetici e relazioni tecniche, l'integrazione di regolamenti regionali, il calcolo di incentivi e bonus fiscali, la determinazione dei requisiti acustici passivi e altri ancora.

Ai fini di questa tesi il modulo utilizzato è l'EC700 – Calcolo prestazioni energetiche degli edifici, che permette il calcolo di:

- potenza invernale, per il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento;
- energia utile e primaria per il riscaldamento invernale e per il raffrescamento estivo;
- energia utile e primaria per la produzione di acqua calda sanitaria;
- energia primaria per l'illuminazione artificiale degli ambienti;
- energia primaria per la ventilazione meccanica;
- energia primaria per il trasporto dovuta ad ascensori e scale mobili;
- energia primaria e quota di energia da fonti rinnovabili.

La maggior parte di questi calcoli si svolge secondo il pacchetto di specifiche tecniche date dalle UNI/TS 11300.

Integrati in EC700 si trovano i seguenti ulteriori moduli:

- EC701 – Progetto e verifiche edificio-impianto, che consente di effettuare le verifiche di legge, la stampa della relazione tecnica e dell'attestato di qualificazione energetica;
- EC705 – Attestato energetico, per la stampa dell'attestato di prestazione energetica;
- EC706 – Potenza estiva, per il calcolo del fabbisogno estivo di potenza;
- EC709 – Ponti termici, per il calcolo della trasmittanza termica lineica dei ponti termici;
- EC712 – Solare termico, per il calcolo dell'energia prodotta dall'impianto solare per la produzione di acqua calda;
- EC713 – Solare fotovoltaico, per il calcolo dell'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico;
- EC720 – Diagnosi energetica e interventi migliorativi.

Il programma è composto da diverse maschere che permettono di inserire in modo sequenziale tutti i dati di input necessari ai calcoli energetici e, successivamente, di produrre i dati di output, come i risultati dei calcoli, le verifiche di legge e gli attestati energetici [Figura 3.1].





Figura 3.1 – Albero delle maschere di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

La prima maschera è quella dei *Dati generali*, dove si inseriscono i dati relativi al progetto, al clima, al regime normativo e dati di default.

La seconda maschera è denominata *Componenti involucro*, dove si definiscono gli elementi dell'involucro, come muri, pavimenti, soffitti, ponti termici e componenti finestrati. Qua si inseriscono i dati relativi ai materiali, spessori e geometrie al fine di determinare le caratteristiche termiche e igrometriche dell'edificio oggetto di analisi.

La terza maschera, *Input grafico*, è dove si disegna un BIM dell'immobile. In questa fase, in particolare, si definiscono i locali climatizzati e non climatizzati, le serre solari e le zone climatiche. I locali sono determinati dalle superfici che li delimitano, ovvero dalle caratteristiche termiche di muri, pavimenti, soffitti, ponti termici e componenti finestrati. Le zone climatiche raggruppano i locali climatici e servono per suddividere l'edificio nelle macroaree caratterizzate da ambienti climatici e sistemi impiantistici uniformi. Oltre al modello 3D del fabbricato, nell'input grafico è possibile inserire gli eventuali ostacoli che si trovano nell'intorno dell'area di progetto al fine di eseguire un calcolo automatico degli ombreggiamenti.

Nella quarta maschera, *Zone / Locali*, si trovano in forma tabellare, una volta eseguita l'esportazione dell'input grafico, i locali climatizzati e non climatizzati. Qui è possibile modificare ulteriormente i dati che li caratterizzano e consultare i primi risultati sulle loro dispersioni termiche.

Con l'esportazione dell'input grafico si attiva anche la maschera *Risultati fabbricato*, dove vengono riportate le caratteristiche energetiche del solo edificio, esclusa la parte impiantistica. Qua si

trovano tutte le dispersioni e tutti gli apporti, parziali e totali, che definiscono la potenza invernale, l'energia invernale e l'energia estiva. Si riportano, inoltre, le trasmittanze termiche medie di tutte le strutture oggetto di analisi.

Definito l'edificio dal punto di vista termico ed energetico, si passa alla successiva maschera, denominata *Impianti*. Dapprima si esegue una configurazione generale dei servizi energetici e delle fonti rinnovabili, successivamente si inseriscono tutti i dati di input relativi a ciascun sistema impiantistico, dagli apparecchi meccanici alla distribuzione.

Le ultime maschere che si attivano, utili a questa tesi, sono quelle *Risultati energia primaria*, *Verifiche di legge* e *Attestati energetici*. In queste è possibile consultare i dati di output di tutti i calcoli necessari a definire la prestazione energetica del sistema edificio-impianto oggetto di analisi. Nella maschera dell'energia primaria si trovano gli indici di prestazione energetica e i rendimenti di ciascun servizio energetico dell'edificio. In quella delle verifiche di legge vengono riportati i confronti tra i valori ammissibili, calcolati in funzione dell'edificio di riferimento, e i valori di progetto. Nella maschera degli attestati energetici è riprodotta la relativa certificazione, con l'assegnazione della classe prestazionale dell'edificio.

## 3.2. MASCHERA DATI GENERALI

All'avvio di un nuovo lavoro in EC700, la prima maschera attiva è quella dei *Dati generali* dove si trovano le schede *Dati progetto*, *Dati climatici*, *Regime normativo* e *Dati default*.

### 3.2.1. Dati progetto

Nella scheda *Dati progetto* si riportano le informazioni generali del progetto richieste per la compilazione della relazione tecnica e dei certificati energetici, la destinazione d'uso, lo scopo del calcolo ed eventuali calcoli aggiuntivi [Figura 3.2].

Nella destinazione d'uso si inserisce la categoria dell'edificio definita dal DPR 412/1993 [Tabella 1.2], nel caso in esame la E.1 (1) – Edifici adibiti a residenza e assimilabili: abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali, specificando che si tratta di un edificio pubblico. Dalla destinazione d'uso dipendono parametri quali le temperature interne, gli apporti e diversi altri. Inoltre, per questa categoria di edifici, la normativa prevede di non calcolare l'energia necessaria al funzionamento dell'impianto di illuminazione e dei sistemi di movimentazione delle persone, quali gli ascensori.

Come scopo di calcolo si spunta la casella *Verifiche di legge ed APE*, al fine di eseguire le analisi energetiche secondo la disciplina fornita dalle normative. Il software definisce questo come calcolo regolamentare e di conseguenza imposta automaticamente, bloccandoli in taluni casi, i valori di diversi dati di input secondo quelli disposti dalla legge.

È possibile richiedere al programma di eseguire ulteriori calcoli aggiuntivi, come il calcolo dinamico orario (non attivabile in caso di calcolo regolamentare), la potenza estiva e i computi metrici. Conoscere la potenza estiva dell'edificio è necessaria per un corretto dimensionamento dell'impianto di raffrescamento, pertanto si spunta la relativa casella. Il software mette a disposizione due metodi alternativi per il calcolo della potenza estiva: il metodo Carrier-Pizzetti e il metodo dinamico orario secondo norma UNI EN ISO 52016. In generale, entrambi i metodi consentono la valutazione distinta dei carichi termici per irraggiamento solare attraverso i componenti finestrati, per trasmissione attraverso i componenti opachi o finestrati, dei carichi termici per ventilazione e dei carichi termici interni<sup>13</sup>. In questa tesi si opta per il metodo Carrier-Pizzetti. Si specifica, però, che non essendo in possesso dell'esperienza e delle conoscenze necessarie, si è deciso di lasciare nei dati di input i valori proposti di default dal software. Tali valori sono comunque da considerarsi attendibili al fine di determinare, in via di massima, la potenza estiva per il dimensionamento dell'impianto di generazione di raffrescamento.

Dati progetto		Dati climatici	Regime normativo	Dati default	
<b>Studio</b>					
Nome	TURCO ANDREA				
Indirizzo	[REDACTED]				
<b>Edificio</b>		<b>Committente</b>			
Descrizione	Complesso residenziale di edilizia pubblica	Nome	[REDACTED]		
Indirizzo	Via Telesio, Padova	Indirizzo	[REDACTED]		
<b>Destinazione d'uso</b>					
Categoria DPR 412/93	E.1 (1)	<input checked="" type="checkbox"/>	Edificio pubblico o ad uso pubblico	<input type="checkbox"/>	Edificio situato in centro storico
<b>Scopo del calcolo</b>					
<input checked="" type="checkbox"/>	Verifiche di legge ed APE (Calcolo regolamentare - valutazione A1/A2)				
<input type="checkbox"/>	Diagnosi energetica (valutazione A3)				
<b>Calcoli aggiuntivi</b>					
<input type="checkbox"/>	Calcolo dinamico orario (UNI EN ISO 52016)				
<input checked="" type="checkbox"/>	Potenza estiva	Carrier-Pizzetti	<input type="checkbox"/>	Calcolo impianti aria	
<input type="checkbox"/>	Computi metrici				

Figura 3.2 – Scheda Dati progetto della maschera Dati generali di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

<sup>13</sup> (Edilclima s.d.)

### 3.2.2. Dati climatici

Nella scheda *Dati climatici*, una volta inserito il comune dove è localizzato l'intervento, si compilano automaticamente la maggior parte dei campi relativi ai dati geografici, invernali ed estivi di progetto, secondo valori individuati dalle normative UNI [Figura 3.3]. Questi risultano leggermente diversi rispetto a quelli riportati al *Paragrafo 2.4.2.*, in particolare per la temperatura esterna invernale che è peggiorata di -2°C. Ciò è dovuto anche dal parametro *Variazione* che apporta un deficit alla temperatura base della località in funzione al grado di urbanizzazione dell'area di progetto. A tale parametro si è assegnato una diminuzione di -1°C che corrisponde alla variazione dovuta in presenza di un piccolo agglomerato.

Si riportano di seguito i principali valori inseriti.

#### Dati geografici:

Località	Padova
Provincia	Padova
Altitudine s.l.m.	12 m
Latitudine nord	45° 24'
Longitudine est	11° 52'
Gradi giorno DPR 412/93	2383
Zona climatica	E

#### Caratteristiche del vento:

Regione di vento	A
Direzione prevalente	Nord-Est
Distanza dal mare	< 40 km
Velocità media del vento	3,9 m/s
Velocità massima del vento	7,8 m/s

#### Dati invernali:

Temperatura esterna di progetto	-6,0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 15 ottobre al 15 aprile

#### Dati estivi:

Temperatura esterna bulbo asciutto	32,5 °C
Temperatura esterna bulbo umido	24,0 °C
Umidità relativa	50,0 %
Escursione termica giornaliera	13 °C

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: 285 W/m<sup>2</sup>

#### Temperature esterne medie mensili:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura °C	3,0	3,6	8,6	12,8	18,9	22,3	23,7	23,7	18,6	13,9	8,3	4,8

#### Irradiazione solare media mensile:

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m <sup>2</sup>	1,5	2,3	3,6	5,3	8,2	10,2	9,5	6,9	4,5	2,6	1,6	1,3
Nord-Est	MJ/m <sup>2</sup>	1,7	3,0	5,1	8,1	11,3	13,5	13,0	10,5	7,4	3,3	1,8	1,4
Est	MJ/m <sup>2</sup>	4,1	6,2	8,2	11,4	14,1	16,0	15,8	14,0	11,5	5,4	3,7	3,9
Sud-Est	MJ/m <sup>2</sup>	7,5	9,5	10,1	12,1	13,1	13,8	14,0	13,9	13,5	7,2	6,1	7,7
Sud	MJ/m <sup>2</sup>	9,8	11,5	10,7	10,9	10,7	10,7	11,0	11,8	13,1	8,2	7,6	10,2

Sud-Ovest	MJ/m <sup>2</sup>	7,5	9,5	10,1	12,1	13,1	13,8	14,0	13,9	13,5	7,2	6,1	7,7
Ovest	MJ/m <sup>2</sup>	4,1	6,2	8,2	11,4	14,1	16,0	15,8	14,0	11,5	5,4	3,7	3,9
Nord-Ovest	MJ/m <sup>2</sup>	1,7	3,0	5,1	8,1	11,3	13,5	13,0	10,5	7,4	3,3	1,8	1,4
Orizz. diffusa	MJ/m <sup>2</sup>	2,0	3,0	4,9	6,3	8,3	8,7	8,4	7,3	5,7	3,7	2,2	1,7
Orizz. diretta	MJ/m <sup>2</sup>	2,8	4,8	6,3	10,2	13,0	15,9	15,7	13,3	10,3	3,6	2,4	2,7

Regime normativo  UNI 10349:2016  UNI 10349:1994

**Dati mensili** | Dati orari

**Dati geografici**

Comune: Padova  
 Provincia: Padova  
 Gradi giorno DPR 412/93: 2383 gg  
 Altitudine s.l.m.: 12 m  
 Latitudine Nord: 45 ° 24 '  
 Longitudine Est: 11 ° 52 '  
 Codice Catastale: G224 CAP: 35100  
 Codice ISTAT: 28060

Distanza dal mare: < 40 km  
 Regione di vento: A  
 Direz. preval. vento: NE  
 Velocità vento media: 3,92 m/s  
 Velocità vento max: 7,83 m/s

**Dati invernali**

Stazione di rilevazione per: VE - Campagna Lupia - Valle Averso  
 Temperatura: VE - Campagna Lupia - Valle Averso  
 Irraggiamento: VE - Campagna Lupia - Valle Averso  
 Ventosità: VE - Campagna Lupia - Valle Averso

Temperatura esterna: Località di rif.: Padova  
 Temperatura: -5,0 °C  
 Variazione: -1,0 °C  
 Adottata: -6,0 °C

Periodo convenzionale riscaldamento: Zona climatica: E  
 Durata: 183 giorni  
 Dal giorno: 15 ottobre  
 Al giorno: 15 aprile

Irradianza solare massima sul piano orizzontale: 284,7 W/m<sup>2</sup>

**Dati estivi**

Località riferimento estiva: Padova

Temperatura bulbo secco: 32,5 °C  
 Temperatura bulbo umido: 24,0 °C  
 Umidità relativa: 50,0 %  
 Umidità assoluta: 15,8 g/kg  
 Escursione termica giornaliera: 13,0 °C

Figura 3.3 – Scheda Dati climatici della maschera Dati generali di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### 3.2.3. Regime normativo

Nella scheda *Regime normativo* si stabiliscono le normative a cui il software deve attenersi per eseguire le verifiche di legge e le certificazioni energetiche in funzione della data del titolo edilizio o di eventuali regolamenti regionali [Figura 3.4]. Il titolo edilizio del progetto di via Telesio è sicuramente successivo al 2022 e in Veneto non esistono specifici regolamenti per l’attestazione energetica degli edifici. Pertanto, sia per le verifiche che per le certificazioni, si adotteranno i DM 26/06/2015. Inoltre, sempre in considerazione della data del titolo edilizio, sono obbligatorie le verifiche FER (fonti energie rinnovabili) secondo il Dlgs 199/2021.

In questa scheda, inoltre, è possibile definire delle opzioni di lavoro che permettono calcoli di determinati parametri a differenti livelli di accuratezza. Questo vale per i ponti termici, le resistenze liminari, i locali non climatizzati, la capacità termica, gli ombreggiamenti e la radiazione solare.

Per i ponti termici, in caso di calcolo regolamentare, l’unico metodo contemplato dalle UNI/TS 11300 per la determinazione della trasmittanza lineica è quello analitico.

Per le resistenze liminari (o superficiali) si adottano i valori più precisi forniti dalla *Appendice A* della UNI EN ISO 6946 calcolate in funzione della velocità media del vento e della temperatura esterna della località.

Per i locali non climatizzati si sceglie il metodo analitico per la determinazione delle temperature mensili interne. Questo permette un calcolo preciso considerando le strutture che delimitano ciascun ambiente, nonché le temperature esterne e dei locali adiacenti. Di contro, come si vedrà meglio in seguito, sarà necessario definire nella maschera dei *Componenti involucro*, un numero di

strutture proporzionale al numero dei locali non climatizzati presenti nel progetto, anche se, ad esempio, la stratigrafia della parete è la medesima per tutti.

Per la capacità termica si è optato per il metodo analitico che permette un calcolo più preciso considerando l'inerzia termica dei materiali che compongono le strutture. In tal caso, però, è necessario determinare anche i componenti interni ai locali climatizzati, come le pareti interne.

Per gli ombreggiamenti si è scelto il metodo automatico. Questo richiede la definizione nell'*Input grafico* degli ostacoli nell'intorno dell'area di progetto, come edifici, alberi o rilievi, e di eventuali balconi o sporti di gronda propri dell'edificio oggetto di analisi.

Per la radiazione solare si è optato per il calcolo con l'effettivo angolo di Azimut.

Nell'ultima parte della scheda vengono fornite delle opzioni normative. Le prime due, in particolare, sono dovute ad interpretazioni diverse della normativa riguardo al calcolo del rendimento globale medio stagionale e alla verifica di condensa interstiziale.

Nel primo caso si è scelto il calcolo secondo il DM 26/06/2015 e le norme UNI/TS 11300, che prevede la determinazione del rendimento globale come rapporto tra fabbisogno in uscita dall'impianto e fabbisogno di energia primaria in ingresso. L'alternativa è il metodo fornito dalle FAQ ministeriali del 2016, che calcola il rendimento globale come rapporto tra fabbisogno ideale del fabbricato e fabbisogno di energia primaria. Secondo i chiarimenti forniti da Edilclima<sup>14</sup>, questo metodo è meno corretto in quanto conduce a un parametro privo di significato fisico.

Per la verifica della condensa interstiziale invece si è scelta quella più severa fornita dal DM 26/06/2015 che prevede la totale assenza di condensa. Tale opzione si è fatta soprattutto in considerazione dell'uso nell'edificio di progetto di materiali sensibili agli effetti di degrado causati dall'acqua. Diversamente, secondo la UNI EN ISO 13788, la verifica è positiva se la condensa non supera un limite minimo ammissibile e se nel ciclo di un anno si ha la sua totale evaporazione. A tale soluzione fanno riferimento anche le FAQ ministeriali del 2018 e, secondo i chiarimenti di Edilclima, dal punto di vista progettuale è più ragionevole come metodo<sup>15</sup>.

**Verifiche di legge e relazione tecnica**

secondo D.Intem. 26.06.15

Verifiche FER: DLgs 08.11.2021, n. 199

Data titolo edilizio dal 14 giugno 2022 al 31 dicembre 2023

secondo CAM - Criteri Ambientali Minimi DM 11.10.2017

Normativa di calcolo del fattore di luce diurna per destinazione d'uso non residenziali

secondo UNI EN 10840  secondo UNI 15193

**Attestati energetici**

secondo D.Intem. 26.06.15

Edificio privo di impianto riscaldamento  Edificio privo di impianto ACS

**Opzioni lavoro**

Ponti termici  Calcolo analitico Capacità termica Calcolo analitico

Resistenze liminari Appendice A UNI EN ISO 6946 Definizione ombreggiamenti Calcolo automatico

Sere e locali non climatizzati Calcolo analitico Radiazione solare Calcolo con angolo di Azimut

**Opzioni normative**

Rendimento globale medio stagionale DM 26.06.15 ed UNI/TS 11300 (calcolo "fisico")

Verifica di condensa interstiziale DM 26.06.15 (interpretazione più restrittiva)

Regime normativo UNI/TS 11300-4 e 5:2016

Figura 3.4 – Scheda Regime normativo della maschera Dati generali di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

<sup>14</sup> (Edilclima 2017)

<sup>15</sup> (Edilclima 2019)

### 3.2.4. Dati default

Nella scheda *Dati default* è possibile fornire al programma i valori standard che verranno utilizzati più spesso nelle fasi successive di introduzione dei dati di input relativi a locali, zone e edificio [Figura 3.5].

Qua si definiscono le temperature interne di progetto, i ricambi d'aria convenzionali, l'altezza netta dei locali, il coefficiente correttivo della potenza per il riscaldamento intermittente, i fattori di conversione dell'energia elettrica e per altri tipi di energia.

I valori delle temperature interne di progetto sono stabiliti dalle UNI/TS 11300 e sono in funzione della destinazione d'uso. Per i locali di abitazione e gli edifici in categoria E.1 si hanno:

Temperatura per la potenza invernale	20 °C
Temperatura per l'energia invernale	20 °C
Temperatura per l'energia estiva	26 °C

Per i ricambi d'aria si sono utilizzati i valori proposti dal software per locali normali:

Ricambi d'aria per la potenza invernale	0,5 Vol/h <sup>16</sup>
Ricambi d'aria per l'energia invernale	0,3 Vol/h
Ricambi d'aria per l'energia estiva	0,3 Vol/h

L'altezza netta dei locali è impostata a 2,7 m, mentre per il coefficiente correttivo per il riscaldamento intermittente si utilizza il valore proposto da EC700 per pannelli radianti a pavimento con attenuazione notturna, pari a 1,05.

Per l'energia elettrica si adottano i fattori di conversione stabiliti dal DM 26/06/2015:

Fattore di conversione in energia primaria	2,42
Fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile	1,95
Fattore di conversione in energia primaria rinnovabile	0,47
Fattore di emissione CO2	0,46

---

<sup>16</sup> Vol/h è l'unità di misura dei ricambi d'aria che indica il numero di volumi (pari al volume del locale arieggiato) di aria all'ora che vengono rinnovati nell'ambiente.

<b>Temperature interne</b>		<b>Ricambi d'aria</b>	
Potenza invernale	$\theta_{int,p,H}$ 20,0 °C	Potenza invernale	$n_{p,H}$ 0,50 Vol/h
Energia invernale	$\theta_{int,e,H}$ 20,0 °C	Energia invernale	$n_{e,H}$ 0,30 Vol/h
Energia estiva	$\theta_{int,e,C}$ 26,0 °C	Energia estiva	$n_{e,C}$ 0,30 Vol/h
Altezza netta del locale: 2,70 m		<b>Correzione potenza per riscaldamento intermittente</b>	
Capacità termica per unità di superficie: 165 kJ/m <sup>2</sup> K		<input type="radio"/> Fattore di ripresa $f_{RH}$ 0 W/m <sup>2</sup>	
		<input checked="" type="radio"/> Coefficiente di sicurezza 1,05	
<b>Energia elettrica</b>			
Fattore di conversione in energia primaria	$fp$	2,420	2,420
Fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile	$fp_{nren}$	1,950	1,950
Fattore di conversione in energia primaria rinnovabile	$fp_{ren}$	0,470	0,470
Fattore di emissione CO2	$kem$	0,4600	0,4600 kgCO <sub>2</sub> /kWh
<b>Fattori di energia primaria</b>			
	$fp_{nren}$	$fp_{ren}$	$fp_{tot}$
Energia termica da collettori solari	0,000	1,000	1,000
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico	0,000	1,000	1,000
Energia termica da pompe di calore (Eres)	0,000	1,000	1,000
Energia elettrica esportata da fotovoltaico	0,000	1,000	1,000

Figura 3.5 – Scheda Dati default della maschera Dati generali di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### 3.3. ESPORTAZIONE E IMPORTAZIONE DEL MODELLO REVIT

Completata la fase dell’inserimento dei dati generali, si è proceduto con l’esportazione del modello BIM di Revit in formato .IFC e con l’importazione in Edilclima del complesso residenziale di via Telesio.

Per fare ciò è stato necessario operare alcune semplificazioni al modello BIM originale prima di esportarlo. Il *Manuale d’uso* di Edilclima fornisce alcune indicazioni per eseguire tale processo. Nel momento dell’importazione, una delle prime cose che EC700 legge sono i locali all’interno del file .IFC, essendo queste le entità principali utilizzate nel software. È opportuno inserirli correttamente in Revit, assegnandoli un nome per semplificare la loro identificazione. Sarebbe possibile e in modo più corretto utilizzare i vani termici di Revit in alternativa dei locali, essendo questi raggruppabili in zone climatiche che possono essere rilevate da Edilclima. In questa tesi, come primo e unico tentativo, si è proceduto con i locali.

Successivamente si sono semplificati i muri del modello Revit, in quanto sono stati disegnati sovrapponendoli in taluni casi e in altri accoppiandoli in adiacenza. Queste tipologie di muri non sono gestite da EC700. Inoltre, è necessario vincolare la base e la parte sommitale di ogni parete ai livelli di Revit (rappresentativi dei piani dell’edificio) in cui sono stati posizionati, evitando di farli proseguire oltre. È opportuno, oltretutto, che tutti i muri del modello di Revit siano disegnati con lo stesso filo (esterno, interno o mezzeria). Infine, si sono controllati i nodi di giunzione tra pareti, assicurandosi che fossero tutti ben congiunti.

La lettura delle stratigrafie degli elementi di Revit da parte di EC700 avviene correttamente se queste sono state create inserendo gli opportuni materiali e spessori, cosa che è stata fatta fin dalle fasi iniziali della modellazione. Probabilmente è possibile esportare il BIM di Revit in .IFC assegnando le caratteristiche termiche ai materiali, cosa che però si è deciso di non approfondire in questa tesi, definendo tali parametri nel momento dell’importazione in Edilclima.

Eseguita questa prima fase di semplificazione si procede con l’esportazione in .IFC del modello BIM e si avvia l’importazione in EC700. Dopo alcuni calcoli iniziali di processamento, compare la maschera *Materiali*, dove avviene l’associazione dei materiali di Revit con quelli di Edilclima [Figura 3.6]. Si definiranno nei paragrafi seguenti i materiali utilizzati nell’analisi energetica.

IFC			Edilclima		
Materiale	Spessore [mm]	Codice	Materiale	Spessore [mm]	
✓	Massetto alleggerito	100,00	e241	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non ...	0,00
✓	Massetto alleggerito	80,00	e241	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non ...	0,00
✗	Massetto autolivellante	80,00			0,00
✓	Massetto autolivellante	50,00	e22904	Massettomix Autolivellante	0,00
✓	Piastrelle 1	40,00	e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	0,00
✓	Piastrelle 1	20,00	e1704	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	0,00
✗	Rasatura	5,00			0,00
✗	Tavolato	30,00			0,00
✓	Xlam	150,00	e1133	Pannello in legno compensato	0,00
✗	Xlam	120,00			0,00

Edilclima					
Ricerca					
Barriere al vapore Calcestruzzi Intonaci Isolanti Laterizi Solette Vari Pannelli Intercapedini					
Tipologia materiale	Codice	Descrizione	Sp [mm]	M.V. [kg/m³]	Cond. [W/mK]
Materiali plastici	e1150	Fibra di legno	0	160	0,0430
Materiali sfusi	e1151	Fibra di legno	0	170	0,0400
Materiali vari	e1152	Fibra di canapa-kenaf	0	30	0,0400
Rocce	e1153	Fibra di canapa-kenaf	0	50	0,0380
Vetri	e1154	Fibra di legno	0	120	0,0380
Blocchi cassero in legno cemento...					
Malte temiche-LATERLITE S.P.A.					

Figura 3.6 – Maschera Materiali per l’associazione dei materiali tra file .IFC e Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Terminata la fase dei materiali, si prosegue con l’associazione dei locali e delle zone attraverso la maschera *Zone / Locali* [Figura 3.7]. Qua per ogni locale del modello .IFC è possibile e necessario assegnare le seguenti tipologie:

- Locale irregolare;
- Locale climatizzato;
- Locale climatizzato verso terreno;
- Locale non climatizzato;
- Locale non climatizzato verso terreno;
- Serra solare;
- Serra solare verso terreno.

È, inoltre, possibile già definire le zone climatizzate e associare ogni locale alle rispettive di appartenenza. Ogni singolo alloggio dell’edificio di progetto può essere visto come un’ambiente climatico indipendente rispetto agli altri, sebbene servito dallo stesso impianto. Pertanto, si decide di determinare per ogni appartamento una zona climatizzata differente, identificata come “Appartamento” seguito da un numero progressivo da 1 a 22.



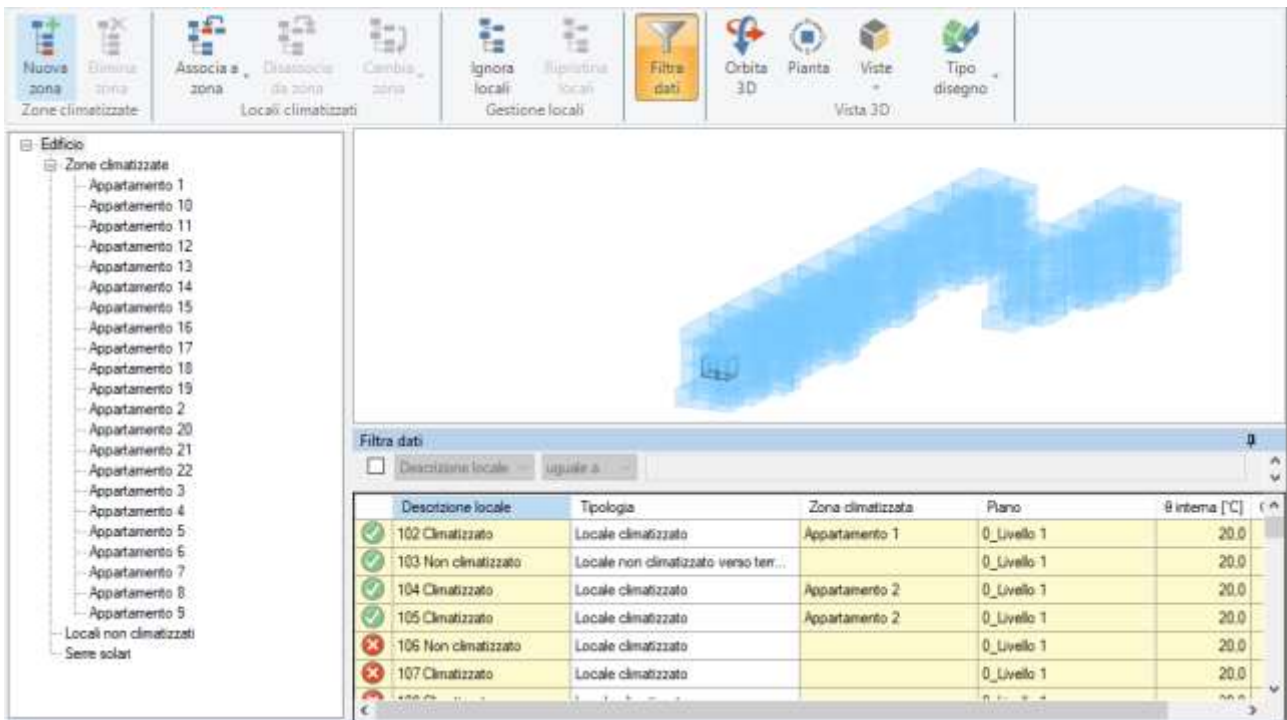


Figura 3.7 – Maschera Zone / Locali per l'associazione dei locali tra file .IFC e Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Terminata questa fase, termina anche il processo di importazione. Il modello importato rappresenta solamente una base di partenza e ha bisogno di essere ulteriormente definito e raffinato prima di poter svolgere le analisi energetiche.

### 3.4. MASCHERA COMPONENTI INVOLUCRO

#### 3.4.1. Nozioni generali

Nella maschera *Componenti involucro* si definiscono le caratteristiche geometriche, dimensionali, termiche e igrometriche delle strutture che intervengono nell'analisi energetica dell'edificio.

In EC700 esistono cinque componenti principali: muri, pavimenti, soffitti, ponti termici e componenti finestrati. Questi componenti, esclusi i ponti termici, sono ulteriormente classificati in funzione della loro posizione all'interno dell'edificio. Con posizione si intende la loro relazione con gli ambienti che delimitano, come ad esempio locale climatizzato ed esterno, locale climatizzato e locale non climatizzato e così via. In Edilclima sono individuate otto tipologie:

- tipo T, struttura disperdente da locale climatizzato verso ambiente esterno;
- tipo G, struttura disperdente da locale climatizzato verso terreno
- tipo U, struttura disperdente da locale climatizzato verso locale non climatizzato o serra solare;
- tipo N, struttura disperdente da locale climatizzato verso zona o appartamento vicino;
- tipo A, struttura disperdente da locale climatizzato verso locale climatizzato a diversa temperatura;
- tipo E, struttura disperdente da locale non climatizzato verso ambiente esterno;
- tipo R, struttura disperdente da locale non climatizzato verso terreno;
- tipo D, divisorio interno alla zona climatizzata.

Ogni locale deve essere delimitato dalle pertinenti strutture. Se esistono, ad esempio, due muri uguali di un locale che però si affacciano su due ambienti diversi, dovranno essere creati due componenti differenti nella tipologia, ma uguali nella stratigrafia. Questo è necessario in quanto la dispersione termica da un ambiente verso un altro è in funzione della differenza di temperatura  $\Delta T$ :

$$\Phi = A \times \Delta T \times U \quad (3.1)$$

dove:

- $\Phi$  è il flusso termico che attraversa il componente, espresso in  $W$ ;
- $A$  è la superficie disperdente del componente, espressa in  $m^2$ ;
- $\Delta T$  è la differenza di temperatura tra gli ambienti separati dal componente, espressa in  $K$ ;
- $U$  è la trasmittanza termica del componente, espressa in  $W/m^2K$ .

La maggior parte dei componenti è stata creata nel momento dell'importazione del modello .IFC.

#### 3.4.2. Nozioni su muri, pavimenti e soffitti

Per muri, pavimenti e soffitti la procedura di inserimento dati è simile. Cliccando su una qualunque di queste strutture si dispongono alcune schede: *Dati generali*, *Stratigrafia*, *Verifica Termoigrometrica*, *Grafici* e *Risultati*. Le prime permettono di inserire tutti i dati di input necessari a definire i componenti, le ultime riportano i dati di output relativi alla verifica termoigrometrica e ai risultati delle caratteristiche termiche, come la trasmittanza e la capacità termica.

##### Dati generali:

Nella scheda *Dati generali* i parametri da inserire variano al variare del componente e della sua tipologia e, di conseguenza [Figura 3.8], si attivano diverse sottoschede. In linea di massima si hanno le seguenti:

- *Potenza & Energia*, per l'inserimento dei dati necessari al calcolo di potenza ed energia.
- *Verifica termoigrometrica*, per l'inserimento dei dati necessari alla verifica termoigrometrica.

- *Locale non climatizzato*, per l’inserimento delle temperature mensili del locale non climatizzato adiacente (solamente per strutture di tipo U).
- *Locale vicino*, per l’inserimento delle temperature mensili del locale adiacente (solamente per strutture di tipo N).
- *Pavimento controterra*, per i dati necessari a calcolare le caratteristiche termiche dei pavimenti controterra (solamente per pavimenti di tipo G o R).

**Dati struttura**

Num	Descrizione	Spessore [mm]	Cond. [W/mK]
1	Cartongesso in lastre	25,00	0,210
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40,00	0,040
3	Pannello in legno compensato	120,00	0,130
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	160,00	0,040

**Potenza & Energia** Verifica termoigrometrica Locale non climatizzato

**Dati UNI TS 11300-1**

Temperatura esterna: 2,7 °C

Maggiorazione per ponti termici: 0,00 %

Inclinazione sull'orizzonte: Σ 90 deg

**Altri dati**

Struttura esistente:

Superficie da sottrarre:

Contributo Invernale/Estivo: I+E

Porta opaca:

Figura 3.8 – Scheda Dati generali di un componente di tipo U della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Si riportano di seguito i campi più rilevanti di ciascuna sottoscheda.

Per la sottoscheda *Potenza & Energia* si hanno:

- Temperatura esterna per il calcolo della potenza invernale, dove è possibile impostare la temperatura esterna minima di progetto (-6°C) o lo media annuale (13,5°C). Per i componenti di tipo U o N, questa viene determinata dal locale attiguo. Nella presente analisi si adotta la temperatura esterna minima di progetto.
- Emissività della superficie esterna utilizzata per il calcolo delle predite per extraflusso<sup>17</sup> dei componenti di tipo T o E. Per le strutture opache il programma propone un valore di default pari a 0,9.
- Fattore di assorbimento della superficie esterna per il calcolo degli apporti solari gratuiti, in funzione del colore della parete. Il software propone un valore di 0,6 per colori medi.
- Porta opaca, per assimilare il componente muro ad un serramento non vetrato.

Per la sottoscheda *Verifica termoigrometrica* si hanno:

- Temperatura ed umidità relativa esterne, per le quali occorre adottare l’opzione “T e UR variabili medie mensili” in caso di calcolo regolamentare.
- Criterio per l’aumento dell’umidità interna, per la quale occorre adottare l’opzione “Classe concentrazione del vapore” in caso di calcolo regolamentare. Si assume la classe “Media” di concentrazione (per edifici con indice di affollamento non noto e senza ventilazione meccanica controllata) con valore 0,006 kg/m<sup>3</sup>.
- Resistenze superficiali esterna ed interna del componente. I valori proposti dalla UNI EN ISO 13788 per le superfici interne opache è 0,25 m<sup>2</sup>K/W, mentre per le strutture esterne è pari a 0,04 m<sup>2</sup>K/W.

<sup>17</sup> Le perdite per extraflusso sono le dispersioni termiche per radiazione infrarossa verso la volta celeste.

- Temperatura interna periodo di riscaldamento, per la quale si assume il valore di 20°C da normativa.
- Umidità relativa superficiale ammissibile, per la quale si assume il valore di 80% da normativa.

Nella sottoscheda *Locale non climatizzato* si impostano le temperature mensili del locale non climatizzato attiguo. In caso di calcolo analitico (predisposto nella scheda *Regime normativo*, vedi *Paragrafo 3.2.3.*) del locale non climatizzato il software calcola automaticamente le temperature interne di ogni mese, in funzione delle strutture che lo delimitano e delle temperature degli ambienti confinanti. Questo comporta, però, che ogni locale non climatizzato dell'edificio ha una temperatura differente e, per quanto detto precedentemente, si dovranno creare tante strutture di tipo U quanti sono i  $\Delta T$  tra i locali climatizzati e quelli non climatizzati.

Nella sottoscheda *Locale vicino* si impostano le temperature mensili del locale vicino appartenente a una diversa zona climatica. Ad esempio, nel caso di due appartamenti confinanti, si può considerare o meno la presenza dei vicini in alcune ore della giornata. Per eseguire questo tipo di analisi energetiche si utilizza il metodo dinamico orario che nell'ambito di questa tesi non è stato approfondito. In ogni caso, il calcolo regolamentare prevede che le analisi siano svolte con i vicini sempre presenti. Si è dovuto comunque inserire le strutture di tipo N, essendoci zone climatiche differenti nell'edificio, al fine del corretto funzionamento di EC700.

La sottoscheda *Pavimento controterra* è attiva solamente per i pavimenti di tipo G o R. Questa serve per eseguire il calcolo della trasmittanza equivalente di tale struttura, considerando l'interfaccia col terreno, con un eventuale spazio aerato frapposto e con i muri di fondazione. I pavimenti del piano terra dell'edificio di progetto sono tutti di locali non climatizzati e, quindi, non concorrono direttamente nelle dispersioni dell'involucro energetico del fabbricato. Tuttavia, la loro corretta definizione influenza la temperatura interna del locale non climatizzato, che a sua volta determina la dispersione termica con il locale climatizzato soprastante.

Infine, rimane un'ultima puntualizzazione sulle strutture di tipo D. Per queste non ci sono dati generali da inserire in quanto interne a zone climatizzate alla stessa temperatura, per le quali non esiste un  $\Delta T$  e, quindi, influenti dal punto di vista delle dispersioni. Tuttavia, concorrono nella determinazione della capacità termica areica interna dell'edificio e, perciò, sarà necessario definire la loro stratigrafia.

#### Stratigrafia:

Nella scheda *Stratigrafia* si definiscono spessori e materiali che compongono i muri, i pavimenti e i soffitti [Figura 3.9]. Edilclima è fornito di una libreria piuttosto fornita di materiali, tutti determinati nello spessore (molti dei quali modificabili), massa volumica, conduttività, resistenza al vapore e capacità termica. Non tutti i materiali utilizzati nel progetto, però, si sono ritrovati in EC700 e si è dovuto, pertanto, associarli a quelli più simili. In *Tabella 3.1* si riportano i materiali utilizzati nel progetto e i rispettivi di Edilclima, utilizzati ai fini della analisi energetica.

Tabella 3.1 – Elenco dei materiali utilizzati nel progetto e i rispettivi in EC700, con indicati i valori dei seguenti parametri:

- $\lambda$  è la conduttività;
- MV è la massa volumica
- CT è la capacità termica;
- RV è la resistenza al vapore in campo asciutto. [Fonte: Edilclima]

Materiale di progetto	Materiale di EC700	$\lambda$ (W/mK)	MV (kg/m <sup>3</sup> )	CT (kJ/kgK)	RV
Camera d'aria	Intercapedine fortemente ventilata Av>1500 mm <sup>2</sup> /m	-	-	-	-
Calcestruzzo alleggerito con argilla espansa per passaggio impianti	C.l.s. di argilla espansa sottofondi non aerati a struttura aperta	0,32	600	1	7
Calcestruzzo armato	C.l.s. armato (2% acciaio)	2,5	2400	1	130
Guaina bituminosa	Membrana bituminosa (per THERMO 2G)	0,17	1200	0,92	50000
Lastra in cartongesso	Cartongesso in lastre	0,21	700	1	10
Massetto autolivellante in anidrite a copertura impianto radiante	Massetto Autolivellante	1,4	1950	1	100
Massetto di sottofondo in sabbia e cemento	Sottofondo di cemento magro	0,9	1800	0,88	30
Pannello in lana minerale compressa per facciata ventilata	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	0,037	125	1,03	-
Pannello in X-LAM	Pannello in legno compensato	0,13	500	1,6	200
Pannello isolante in EPS per pavimento radiante	Polistirene espanso sinterizzato (EPS 200)	0,034	29	1,45	60
Pannello isolante in fibra di legno	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	0,04	150	2,1	5
Pannello isolante in XPS	Polistirene espanso estruso senza pelle	0,035	40	1,45	150
Pavimentazione in gres porcellanato	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	1,3	2300	0,84	9999999
Zoccolo esterno	Pietra artificiale	1,3	1750	1	50

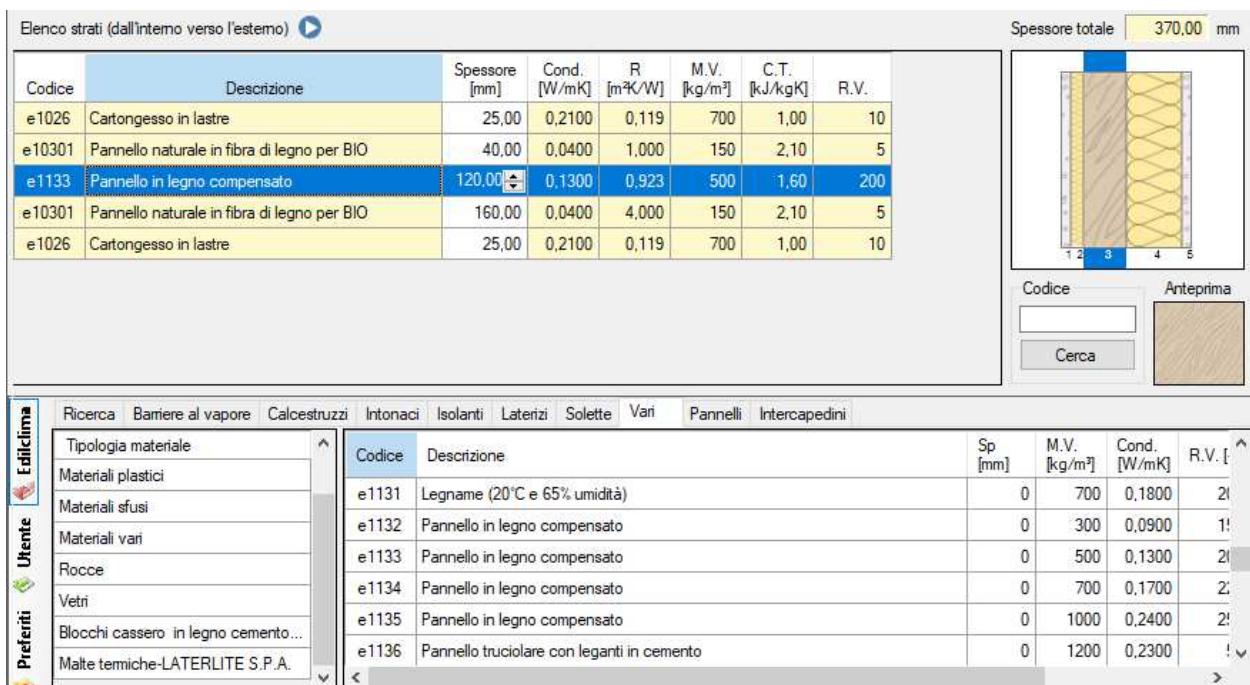


Figura 3.9 – Scheda Stratigrafia di un componente di tipo U della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

È doveroso a questo punto fare una puntualizzazione sulla parete ventilata. In EC700 non è implementata la possibilità di fare calcoli precisi dell'influenza di una facciata ventilata sulla parete su cui insiste, anche perché, probabilmente, sarebbe necessario un programma apposito. Tuttavia,

è possibile simularla in modo semplificato attraverso l'utilizzo di una intercapedine ventilata. A tal proposito la normativa UNI EN ISO 6946, che valuta la resistenza termica invernale di un'intercapedine d'aria al variare della tipologia di ventilazione, individua una loro classificazione in funzione del rapporto  $Av/L$ , dove  $Av$  è la somma delle sezioni delle aperture inferiore e superiore della facciata (in  $mm^2$ ) e  $L$  è la lunghezza (in  $m$ ) della parete<sup>18</sup>. In altre parole, la classificazione si basa sull'area totale delle aperture per ogni metro di lunghezza della parete [Tabella 3.2].

Tabella 3.2 – Classificazione della facciata ventilata in funzione del rapporto  $Av/L$ . [Fonte: norma tecnica UNI EN ISO 6946]

Tipo di ventilazione	$Av/L$ ( $mm^2/m$ )
Non ventilata	$\leq 500$
Debolmente ventilata	$500 \div 1500$
Fortemente ventilata	$\geq 1500$

Nell'edificio di progetto, le pareti ventilate hanno aperture per il passaggio dell'aria inferiore e superiore di spessore 50 mm ciascuna. Per ogni metro di lunghezza si ha  $Av/L$  pari a:

$$Av/L = \frac{50 \times 1000 \times 2}{1} = 100000 \frac{mm^2}{m}$$

La facciata ventilata, pertanto, dal punto di vista termico risulta essere fortemente ventilata. Secondo la normativa, il movimento d'aria che si forma all'interno dell'intercapedine non genera resistenza termica (come, ad esempio, una camera d'aria ferma) e, di conseguenza, tutti gli strati compresi tra l'intercapedine stessa e l'ambiente esterno sono scomputati dal calcolo della resistenza termica totale della parete.

In EC700 è possibile simulare una facciata ventilata introducendo come materiale "Intercapedine fortemente ventilata  $Av > 1500 \text{ mm}^2/m$ ". In automatico il software toglie dal calcolo gli strati più esterni e, in più, riduce gli apporti solari agli strati interni della parete.

#### Verifica termoigrometrica:

Nella scheda *Verifica termoigrometrica* si esegue la verifica termoigrometrica di muri, pavimenti e soffitti [Figura 3.10]. Nella scheda si trovano la verifica criticità di condensa superficiale e la verifica del rischio di condensa interstiziale. Entrambe sono previste dal DM 26/06/2015 che chiede, per le strutture opache delimitanti il volume climatizzato verso l'esterno, di verificare l'assenza di:

- rischio di formazione di muffe, con particolare attenzione ai ponti termici negli edifici di nuova costruzione;
- condensazioni interstiziali<sup>19</sup>.

Queste vanno fatte in conformità alla UNI EN ISO 13788, la quale stabilisce che il rischio di formazione di muffe si ha per una umidità relativa  $UR$  superficiale maggiore dell'80%. Conoscendo la temperatura e l'umidità relativa interna si determina, tramite il diagramma psicometrico, la temperatura superficiale del rischio di formazione di muffe dell'elemento opaco oggetto di verifica. La temperatura interna è nota (20°C), mentre rimane da determinare l' $UR$  interna. Per questa la normativa stabilisce l'uso del metodo delle classi di concentrazione: conoscendo la classe e la pressione esterna si determina la pressione interna attraverso una funzione di trasformazione. Da questa e dalla temperatura interna, attraverso opportune norme, si definisce l'umidità relativa

<sup>18</sup> Si precisa che tale classificazione è diversa da quella citata al Paragrafo 2.5.4.; la prima è utilizzata per un dimensionamento semplificato dell'intercapedine dal punto di vista igrometrico, la seconda è utilizzata per valutare la resistenza termica dell'intercapedine.

<sup>19</sup> (Governo italiano 2015)

interna<sup>20</sup>. Conoscendo la temperatura di rischio  $T_{rischio}$ , la temperatura esterna  $T_e$  e la temperatura interna  $T_i$  si calcola il fattore di temperatura del mese critico  $f_{Rsi,max}$  (il valore più alto tra quelli calcolati per ogni mese):

$$f_{Rsi,max} = \frac{T_{rischio} - T_e}{T_i - T_e} \quad (3.2)$$

e lo si confronta con il fattore di temperatura del componente  $f_{Rsi}$ . Questo deve risultare maggiore del valore critico.

Come già accennato al *Paragrafo 3.2.3.*, per la verifica del rischio di condensa interstiziale esistono due interpretazioni della disposizione data dal DM 26/06/2015: quella più severa stabilisce che bisogna verificare la totale assenza di condensazione interstiziale dell'elemento opaco, mentre quella data dalle FAQ ministeriali del 2018 ritiene che si possa considerare assente quando sono soddisfatte le condizioni fornite dalla UNI EN ISO 13788. Queste condizioni sono:

- la condensa non deve mai superare i 500 g/m<sup>2</sup>;
- tutta la condensa deve rievaporare nell'arco dell'anno.

Nell'ambito delle presenti analisi si è optata l'interpretazione più severa a fini cautelativi. Questa verifica utilizza il metodo di Glaser che determina le pressioni di vapore e di saturazione medie mensili attraverso tutti gli strati dell'elemento analizzato e successivamente traccia il grafico con rappresentate le due curve. Se queste si toccano si ha la formazione di condensa interstiziale.

Figura 3.10 – Scheda Verifica termoigrometrica di un componente di tipo U della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Grafici:

Nella scheda *Grafici* vengono riportati i grafici di temperature, pressioni vapore e distribuzione condensa/evaporazione di muri, pavimenti e soffitti, per ogni mese dell'anno [Figura 3.11].

<sup>20</sup> (ANIT 2017)

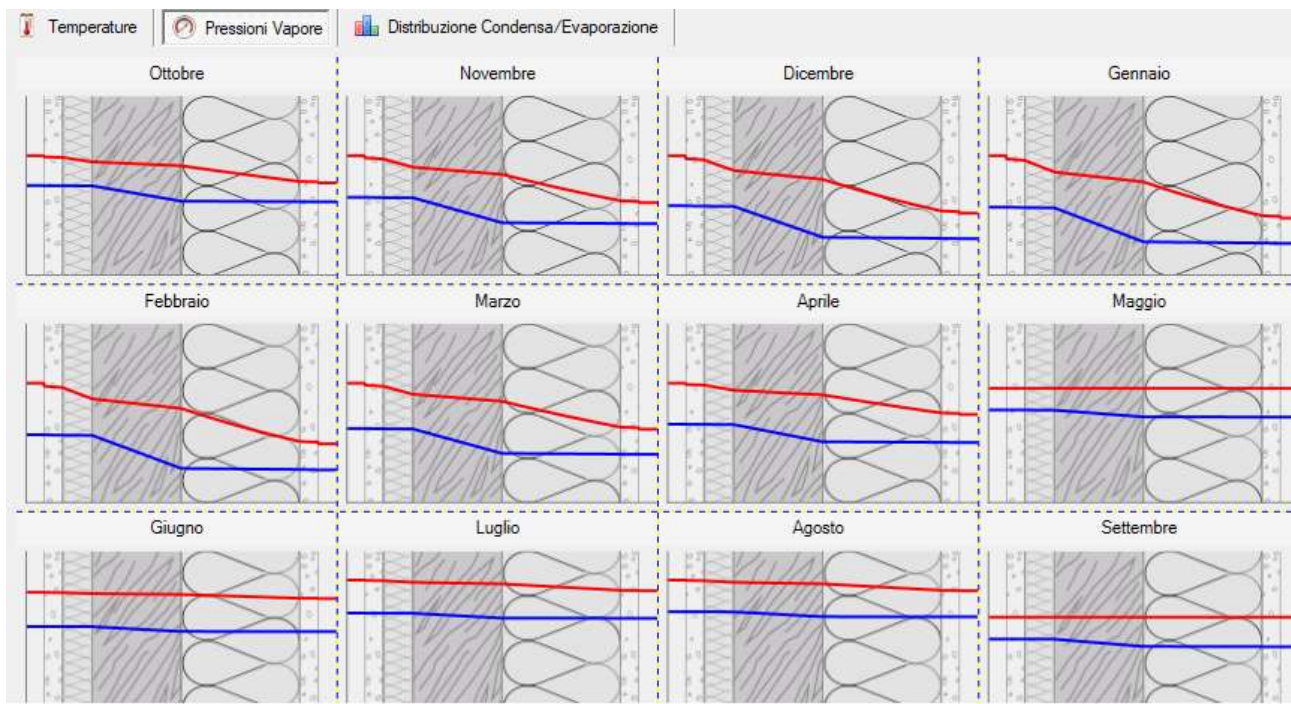


Figura 3.11 – Scheda Grafici di un componente di tipo U della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Risultati:

Nella scheda *Risultati* vengono riportati i principali risultati di trasmittanza  $U$ , permeanza, massa superficiale, trasmittanza periodica e capacità termica areica interna relativamente a muri, pavimenti e soffitti [Figura 3.12].

Il DM 26/06/2015, come già riportato al *Paragrafo 1.12.1.*, definisce le trasmittanze termiche  $U$  delle strutture che compongono l'involucro dell'edificio di riferimento, necessario a determinare gli indici e i parametri energetici di legge (requisiti minimi) che devono essere rispettati dall'edificio di progetto. Il normatore non stabilisce, però, come avveniva nei decreti precedenti, che tali trasmittanze  $U$  debbano essere confrontate con quelle dell'immobile oggetto di analisi. Nell'ambito di questa tesi si è cercato in ogni caso di rispettare e di usare come richiamo le trasmittanze  $U$  dell'edificio di riferimento. Si ricorda che per la zona climatica E si hanno i seguenti valori:

	<b>U</b> <b>(W/m<sup>2</sup>K)</b>
Per strutture opache verticali	0,26
Per strutture opache orizzontali o inclinate di copertura	0,22
Per strutture opache orizzontali di pavimento	0,26
Per chiusure tecniche trasparenti e opache	1,4
Per strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici confinanti	0,8

I valori di massa superficiale  $M_s$  e trasmittanza periodica  $Y_{IE}$  servono, invece, per eseguire una verifica, stabilita dal DM 26/06/2015, al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva. Questa prevede che per le località dove si supera il valore di 290 W/m<sup>2</sup> di irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione (a Padova è pari a 285 W/m<sup>2</sup>, vedi *Paragrafo 3.2.2.*) si facciano le seguenti verifiche:

- relativamente a tutte le pareti verticali opache, almeno una delle due seguenti verifiche:
  - che il valore della massa superficiale  $M_s$  sia superiore a 230 kg/m<sup>2</sup>;
  - che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$  sia inferiore a 0,10 W/m<sup>2</sup>K;



- relativamente a tutte le pareti orizzontali e inclinate, che il valore del modulo della trasmittanza termica periodica  $Y_{IE}$  sia inferiore a  $0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Infine, un cenno riguardo la capacità termica areica interna. Questa è utilizzata per determinare la costante di tempo e i fattori di utilizzazione ai fini del calcolo dell'energia utile invernale ed estiva. In altre parole, rappresenta l'inerzia termica del componente e serve a valutare la dinamicità nel tempo che le pareti hanno nell'accumulare o nel rilasciare negli ambienti interni il calore. Il suo valore dipende molto dal materiale e dalla sua densità.


Trasmittanza U - Potenza	0,156	W/m <sup>2</sup> K	
Trasmittanza U - Energia	0,156	W/m <sup>2</sup> K 	
Spessore totale	370	mm	
Pemeanza	7,843	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa	
Massa superficiale (con intonaci)	125	kg/m <sup>2</sup>	
Massa superficiale (senza intonaci)	90	kg/m <sup>2</sup>	
<b>Caratteristiche termiche dinamiche</b>			
Trasmittanza periodica	0,005	W/m <sup>2</sup> K	
Fattore di attenuazione	0,035		
Sfasamento dell'onda termica	-19,754	h	
Capacità termica areica interna	21,890	kJ/m <sup>2</sup> K	
<b>Resistenze termiche superficiali ( <input type="checkbox"/> rendi modificabili )</b>			
	Interna (Rsi)	Esterna (Rse)	
Potenza	0,130	0,130	m <sup>2</sup> K/W
Energia	0,130	0,130	m <sup>2</sup> K/W

Figura 3.12 – Scheda Risultati di un componente di tipo U della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### 3.4.3. Nozioni sui ponti termici

La normativa prevede che già nella fase di progettazione sia posta molta attenzione ad evitare i ponti termici negli edifici di nuova costruzione. In questa tesi si è cercato nei dettagli costruttivi dei nodi più critici, come quello tra parete esterna-terrazzo-pavimento interno oppure tra parete esterna-telaio della finestra, di disegnarli correttamente, cercando di dare continuità al cappotto termico, di risvoltarlo negli inserti dei serramenti e di isolare i davanzali e i cassonetti delle persiane scorrevoli. Inoltre, oltre che dal coibente esterno, la continuità del materiale è data anche a livello strutturale con l'utilizzo dei pannelli X-LAM.

Nell'ambito di questa tesi si assume l'ipotesi che non sono presenti ponti termici.

### 3.4.4. Nozioni sui componenti finestrati

Nella maschera *Componenti involucro*, cliccando su un componente finestrato, si dispongono le seguenti schede: *Dati generali*, *Dimensioni infisso*, *Dati modulo*, *Giunti facciata continua*, *Vetri e Risultati*.

### Dati generali:

Nella scheda *Dati generali* è possibile definire alcune informazioni di base e i dati per il calcolo della potenza ed energia del serramento [Figura 3.13]. Anche per questi componenti, esistono i tipi U e N, per i quali bisogna impostare le temperature del locale attiguo similmente a quanto visto per muri, pavimenti e soffitti. I principali dati in cui differiscono gli infissi trasparenti sono:

- Tipologia serramento, per impostare se l'infisso è composto da una o due vetrate accoppiate. Nel progetto sono tutti serramenti singoli.
- Facciata continua, per impostare se l'infisso è un modulo di una facciata continua.
- Classe di permeabilità fornito dal produttore. Questa viene stabilita da metodi di prova e, in mancanza, si imposta "Senza classificazione" (non influisce sui calcoli).
- Resistenza termica chiusure. La casella combinata fornisce dei valori da normativa in funzione del materiale e della permeabilità. Per i serramenti posti a nord nel progetto si sono inseriti delle persiane scorrevoli in legno e si ipotizza una bassa permeabilità all'aria quando sono chiuse. Il valore di resistenza termica proposto è pari a  $0,22 \text{ m}^2\text{K/W}$ .
- Fshut è un coefficiente che valuta le ore di chiusura dell'oscurante. Le UNI/TS 11300 prescrivono che in assenza di dati più precisi si consideri un valore di fshut pari a 0,6, corrispondente a 12 ore giornaliere di chiusura.
- Temperatura esterna per il calcolo della potenza invernale, dove è possibile impostare la temperatura esterna minima di progetto ( $-6^\circ\text{C}$ ) o la media annuale ( $13,5^\circ\text{C}$ ). Per i componenti di tipo U o N, questa viene determinata dal locale attiguo. Nella presente analisi si adotta la temperatura esterna minima di progetto.
- Emissività della superficie esterna utilizzata per il calcolo delle predite per extraflusso dei componenti di tipo T o E. In assenza di dati specifici, il programma propone un valore di default pari a 0,837.
- Fattore di trasmittanza solare, che rappresenta il valore della trasmittanza di energia solare totale per incidenza normale dei vetri. EC700 propone un valore normato pari a 0,5 per triplo vetro con doppio rivestimento basso emissivo.
- Fattore tendaggi per l'energia invernale e quella estiva. Questo dato prende in considerazione la presenza di tendaggi o sistemi di ombreggiamento del serramento riducendo gli apporti solari all'ambiente interno. Un valore pari a 1 indica nessuna tenda, mentre un valore pari a 0 significa che l'oscurante è completamente chiuso. Il software propone per tende bianche interne un valore di 0,8 e per veneziane esterne un valore di 0,1. Nel progetto si suppone la presenza di tendaggi che permettono un certo irraggiamento dell'ambiente interno nel periodo invernale, mentre in estate sono stati collocati dei frangisole scorrevoli, assimilabili alle veneziane, davanti alle vetrate poste a sud. Gli unici serramenti privi di qualsiasi protezione sono quelli posti nelle facciate continue che costituiscono l'atrio d'ingresso a nord.

Dati serramento		Potenza & Energia	
Tipologia	Singolo	<b>Dati UNI TS 11300-1</b>	
<input type="checkbox"/> Facciata continua		Temperatura esterna	-6,0 °C
		Emissività $\varepsilon$	0,837
Classe di permeabilità	Senza classificazione	Fattore di trasmittanza solare $g_{gl,n}$	0,500
Resistenza termica chiusure	0,22 m <sup>2</sup> K/W	Fattore tendaggi (energia invernale) $fc_{inv}$	0,80
Fshut	0,6	Fattore tendaggi (energia estiva) $fc_{est}$	0,10
		Inclinazione sull'orizzonte $\Sigma$	90 deg
		<b>Altri dati</b>	
		Struttura esistente	<input type="checkbox"/>
		Superficie da sottrarre	<input type="checkbox"/>
		Contributo Invernale/Estivo	I+E

Figura 3.13 – Scheda Dati generali di un componente finestrato della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Dimensioni infisso:

Nella scheda *Dimensioni infisso* si definiscono le dimensioni principali del modulo vetrato [Figura 3.14]. In particolare, si inseriscono i dati relativi alla larghezza e all'altezza architettonica del serramento, il numero di divisori e le dimensioni in prospetto del telaio. Per quanto riguarda quest'ultimo, si specifica, che in tutti i serramenti è in parte nascosto dall'imbotte e, pertanto, nella definizione delle dimensioni si è presa in considerazione la sola parte visibile. Il rapporto tra area vetrata e area del telaio definisce il fattore di forma  $F_f$ , che a sua volta concorre al calcolo della trasmittanza dell'infisso. Per  $F_f$  pari a 1 significa che la finestra è solo vetro, senza telaio.

Determinata la geometria del componente, si inserisce il valore della trasmittanza termica del telaio  $K_{telaio}$ . Questa è stabilita dalle UNI/TS 11300 in funzione del materiale e dello spessore. Per un telaio in legno tenero di spessore 80 mm si ha un  $K_{telaio}$  pari a 1,5 W/m<sup>2</sup>K.

È possibile, inoltre, considerare la presenza di un sopraluce o di un pannello opaco della finestra. Nell'edificio di progetto nessun serramento vetrato è dotato di questi elementi.

Infine, se si è spuntata la casella relativa alla facciata continua nella scheda *Dati generali* si possono inserire i dati relativi a traversi e montanti che sostengono il modulo vetrato. Nel progetto la facciata continua è utilizzata per definire gli atri di ingresso all'edificio. Questi sono tutti locali non climatizzati dei quali, ai fini delle analisi, interessa solamente la temperatura interna. Pertanto, nella loro definizione si sono inseriti dei valori indicativi, ricavati dalle schede tecniche di alcuni produttori, al fine di simulare una vetrata composta da moduli.

Dimensioni modulo vetrato			
Larghezza	L	<input type="text" value="90,0"/>	cm
Altezza	H	<input type="text" value="150,0"/>	cm
<input type="checkbox"/> dimensioni telaio semplificate		Superficie apribile	<input type="text" value="100,0"/> %
<b>Telaio</b>			
Spessore traverso sup.	A	<input type="text" value="4,2"/>	cm
Spessore traverso inf.	B	<input type="text" value="4,2"/>	cm
Spessore montante sx	C	<input type="text" value="4,2"/>	cm
Spessore montante dx	D	<input type="text" value="4,2"/>	cm
Numero divisori orizz.	NO	<input type="text" value="0"/>	
Numero divisori vert.	NV	<input type="text" value="1"/>	
Spessore divisori orizz.	E	<input type="text" value="0,0"/>	cm
Spessore divisori vert.	F	<input type="text" value="12,0"/>	cm
K telaio	Uf	<input type="text" value="1,50"/>	W/m²K
Fattore di forma	Ff	<input type="text" value="0,73"/>	
<input type="checkbox"/> Sopraluce			
Altezza	Hsop	<input type="text" value="0,0"/>	cm
Spessore telaio	G	<input type="text" value="0,0"/>	cm
<input type="checkbox"/> Pannello opaco			
Struttura	<input type="text" value="-"/>		
Altezza	Hpan	<input type="text" value="0,0"/>	cm
Spessore telaio	Gpan	<input type="text" value="0,0"/>	cm

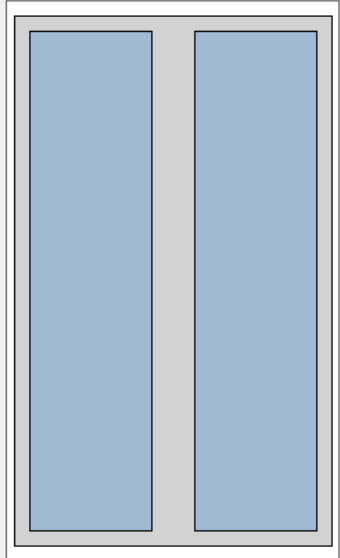


Figura 3.14 – Scheda Dimensioni infisso di un componente finestrato della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Dati modulo:

Nella scheda *Dati modulo* è possibile specificare se nel componente finestrato sono presenti cassonetto, ponti termici e sottofinestra [Figura 3.15].

Le finestre collocate a nord nell'edificio di progetto sono dotate di cassonetti per le persiane scorrevoli. Tuttavia, il cassonetto inteso da EC700 è quello per oscuranti avvolgibili (ad esempio, le tapparelle), posto in sommità al serramento. Assimilare quelli di progetto a tali elementi non si ritiene molto corretto. Perciò, nell'ambito di questa analisi si assume l'ipotesi che il telaio contenente la persiana sia sufficientemente coibentato e avente una resistenza termica simile alla parete che lo contiene.

I ponti termici, per i motivi enunciati al *Paragrafo 3.4.3.*, non sussistono.

Il check "Sottofinestra" si usa quando, ad esempio in edifici esistenti, la porzione di muro sotto l'infisso è di materiale diverso a seguito di una sua riduzione della luce architettonica. Nel caso dell'edificio di progetto non si ha questa situazione.

<input type="checkbox"/> <b>Cassonetto</b>			
Struttura	<input type="text" value="-"/>		
Altezza	Hcass	<input type="text" value="0,0"/>	cm
Profondità	Pcass	<input type="text" value="0,0"/>	cm
	Area frontale	<input type="text" value="0,00"/>	m²
<b>Dimensioni serramento</b>			
Larghezza	L	<input type="text" value="90,0"/>	cm
Altezza	H	<input type="text" value="150,0"/>	cm
	Area	<input type="text" value="1,35"/>	m²
<input type="checkbox"/> <b>Ponte termico</b>			
Trascura nei calcoli della trasmittanza media <input type="checkbox"/>			
Ponte termico	Struttura	<input type="text" value="-"/>	$\Psi$ lineica W/mK
			Lunghezza m
<input type="checkbox"/> Davanzale	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0,000"/>	<input type="text" value="0,9"/>
<input type="checkbox"/> Architrave	<input type="text" value="-"/>	<input type="text" value="0,000"/>	<input type="text" value="0,9"/>
<input type="checkbox"/> <b>Sottofinestra</b>			
Struttura	<input type="text" value="-"/>		
Altezza	Hsott	<input type="text" value="0,0"/>	cm
	Area	<input type="text" value="0,00"/>	m²

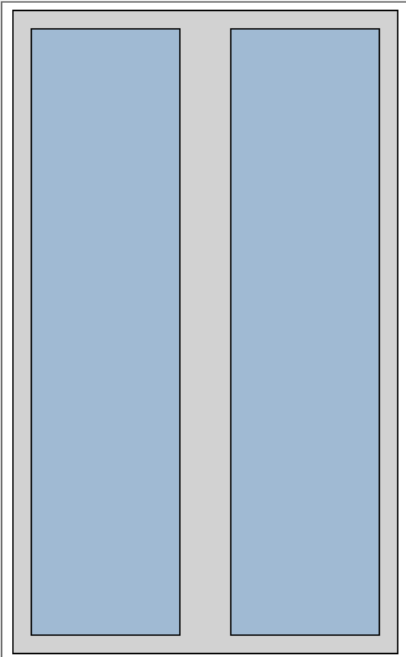


Figura 3.15 – Scheda Dati modulo di un componente finestrato della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Vetri:

Nella scheda *Vetri* si configura il tipo di vetrata, spessore e conducibilità del vetro, resistenza delle intercapedini e trasmittanza lineica del distanziatore [Figura 3.16].

Si ricorda, a questo punto, che la trasmittanza  $U$  di una chiusura tecnica trasparente, in zona climatica E, dell'edificio di riferimento utilizzato per determinare i requisiti minimi di quello di progetto, definito dal DM 26/06/2015, è pari a  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Questo valore è molto più stringente in confronto a quelli di molti serramenti con vetrate tradizionali, con trasmittanze complessive che vanno da  $5 \div 6 \text{ W/m}^2\text{K}$ , in caso di finestre con vetro singolo, a  $2,7 \div 3,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , per finestre con doppio vetro normale con vetrocamera riempito d'aria. Pertanto, considerata la tendenza delle normative energetiche, italiane ed europee, che puntano ad un costante miglioramento tecnologico e, quindi, ad un costante aumento di severità nel tempo dei requisiti minimi, si è deciso di adottare per l'edificio di progetto serramenti con una elevatissima prestazione energetica.

Attraverso le schede tecniche di alcuni produttori di infissi e secondo le tabelle riportate dalla UNI/TS 11300, si è constatato che la trasmittanza di vetrate composte da doppi vetri trattati superficialmente da materiali basso emissivi e con intercapedine riempita da gas tipo argon, krypton o xenon, difficilmente scende sotto a  $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  e solo in talune configurazioni raggiunge al massimo un valore di  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Si sottolinea, inoltre, che la trasmittanza di  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  stabilita dalla normativa è comprensiva della trasmittanza del telaio e di eventuali ponti termici, mentre quelle riportate nelle righe precedenti è riferita alla sola vetrata, compresa l'intercapedine.

Di conseguenza si è scelto di utilizzare nell'edificio di progetto degli infissi con triplo vetro con due lastre trattate superficialmente con emissività normale pari a 0,1 e con le camere d'aria riempite al 90% di gas argon. Gli spessori sono 4-12-4-12-4. Per questa configurazione, le UNI/TS 11300 riporta una trasmittanza della vetrata  $U_g$  di  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

In EC700, come detto precedentemente, nella scheda *Vetri* si possono inserire i seguenti dati di input: spessore e conducibilità del vetro, resistenza delle intercapedini e trasmittanza lineica del distanziatore. Lo spessore del vetro è di 4 mm, mentre per la conducibilità il software propone per il materiale vetro il valore di  $1 \text{ W/mK}$ . Per la resistenza termica dell'intercapedine, al fine di raggiungere la trasmittanza della vetrata  $U_g$  di  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ , si è introdotto un valore pari a  $0,464 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Infine, per il distanziatore il software propone le trasmittanze lineiche suggerite dalla normativa: nel caso di telai in legno con tre vetri a bassa emissività si ha un valore pari a  $0,08 \text{ W/mK}$ .

Tipo di vetro  singolo  doppio  triplo

Spessore    mm

$\lambda$  vetro    W/mK

Resistenza intercapedine vetri    $\text{m}^2\text{K/W}$

K distanziale  W/mK

Figura 3.16 – Scheda *Vetri* di un componente finestrato della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### Risultati:

Nella scheda *Risultati* vengono riportati i principali risultati sulle dimensioni, trasmittanze del serramento e fattore massimo di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh,max}$  dei componenti finestrati [Figura 3.17].

Le trasmittanze riportate sono:

- $U_{w,p}$  trasmittanza del serramento compressivo il telaio, per il calcolo della potenza invernale.
- $U_{w,e}$  trasmittanza del serramento compressivo il telaio, per il calcolo dell'energia.
- $U_g$  trasmittanza della sola vetrata.
- $U_p$  trasmittanza del serramento compressivo il telaio ed eventuali cassonetto e ponti termici, per il calcolo della potenza invernale.
- $U_e$  trasmittanza del serramento compressivo il telaio ed eventuali cassonetto e ponti termici, per il calcolo dell'energia.

La trasmittanza per il calcolo della potenza invernale considera le resistenze superficiali dell'aria relative al calcolo di potenza e non tiene conto del contributo di eventuali chiusure oscuranti, mentre la trasmittanza per il calcolo dell'energia considera le resistenze superficiali dell'aria relative al calcolo di energia e del contributo di eventuali chiusure oscuranti.

Il valore più interessante ai fini delle analisi è la trasmittanza per l'energia  $U_e$ , confrontabile con la trasmittanza  $U$  data dal DM 26/06/2015 per l'edificio di riferimento, pari a 1,4 W/m<sup>2</sup>K.

Il fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh}$  è un parametro che valuta la trasmissione energetica della radiazione solare attraverso l'infisso in funzione della schermatura solare data da una chiusura ombreggiante. In altre parole, concorre alla determinazione degli apporti solari dovuti alla finestra. Si calcola come:

$$g_{gl+sh} = g_{gl} \times F_C \quad (3.3)$$

dove:

- $g_{gl}$  è il fattore di trasmittanza di energia solare totale della finestra, quando la schermatura non è utilizzata;
- $F_C$  è il fattore tendaggi per l'energia invernale o quella estiva, definito nella scheda *Dati generali* del componente finestrato.


Il fattore di trasmittanza di energia solare totale della finestra  $g_{gl}$  è calcolato come:

$$g_{gl} = g_{gl,n} \times F_w \quad (3.4)$$


dove:

- $g_{gl,n}$  è il fattore di trasmittanza di energia solare, definito nella scheda *Dati generali* del componente finestrato;
- $F_w$  è il fattore di esposizione, definito dalle normative UNI/TS 11300, calcolato per ogni mese e ogni esposizione, in funzione del tipo di vetrata.

Il fattore massimo di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh,max}$  è il maggiore di tutti i valori di  $g_{gl+sh}$ , per ogni mese, per ogni esposizione e per ogni fattore tendaggi. Il DM 26/06/2015 considera il fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh}$  per l'edificio di riferimento pari a 0,35. In EC700, per ogni finestra si ha un valore massimo pari a 0,391, calcolato nel mese di dicembre per l'esposizione a sud e con il fattore tendaggi invernale.

<b>Dimensioni serramento</b>			
Area totale	Aw	1,350	m <sup>2</sup> 
Area vetro	Ag	0,986	m <sup>2</sup>
Area telaio	Af	0,364	m <sup>2</sup>
Perimetro vetro	Lg	7,056	m
Perimetro telaio	Lf	4,800	m

<b>Trasmittanza serramento</b>			
Potenza	Uw,p	1,481	W/m <sup>2</sup> K
Energia	Uw,e	1,262	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza vetro	Ug	0,900	W/m <sup>2</sup> K
Ggl+sh max		0,391	

<b>Trasmittanza modulo</b>			
Potenza	Up	1,481	W/m <sup>2</sup> K
Energia	Ue	1,262	W/m <sup>2</sup> K

<b>Resistenze termiche superficiali ( <input type="checkbox"/> rendi modificabili )</b>				
		Interna (Rsi)	Esterna (Rse)	
Potenza		0,130	0,040	m <sup>2</sup> K/W
Energia		0,130	0,041	m <sup>2</sup> K/W

Figura 3.17 – Scheda Vetri di un componente finestrato della maschera Componenti involucro di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

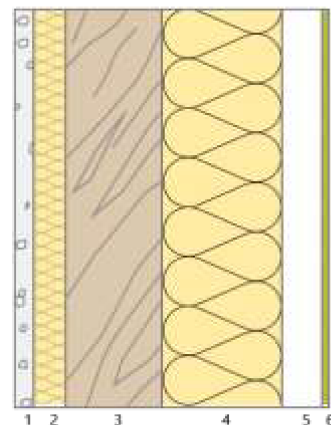
### 3.4.5. Dati e risultati dei componenti muri

Di seguito si riportano i dati, i risultati e la verifica termoigrometrica dei principali componenti muro utilizzati per definire l'involucro termico. In Appendice A si fornisce una tabella riassuntiva di tutti i componenti muro inseriti in EC700.

#### M1 – Parete ventilata 1

Muro tipo T

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b> °C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,9</b>
Fattore di assorbimento	$\alpha$	<b>0,6</b>
Spessore	$Sp$	<b>395</b> mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,165</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,165</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,26</b> W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>7,937</b> 10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$M_s$	<b>107</b> kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,007</b> W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,044</b>
Sfasamento onda termica		<b>-18,1</b> h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>21,886</b> kJ/m <sup>2</sup> K



#### Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
3	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	150	0,04	3,75	150	2,1	5
5	Intercapedine fortemente ventilata $Av > 1500$ mm <sup>2</sup> /m	50	-	-	-	-	-
6	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	10	0,037	-	125	1,03	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041	-	-	-

#### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-



**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

**POSITIVA**

Mese critico

**ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$

**0,837**

Fattore di temperatura del componente

$f_{Rsi}$

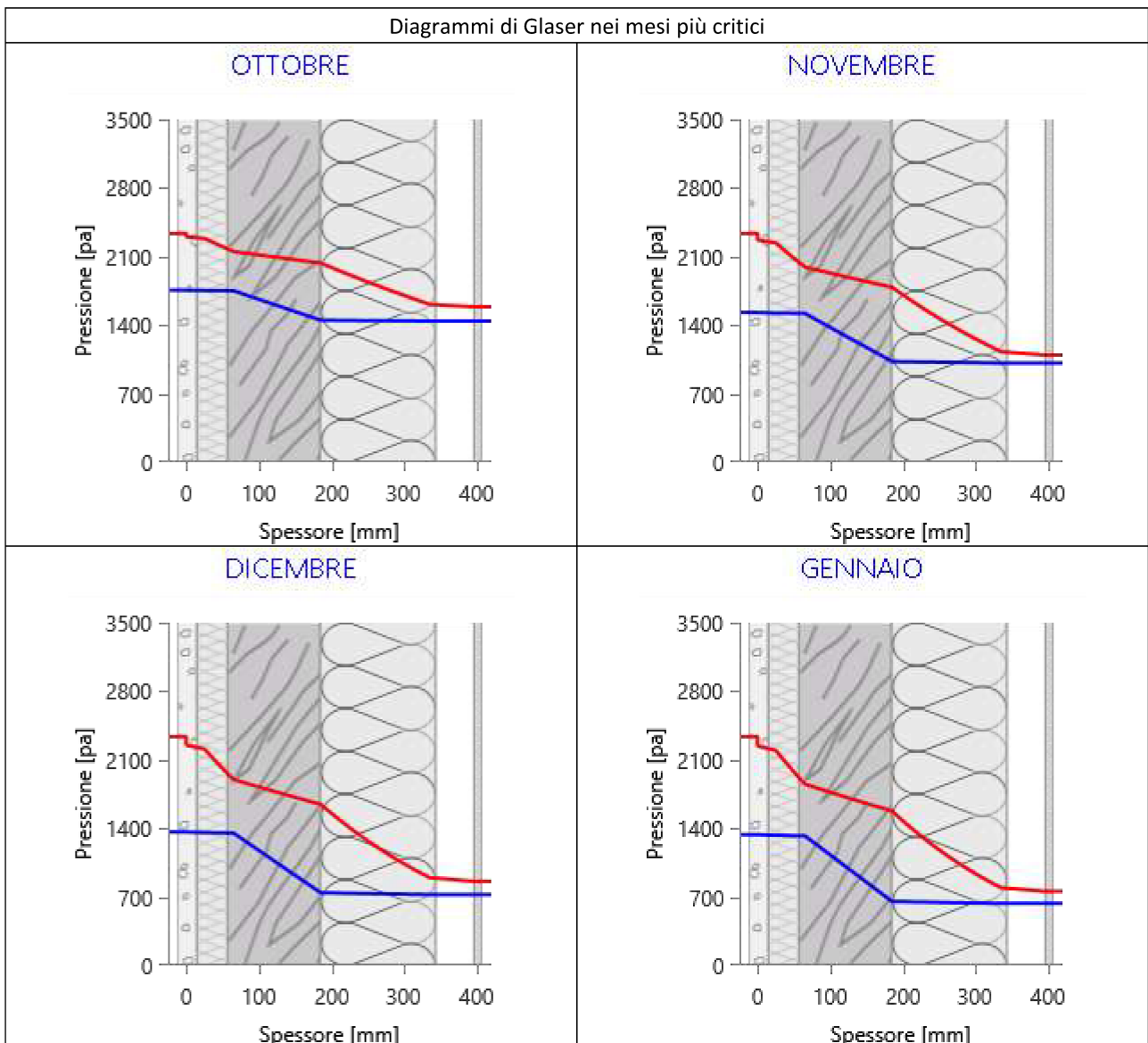
**0,96**

Umidità relativa superficiale accettabile

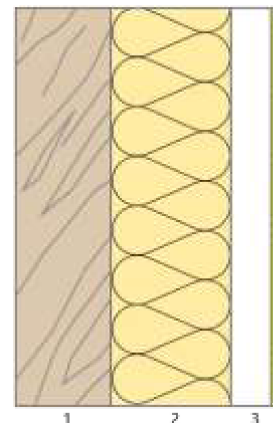
**80 %**

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,9</b>	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	<b>0,6</b>	
Spessore	$Sp$	<b>330</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,203</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,203</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>8,081</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$Ms$	<b>84</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,027</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,133</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-14,6</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>30,193</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	150	0,04	3,75	150	2,1	5
3	Intercapedine fortemente ventilata $A_v > 1500$ mm <sup>2</sup> /m	50	-	-	-	-	-
4	Fibre minerali feldspatiche - Pannello rigido	10	0,037	-	125	1,03	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

**POSITIVA**

Mese critico

**ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$  **0,837**

Fattore di temperatura del componente

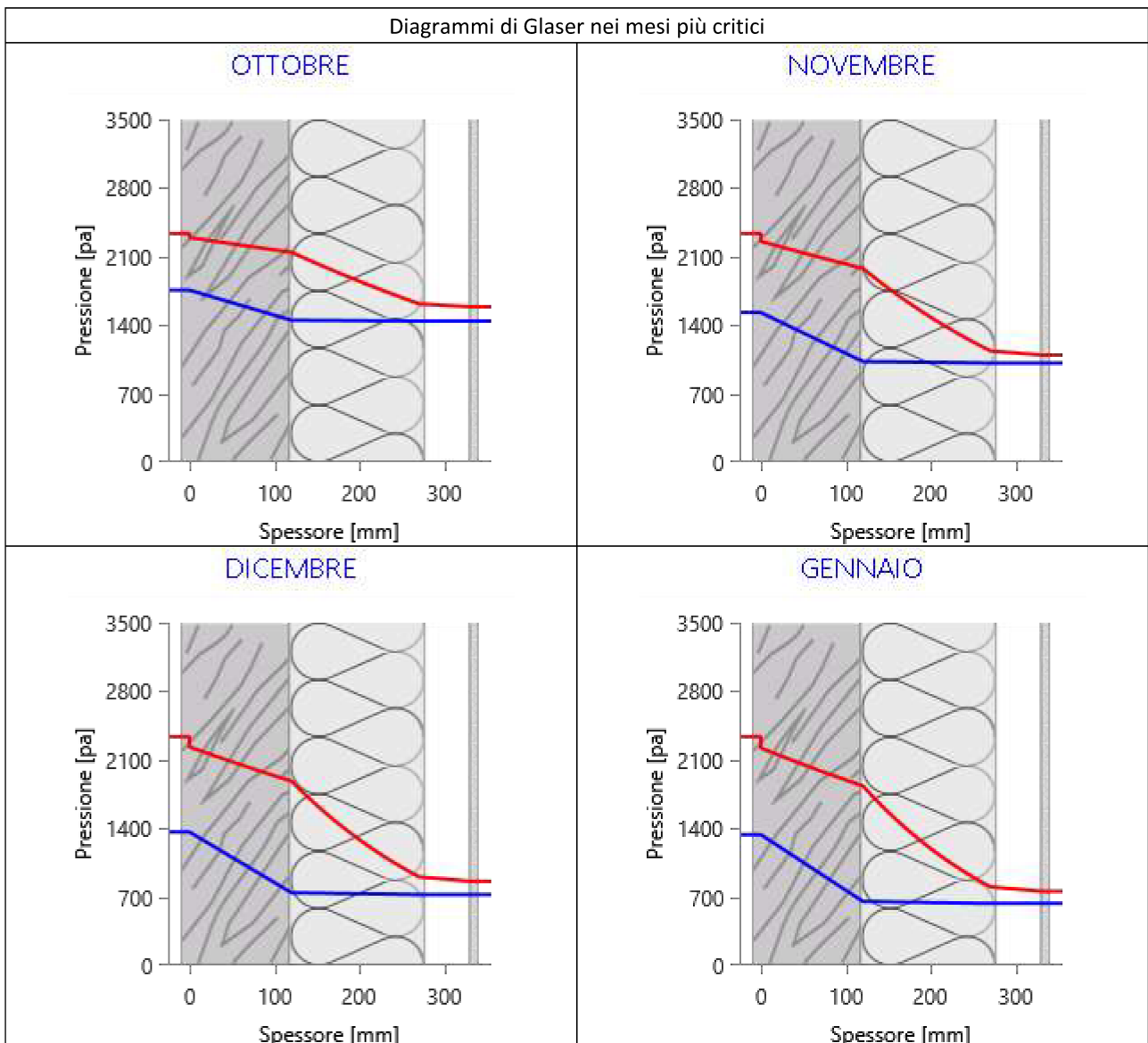
$f_{Rsi}$  **0,952**

Umidità relativa superficiale accettabile

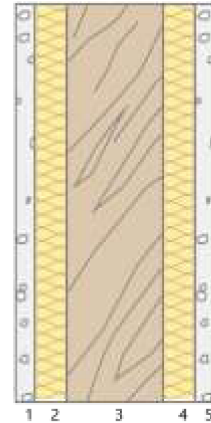
**80 %**

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	-	
Emissività	$\varepsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$S_p$	<b>250</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,292</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,292</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	-	
Permeanza		<b>8,032</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$M_s$	<b>107</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,041</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,139</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-12,3</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>22,298</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



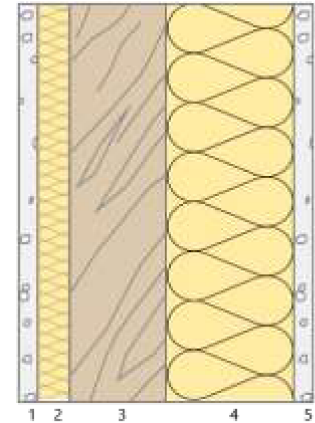
Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
3	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
5	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-0,5</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$Sp$	<b>370</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,156</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,156</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>7,483</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$Ms$	<b>125</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,005</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,035</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-19,8</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>21,89</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
3	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	160	0,04	4	150	2,1	5
5	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

POSITIVA

Mese critico

ottobre

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$  0,793

Fattore di temperatura del componente

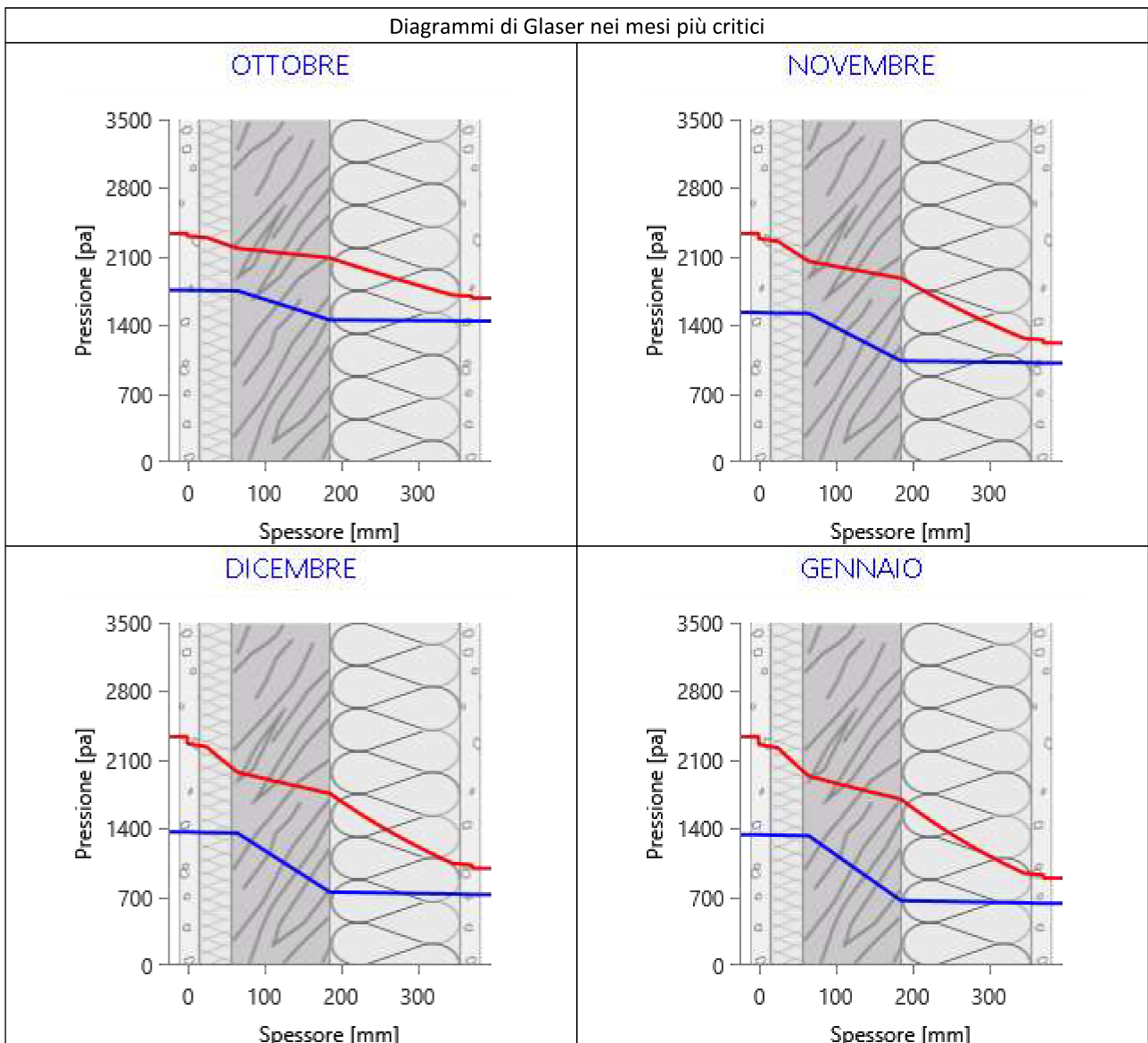
$f_{Rsi}$  0,962

Umidità relativa superficiale accettabile

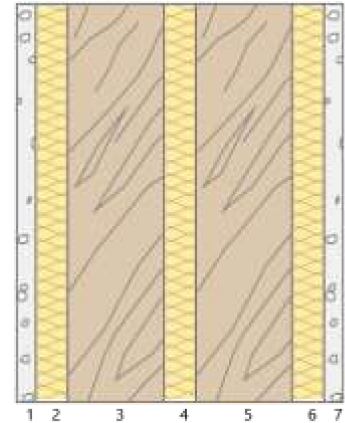
80 %

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>14,3</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$Sp$	<b>410</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,187</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,187</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,8</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>4,073</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$Ms$	<b>173</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,003</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,014</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-22</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>21,933</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,13	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
2	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
3	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
4	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
5	Pannello in legno compensato	120	0,13	0,923	500	1,6	200
6	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
7	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,13	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

POSITIVA

Mese critico

ottobre

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$

0,257

Fattore di temperatura del componente

$f_{Rsi}$

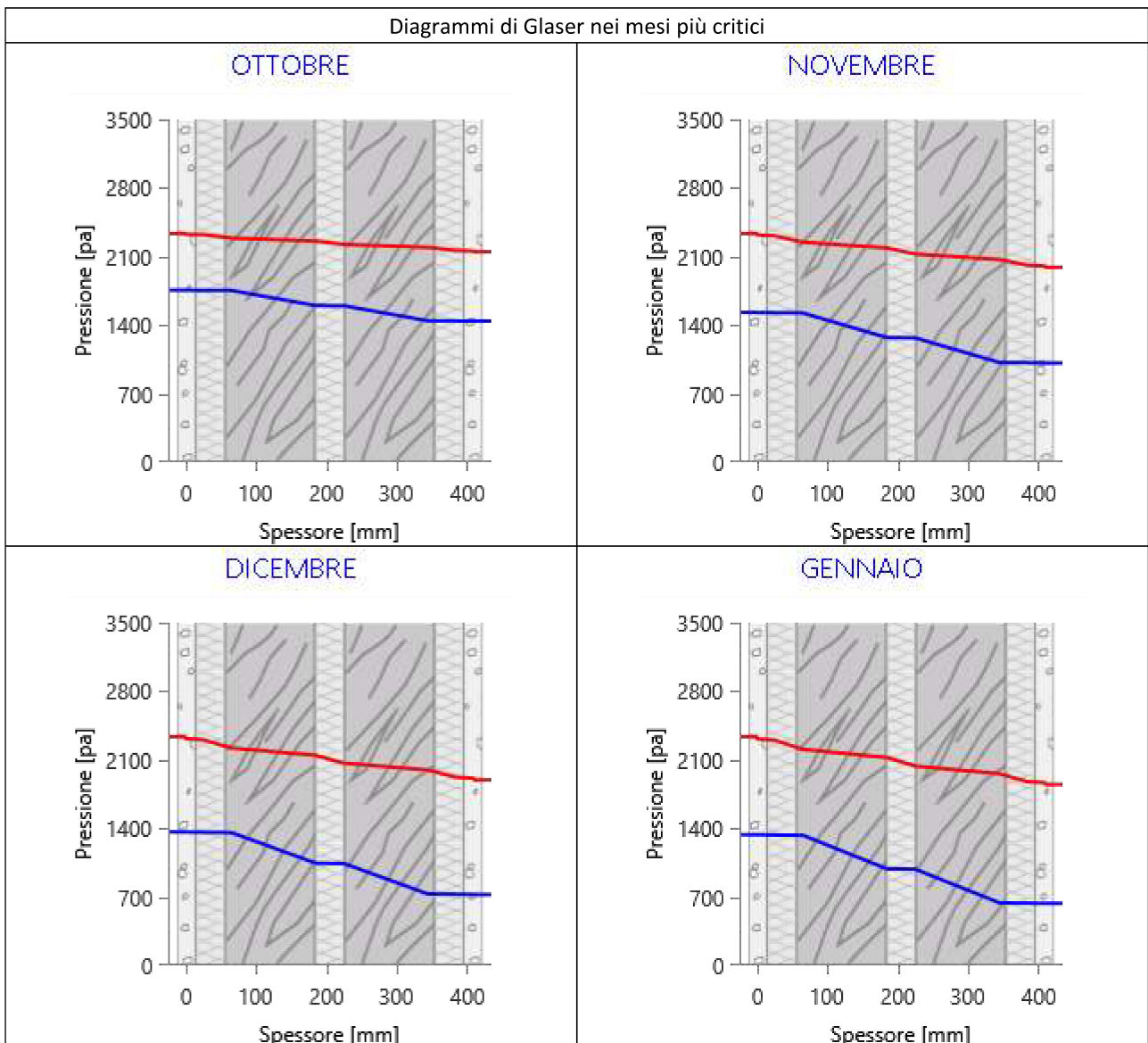
0,955

Umidità relativa superficiale accettabile

80 %

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.





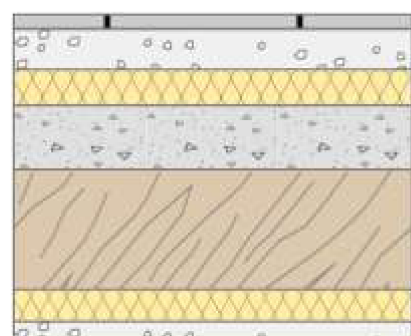
### 3.4.6. Dati e risultati dei componenti pavimento e soffitto

Di seguito si riportano i dati, i risultati e la verifica termoigrometrica dei principali componenti pavimento e soffitto utilizzati per definire l'involucro termico. In Appendice B e C si fornisce una tabella riassuntiva di tutti i componenti pavimento e soffitto inseriti in EC700.

#### P2 – Pavimento piano primo 1

Pavimento tipo U

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-1,2</b>	°C
Emissività	$\epsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$S_p$	<b>410</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,236</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,236</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>0,001</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$M_s$	<b>291</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,006</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,024</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-19,5</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>62,787</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



#### Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	20	1,3	0,015	2300	0,84	9999999
2	Massettomix Autolivellante	50	1,4	0,036	1950	1	100
3	Polistirene espanso sinterizzato (EPS 200)	45	0,034	1,324	29	1,45	60
4	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati a struttura aperta	80	0,32	0,25	600	1	7
5	Pannello in legno compensato	150	0,13	1,154	500	1,6	200
6	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
7	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,17	-	-	-

#### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

POSITIVA

Mese critico

ottobre

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$

0,8

Fattore di temperatura del componente

$f_{Rsi}$

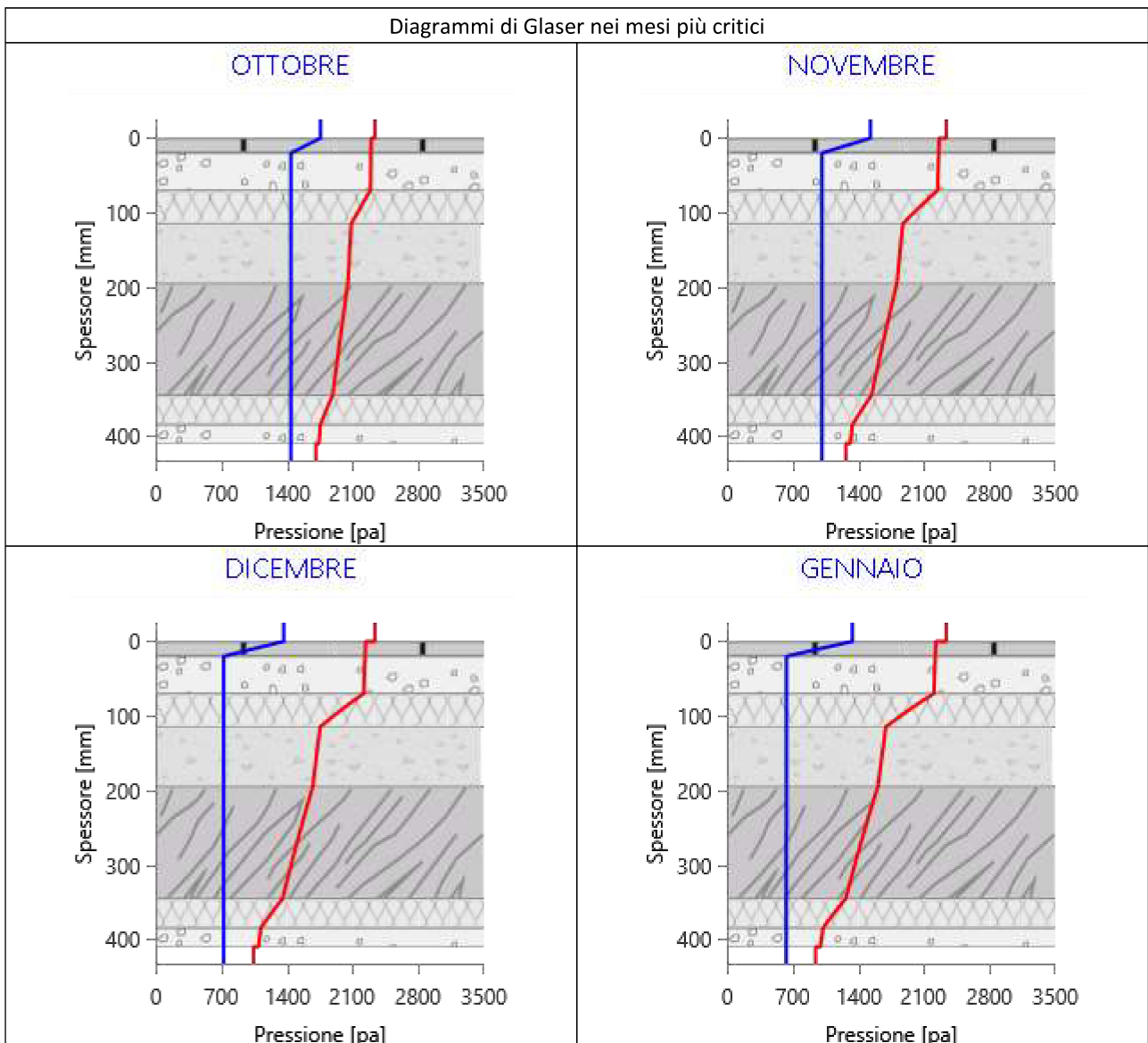
0,943

Umidità relativa superficiale accettabile

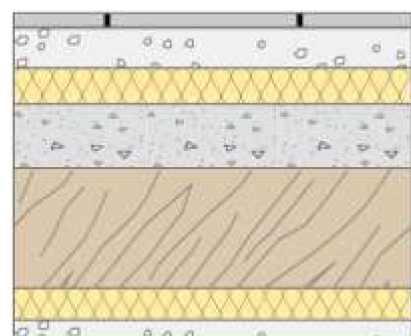
80 %

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>14,3</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$S_p$	<b>410</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,236</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,236</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,8</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>0,001</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$M_s$	<b>291</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,006</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,024</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-19,5</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>62,787</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,17	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	20	1,3	0,015	2300	0,84	9999999
2	Massettomix Autolivellante	50	1,4	0,036	1950	1	100
3	Polistirene espanso sinterizzato (EPS 200)	45	0,034	1,324	29	1,45	60
4	C.I.s. di argilla espansa sottofondi non aerati a struttura aperta	80	0,32	0,25	600	1	7
5	Pannello in legno compensato	150	0,13	1,154	500	1,6	200
6	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
7	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,17	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

POSITIVA

Mese critico

ottobre

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$

0,257

Fattore di temperatura del componente

$f_{Rsi}$

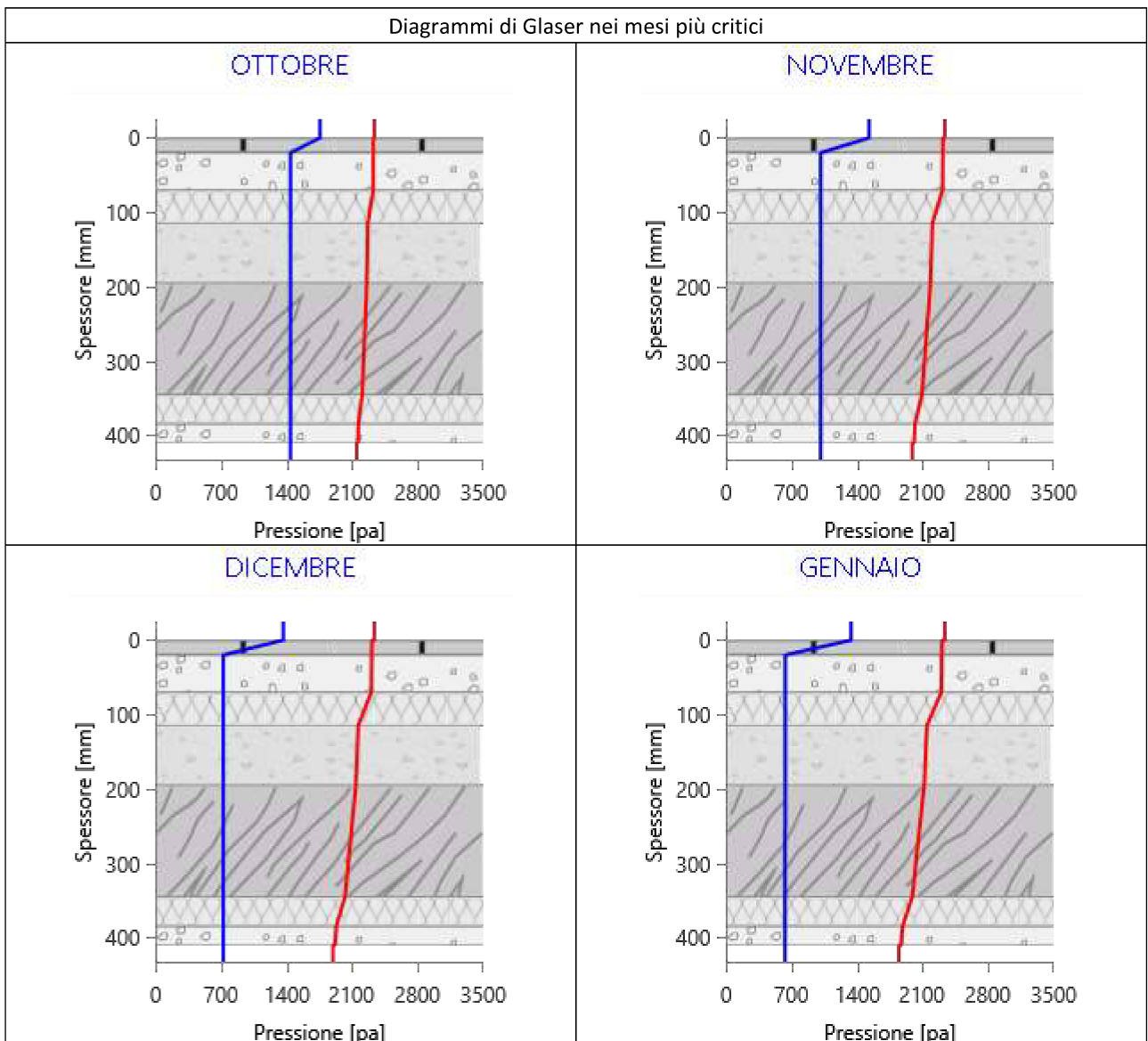
0,943

Umidità relativa superficiale accettabile

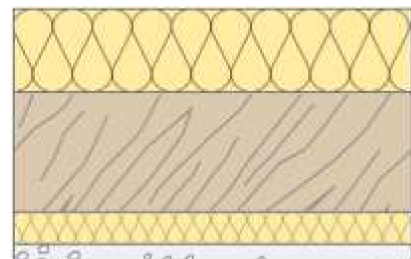
80 %

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>1,6</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	-	
Fattore di assorbimento	$\alpha$	-	
Spessore	$S_p$	<b>320</b>	mm
Trasmittanza termica (calcolo energia)	$U_e$	<b>0,196</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica (calcolo potenza)	$U_p$	<b>0,196</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>0,26</b>	W/m <sup>2</sup> K
Permeanza		<b>6,457</b>	10 <sup>-12</sup> kg/sm <sup>2</sup> Pa
Massa superficiale	$M_s$	<b>114</b>	kg/m <sup>2</sup>
Trasmittanza termica periodica	$Y_{IE}$	<b>0,01</b>	W/m <sup>2</sup> K
Fattore attenuazione		<b>0,052</b>	
Sfasamento onda termica		<b>-16,7</b>	h
Capacità termica areica interna	$C_T$	<b>22,607</b>	kJ/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	$\lambda$	R	MV	CT	RV
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,1	-	-	-
1	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	105	0,04	2,625	150	2,1	5
2	Pannello in legno compensato	150	0,13	1,154	500	1,6	200
3	Pannello naturale in fibra di legno per BIO	40	0,04	1	150	2,1	5
4	Cartongesso in lastre	25	0,21	0,119	700	1	10
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,1	-	-	-

Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduktività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W
MV	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
CT	Capacità termica specifica	kJ/kgK
RV	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Condizioni al contorno**

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento

20 °C

Criterio per l'aumento dell'umidità interna

Classe media di concentrazione del vapore (0,006 kg/m<sup>3</sup>)

**Verifica criticità di condensa superficiale**

Verifica condensa superficiale

$f_{Rsi,max} < f_{Rsi}$

**POSITIVA**

Mese critico

**ottobre**

Fattore di temperatura del mese critico

$f_{Rsi,max}$  **0,769**

Fattore di temperatura del componente

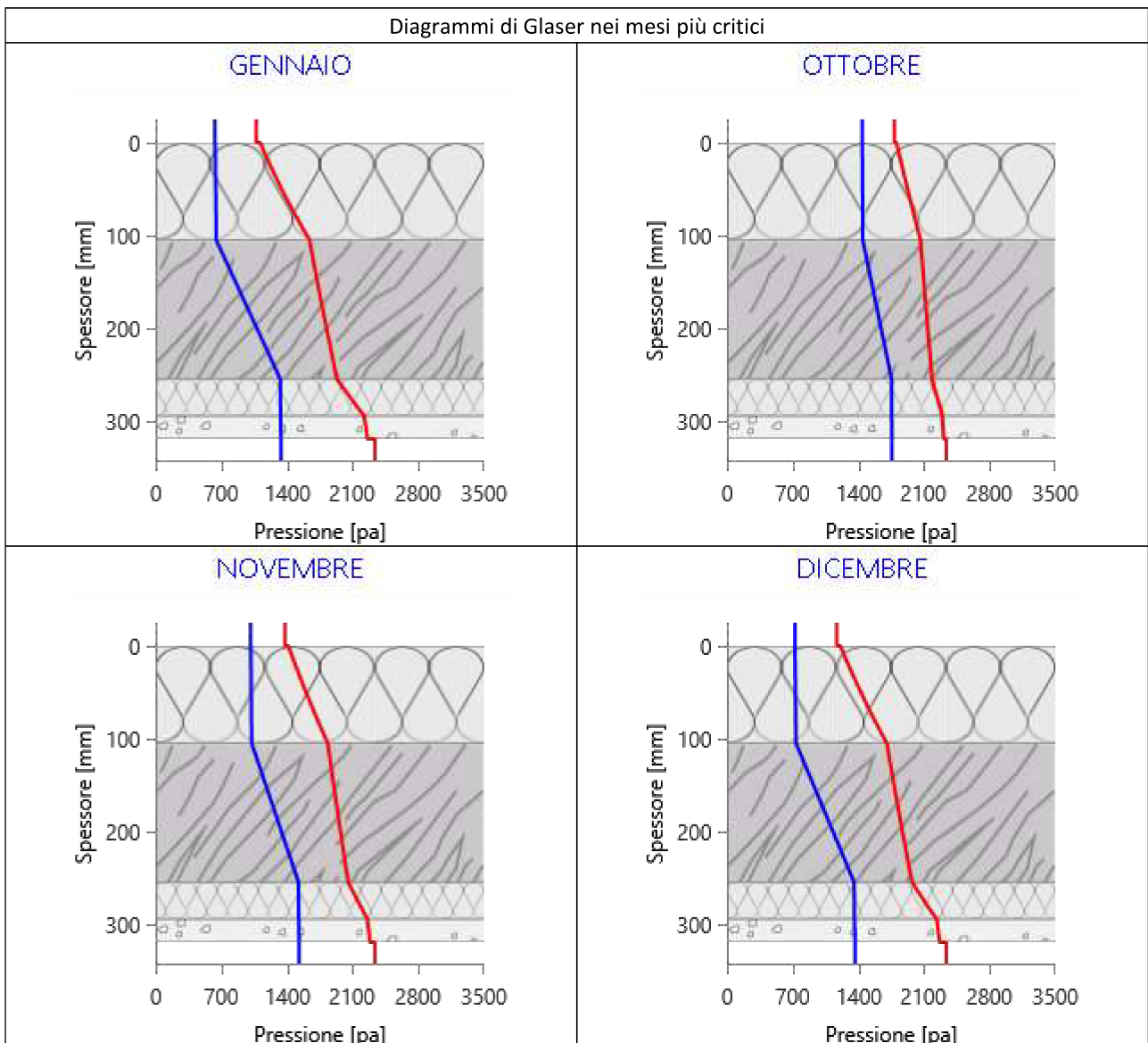
$f_{Rsi}$  **0,954**

Umidità relativa superficiale accettabile

**80 %**

**Verifica del rischio di condensa interstiziale**

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.



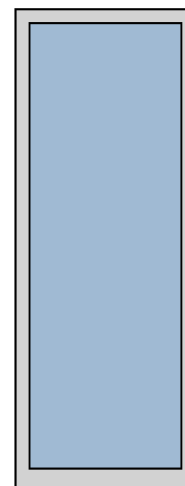
### 3.4.7. Dati e risultati dei componenti finestrati

Di seguito si riportano i dati e i risultati dei principali componenti finestrati utilizzati per definire l'involucro termico. In Appendice D si fornisce una tabella riassuntiva di tutti i componenti finestrati inseriti in EC700.

#### W1 – Porta vetro con persiana 1

Componente finestrato tipo T

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,837</b>	
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,5</b>	
Fattore tendaggi (energia estiva)	$F_{C,est}$	<b>0,8</b>	
Fattore tendaggi (energia invernale)	$F_{C,inv}$	<b>0,1</b>	
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,391</b>	
Dimensioni del serramento (Larghezza x Altezza)	$LxH$	<b>90x240</b>	cm
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,79</b>	
Resistenza termica chiusure		<b>0,22</b>	m <sup>2</sup> K/W
Fshut	$F_{shut}$	<b>0,6</b>	
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,5</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza lineica distanziatore	$K_d$	<b>0,08</b>	W/mK
Trasmittanza termica solo vetro	$U_g$	<b>0,9</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo energia)	$U_e$	<b>1,087</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo potenza)	$U_p$	<b>1,249</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>1,4</b>	W/m <sup>2</sup> K



#### Stratigrafia

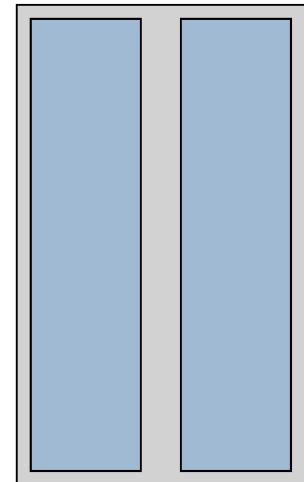
Descrizione strato	s	$\lambda$	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041



#### Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,837</b>	
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,5</b>	
Fattore tendaggi (energia estiva)	$F_{C,est}$	<b>0,8</b>	
Fattore tendaggi (energia invernale)	$F_{C,inv}$	<b>0,1</b>	
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,391</b>	
Dimensioni del serramento (Larghezza x Altezza)	$L \times H$	<b>90x150</b>	cm
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,73</b>	
Resistenza termica chiusure		<b>0,22</b>	m <sup>2</sup> K/W
Fshut	$F_{shut}$	<b>0,6</b>	
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,5</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza lineica distanziatore	$K_d$	<b>0,08</b>	W/mK
Trasmittanza termica solo vetro	$U_g$	<b>0,9</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo energia)	$U_e$	<b>1,262</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo potenza)	$U_p$	<b>1,481</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>1,4</b>	W/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

Descrizione strato	s	$\lambda$	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041

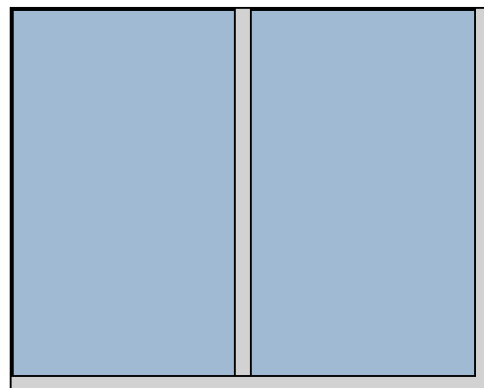


Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W



Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b>	°C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,837</b>	
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,5</b>	
Fattore tendaggi (energia estiva)	$F_{C,est}$	<b>0,8</b>	
Fattore tendaggi (energia invernale)	$F_{C,inv}$	<b>0,1</b>	
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,391</b>	
Dimensioni del serramento (Larghezza x Altezza)	$L \times H$	<b>300x240</b>	cm
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,89</b>	
Resistenza termica chiusure		<b>0</b>	m <sup>2</sup> K/W
Fshut	$F_{shut}$	<b>0,6</b>	
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,5</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza lineica distanziatore	$K_d$	<b>0,08</b>	W/mK
Trasmittanza termica solo vetro	$U_g$	<b>0,9</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo energia)	$U_e$	<b>1,131</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo potenza)	$U_p$	<b>1,132</b>	W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>1,4</b>	W/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

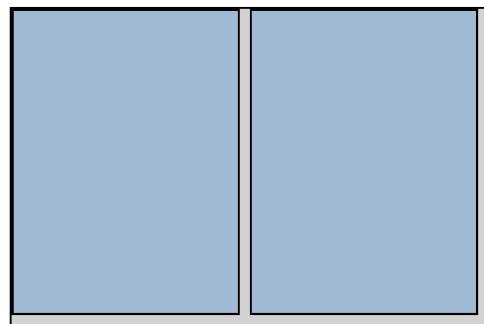
Descrizione strato	s	$\lambda$	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041



Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b> °C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,837</b>
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,5</b>
Fattore tendaggi (energia estiva)	$F_{C,est}$	<b>0,8</b>
Fattore tendaggi (energia invernale)	$F_{C,inv}$	<b>0,1</b>
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,391</b>
Dimensioni del serramento (Larghezza x Altezza)	$L \times H$	<b>360x240</b> cm
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,90</b>
Resistenza termica chiusure		<b>0</b> m <sup>2</sup> K/W
Fshut	$F_{shut}$	<b>0,6</b>
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,5</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza lineica distanziatore	$K_d$	<b>0,08</b> W/mK
Trasmittanza termica solo vetro	$U_g$	<b>0,9</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo energia)	$U_e$	<b>1,108</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo potenza)	$U_p$	<b>1,109</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>1,4</b> W/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

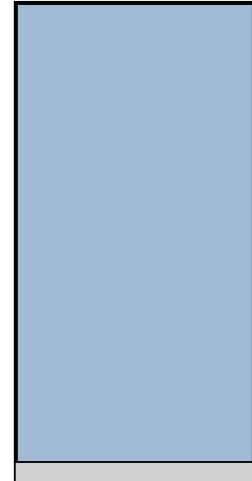
Descrizione strato	s	$\lambda$	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041



Legenda simboli

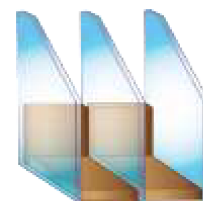
s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W

Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	$\theta$	<b>-6</b> °C
Emissività	$\varepsilon$	<b>0,837</b>
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	<b>0,5</b>
Fattore tendaggi (energia estiva)	$F_{C,est}$	<b>0,8</b>
Fattore tendaggi (energia invernale)	$F_{C,inv}$	<b>0,1</b>
Fattore trasmissione solare totale	$g_{gl+sh}$	<b>0,391</b>
Dimensioni del serramento (Larghezza x Altezza)	$L \times H$	<b>120x240</b> cm
Fattore di forma	$F_f$	<b>0,94</b>
Resistenza termica chiusure		<b>0</b> m <sup>2</sup> K/W
Fshut	$F_{shut}$	<b>0,6</b>
Trasmittanza termica telaio	$U_f$	<b>1,5</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza lineica distanziatore	$K_d$	<b>0,08</b> W/mK
Trasmittanza termica solo vetro	$U_g$	<b>0,9</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo energia)	$U_e$	<b>1,13</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica serramento (calcolo potenza)	$U_p$	<b>1,131</b> W/m <sup>2</sup> K
Trasmittanza termica edificio di riferimento (zona E)	$U$	<b>1,4</b> W/m <sup>2</sup> K



Stratigrafia

Descrizione strato	s	$\lambda$	R
Resistenza superficiale interna	-	-	0,13
Primo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Secondo vetro	4	1	0,004
Intercapedine	-	-	0,464
Terzo vetro	4	1	0,004
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,041



Legenda simboli

s	Spessore	mm
$\lambda$	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m <sup>2</sup> K/W

### 3.5. MASCHERA INPUT GRAFICO

Nella maschera *Input grafico* è possibile disegnare un modello BIM dell'edificio di progetto al fine di determinare automaticamente le superfici disperdenti dei singoli locali e dell'intero fabbricato. Inoltre, si caratterizzano le zone termiche, locali climatizzati e locali non climatizzati inserendo le temperature interne, gli apporti interni e i ricambi d'aria. Infine, è possibile definire gli ostacoli propri dell'edificio, come i balconi, o dovuti da elementi esterni, come edifici vicini e alberi, che generano ombreggiamenti.

In seguito dell'importazione del file .IFC, eseguito al *Paragrafo 3.3.*, gran parte del modello risulta già definito [Figura 3.19]. È stato però necessario eseguire alcune correzioni in quanto non si sono ritrovati tutti gli elementi inseriti nel modello BIM di Revit. In particolare, i serramenti alcuni sono stati disegnati come muri indefiniti segnalati dal software come strutture non disperdenti. Si è, quindi, andati a sostituire questi oggetti con i pertinenti componenti finestrati. Inoltre, elementi come terrazze, alberi e edifici vicini è stato opportuno disegnarli in EC700.

Ciascun locale è determinato dalle strutture che compongono il suo personale involucro: muri, pavimento e soffitto. Ogni componente deve essere posizionato nel modo corretto a seconda del tipo che lo identifica e degli ambienti con cui si interfaccia. Il soffitto di un locale corrisponde al pavimento di quello al piano superiore, ma non è lo stesso componente; pertanto, per ogni orizzontamento che divide due piani deve essere creato, con la medesima stratigrafia e tipologia, sia un componente pavimento che un componente soffitto. Se una struttura di un locale climatizzato confina con due o più locali non climatizzati, che per i motivi detti precedentemente hanno temperature interne diverse, è necessario dividere l'elemento e creare due o più componenti distinti da associare ai locali non climatizzati.

Le zone termiche e i locali climatizzati sono già stati individuati per ciascun appartamento dell'edificio di progetto nella fase di importazione del file .IFC [Figura 3.18]. Al piano terra si hanno solo locali non climatizzati, così come lo sono gli atri di ingresso, i vani scala e gli ascensori [Figura 3.19]. Le strutture che separano un locale non climatizzato da un altro non sono componenti con caratteristiche termiche. Il software li segnala semplicemente come strutture non disperdenti.

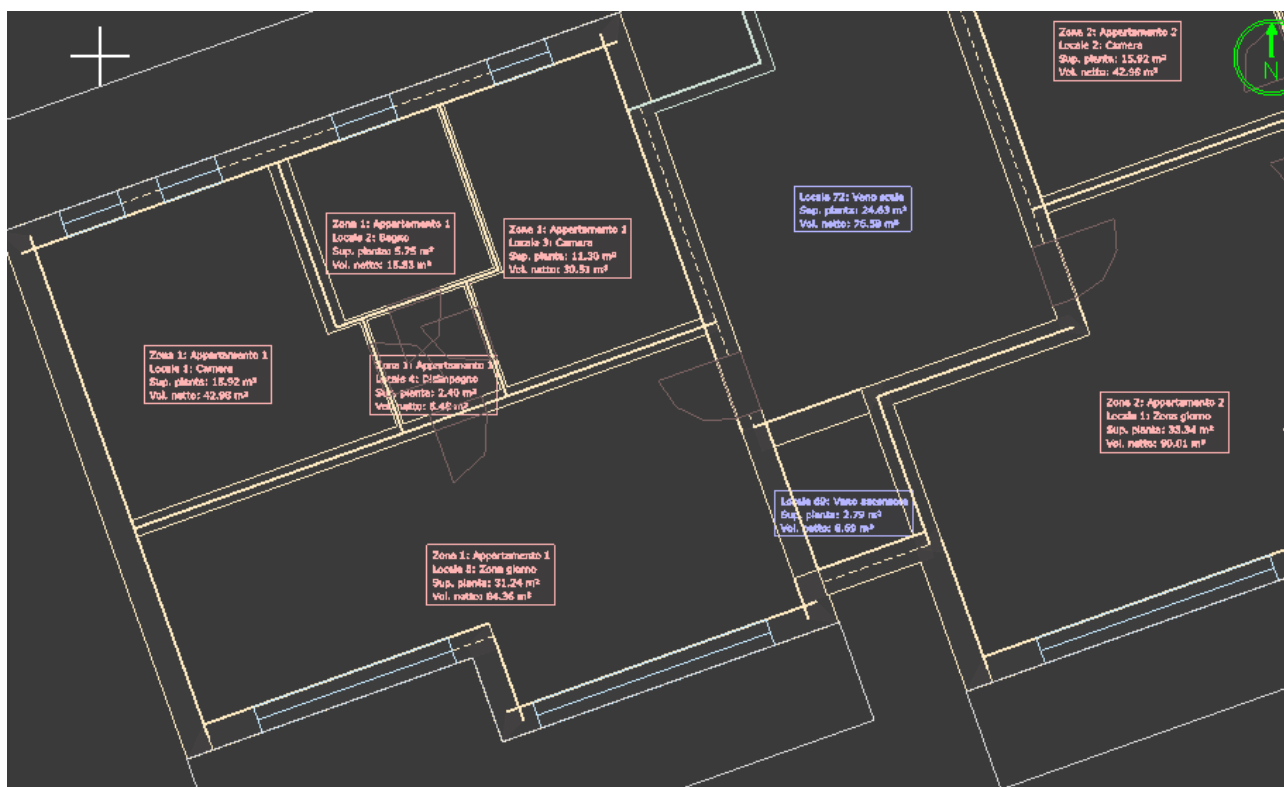


Figura 3.18 – Visualizzazione grafica dei locali climatizzati di Edilclima. [Fonte: elaborazione dell'autore]

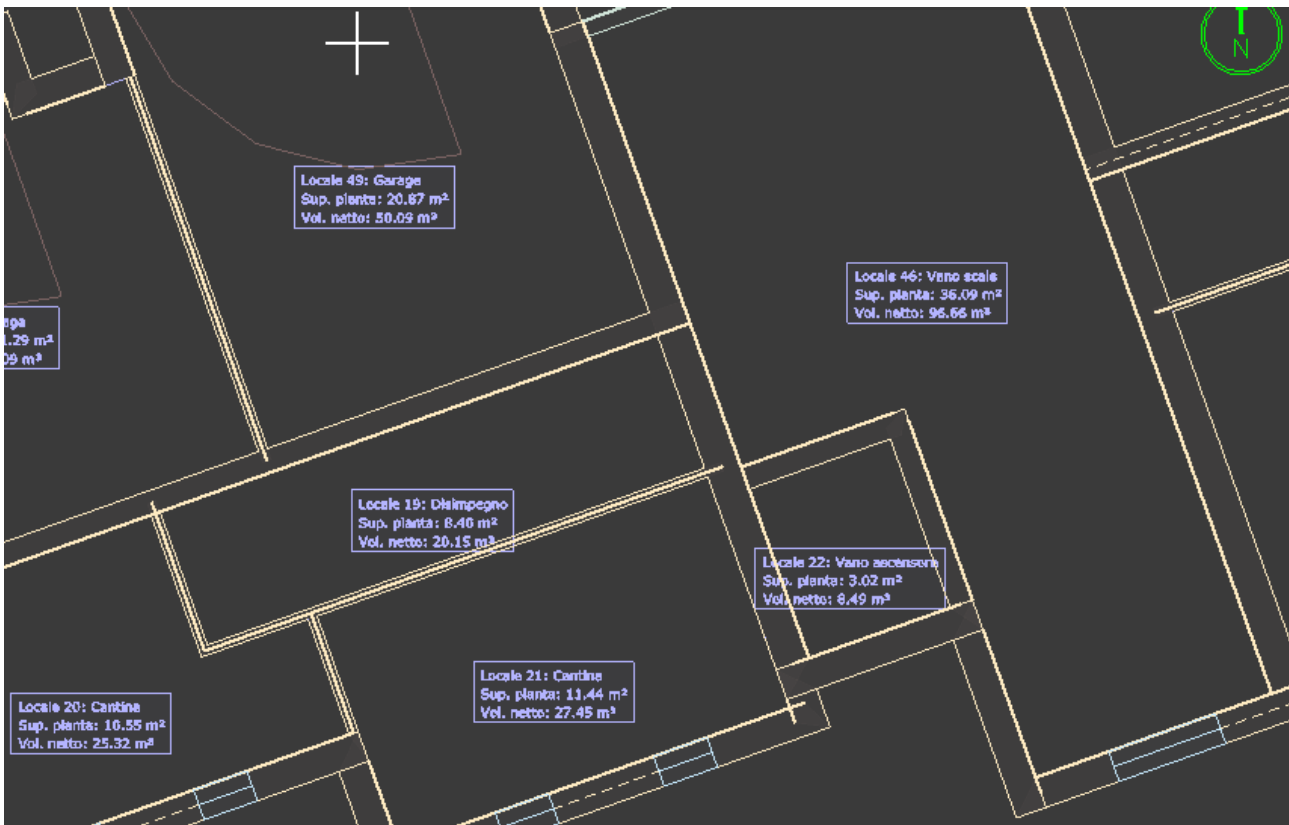


Figura 3.19 – Visualizzazione grafica dei locali non climatizzati di Edilclima. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Selezionando un locale non climatizzato è possibile impostare alcuni dati [Figura 3.20]:

- Apporti interni. Questi sono forme di calore generato da sorgenti interne all'ambiente, diverse dal riscaldamento, quali ad esempio gli occupanti o le apparecchiature. Non essendo i locali in questione abitabili e ipotizzando la presenza di alcun tipo di dispositivo, si inserisce come valore  $0 \text{ W/m}^2$ .
- Ricambio d'aria verso l'esterno, per il quale il software fornisce alcune misure in funzione della tenuta all'aria: queste vanno da  $0 \text{ Vol/h}$  nel caso non ci sia alcuna apertura di ventilazione, né serramenti o porte e tutti i giunti sono ben sigillati, a  $10 \text{ Vol/h}$  nel caso ci siano ampie aperture di ventilazione permanenti e molti giunti aperti. Per tutti i locali non climatizzati si imposta un valore pari a  $0,5 \text{ Vol/h}$  che corrisponde a locali con porte o finestre e tutti i giunti tra gli elementi ben sigillati.
- Ricambio d'aria verso l'ambiente climatizzato. L'unica apertura sui locali non climatizzati è la porta d'ingresso di ciascun appartamento e si suppone che non ci sia alcun ricambio d'aria fra i due ambienti.
- Temperatura interna dei locali riscaldati adiacenti, che corrisponde alla temperatura da normativa di  $20^\circ\text{C}$ .

Figura 3.20 – Scheda Dati locale non climatizzato di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Selezionando un locale climatizzato è possibile impostare i dati della zona termica a cui è associato e i suoi dati propri.

Come già accennato ciascuna zona termica è identificata col nome “Appartamento” seguito da un numero progressivo da 1 a 22. Nella relativa scheda dei dati [Figura 3.21], oltre al numero e alla descrizione, si definiscono:

- Categoria in funzione della classificazione data dal DPR 312/1993. Il dato è già impostato per ciascun appartamento su E.1 (1) – Edifici adibiti a residenza e assimilabili: abitazioni adibite a residenza con carattere continuativo, quali abitazioni civili e rurali.
- Numero di appartamenti. Nel caso di una zona termica che si estende a più appartamenti si inserisce il loro numero esatto. Nell’edificio di progetto tutti gli alloggi sono serviti dallo stesso impianto di riscaldamento, ma ognuno di loro ha la temperatura di regolazione interna indipendente. Si è deciso, quindi, di assegnare un appartamento ad ogni zona termica.
- Fattore di ripresa per il calcolo della potenza invernale. Questo dato serve per indicare la potenza aggiuntiva richiesta per compensare gli effetti del riscaldamento intermittente. Nell’edificio di progetto si è ipotizzato un impianto radiante a pavimento che lavora in modo continuo durante tutta la giornata, con una fase di attenuazione notturna. Per non aggravare troppo il calcolo della potenza invernale, reso già severo dalle normative, e non avendo informazioni sufficienti a determinare il fattore di ripresa, si è optato per lasciare a 0 W/m<sup>2</sup> il suo valore.

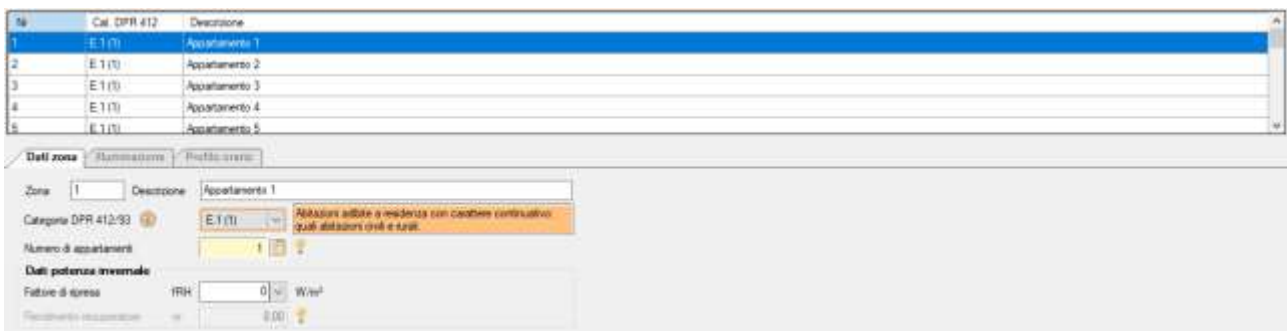


Figura 3.21 – Scheda Dati zona termica di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Nella scheda dati del locale climatizzato [Figura 3.22] è possibile impostare:

- Temperature interne per il calcolo della potenza invernale, energia invernale ed energia estiva. Per il calcolo dell’energia è necessario impostare i valori da normativa che per la categoria a cui appartiene l’edificio di progetto (E.1) corrisponde a 20°C per la stagione invernale e 26°C per la stagione estiva. Per la potenza invernale, EC700 propone dei valori in funzione della destinazione del locale. Per locali di abitazione e bagni si hanno rispettivamente temperature di 20°C e 24°C. In via semplificativa, si è optato nel considerare tutti gli ambienti alla stessa temperatura di 20°C (si ribadisce che tale dato serve solo per calcolare la potenza dell’impianto di riscaldamento e non influisce sul calcolo dell’energia).
- Ventilazione, dove è necessario specificare se è naturale o meccanica. In via semplificativa, si è optato per la ventilazione naturale.
- Metodo di calcolo per la determinazione delle dispersioni per ventilazione. Nel caso di ventilazione naturale la normativa prevede il calcolo con ricambi d’aria.
- Ricambi d’aria di riferimento per il calcolo della potenza invernale, energia invernale ed energia estiva. I valori dei ricambi d’aria per il calcolo delle energie sono definiti dalla normativa e sono in funzione del fattore correttivo  $f_{ve,t}$  (per abitazioni residenziali pari a 0,6) che moltiplica i ricambi d’aria adottati per il calcolo della potenza. Tale fattore rappresenta la frazione di tempo di quando si attua il flusso d’aria. I ricambi per il calcolo della potenza sono

in funzione della destinazione d'uso. Per locali normali il software propone un valore di 0,5 Vol/h. I ricambi d'aria per il calcolo delle energie, invece, per tutti i locali sono pari a 0,3 Vol/h.

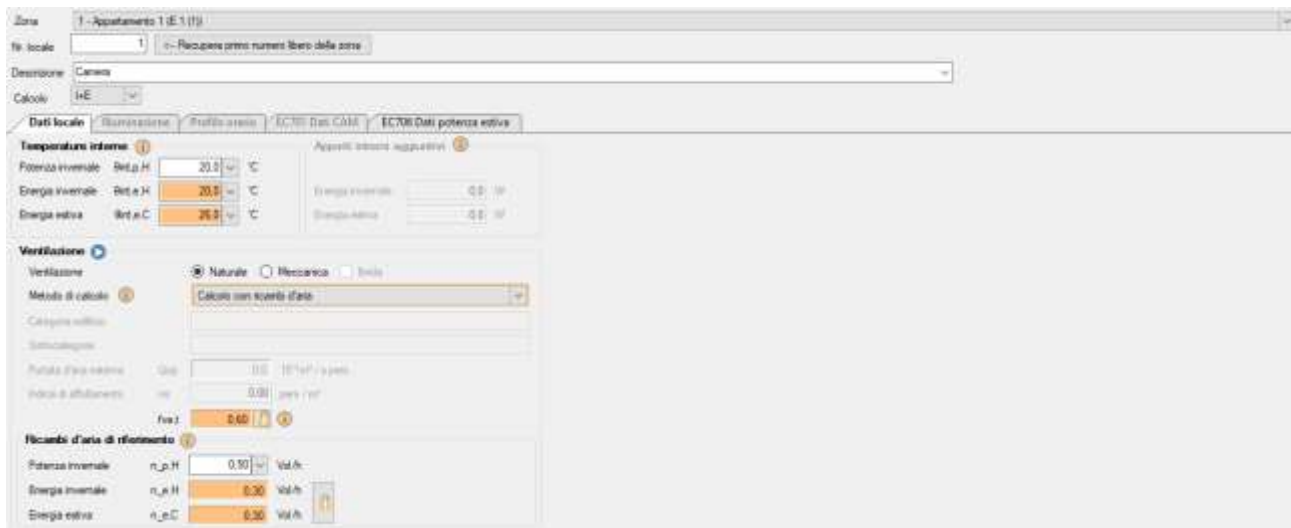


Figura 3.22 – Scheda Dati locale climatizzato di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Determinate le zone termiche, i locali climatizzati e quelli non climatizzati, si è passato alla definizione degli ostacoli che generano gli ombreggiamenti. Il software già conosce la località del progetto (impostata nel *Paragrafo 3.2.2.* sui dati climatici) e il nord è impostato di default verso l'alto. Questo coincide con quello utilizzato nella modellazione in ambiente Revit, pertanto con l'importazione del file .IFC si ha già il corretto orientamento dell'edificio di progetto.

Gli ostacoli che si possono inserire in EC700 sono tre: edifici vicini, alberi e balconi. Il programma permette di estrapolare una ortofoto dell'area in cui è localizzato il progetto [Figura 3.23]. Tramite questa si sono definiti i principali edifici che possono causare ombreggiamenti, ovvero quelli già individuati al *Paragrafo 2.4.1.* sull'inquadramento del luogo, posti a sud del lotto d'intervento. Per l'esattezza gli edifici in questione sono tre e gli si è data l'altezza, rispettivamente da sinistra a destra, di 7 m, 11 m e 7 m.

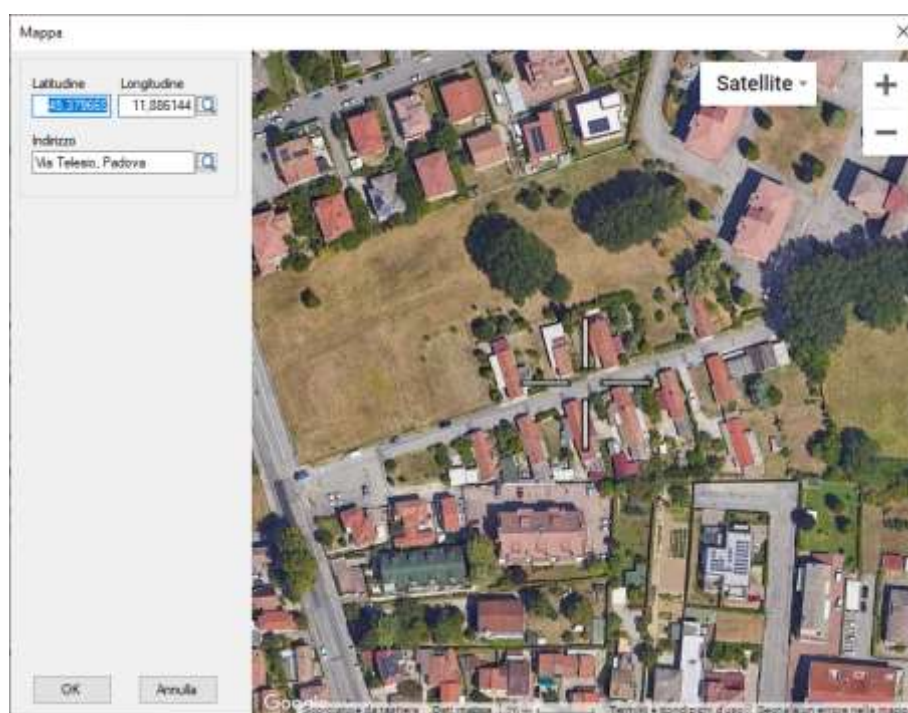
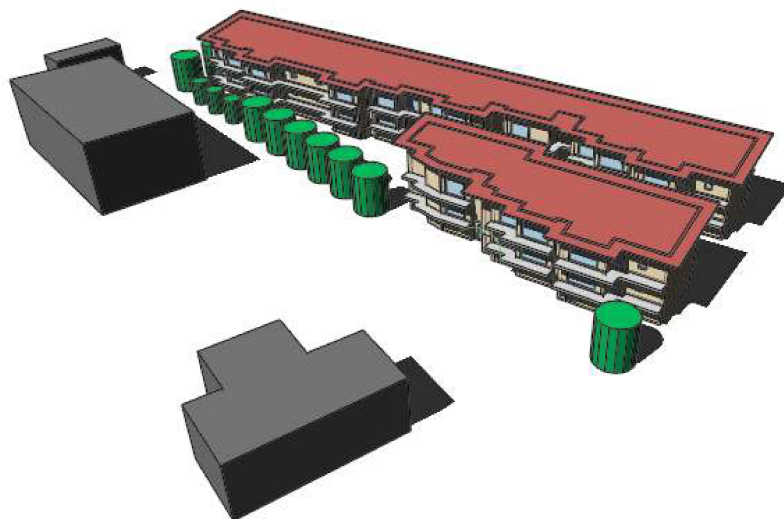


Figura 3.23 – Strumento Mappe di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Gli alberi di EC700 sono molto semplicemente definiti da un volume cilindrico. Si sono inseriti quelli utilizzati per definire l'arredo del giardino nella fase progettuale, di altezza più rilevante e posti a sud e a ovest dell'edificio. Le altezze variano da 4 m a 6 m. Inoltre, nelle proprietà di questi elementi, è possibile definire un profilo annuale di ombreggiamento. Ipotizzando alberi caducifoglio, si sono esclusi dal calcolo i mesi invernali.

Infine, per i balconi si è data la profondità da progetto delle terrazze, di 150 cm.



*Figura 3.24 – Vista 3D del modello disegnato nella maschera Input grafico di EC700, con gli edifici vicini (in grigio scuro), gli alberi (in verde) e i balconi (in grigio chiaro). [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Definito il modello e i volumi circostanti, si esegue il calcolo automatico degli ombreggiamenti. Selezionando, successivamente, qualunque elemento nello spazio di modellazione il software riporta il grafico solare con disegnato il profilo degli ombreggiamenti che sussistono su tale elemento. In *Figura 3.25* si riporta il diagramma solare di una vetrata posta a sud, dell'Appartamento 7 al piano primo del Blocco D, uno degli alloggi che più soffrono la mancanza di sole nel periodo invernale causata dall'oscuramento dovuto dal secondo fabbricato del complesso residenziale di progetto. Le tre curve colorate rappresentano il percorso del sole, rispettivamente dal basso all'alto, nel solstizio d'inverno, negli equinozi di primavera e autunno (le due curve coincidono) e nel solstizio d'estate. La curva nera rappresenta il giorno impostato nel programma. Le curve che intersecano quelle solari identificano le diverse ore del giorno. Nell'asse delle ascisse è riportato l'orientamento del sole, mentre nell'asse delle ordinate è riportata l'altezza angolare (rappresenta l'elevazione rispetto all'orizzonte) dell'ostacolo o del sole. Le aree tratteggiate rappresentano gli ombreggiamenti propri dell'edificio di progetto o causati dagli ostacoli esterni, ma non dai balconi o coperture. Per questi ultimi, se presenti, viene solamente riportato l'angolo di ostruzione  $\alpha$ . Nel caso di componenti finestrati, viene determinato anche l'angolo di ostruzione  $\beta$  che definisce la rientranza del serramento.



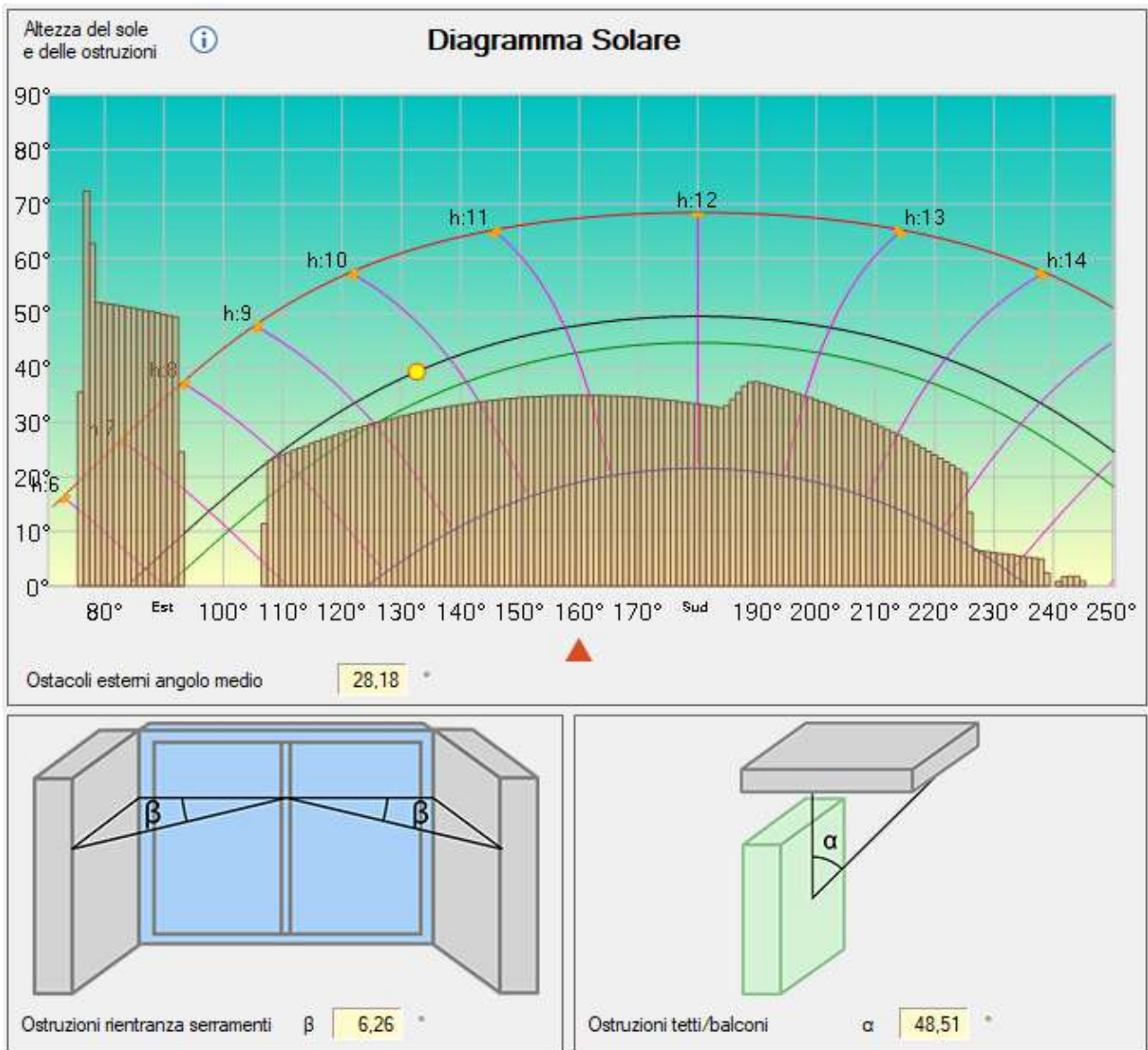


Figura 3.25 – Scheda Visualizza ombreggiamenti di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Infine, nella maschera *Input grafico* è possibile impostare una visualizzazione termografica del modello in funzione della trasmittanza termica calcolata per ciascun componente di progetto. Questa permette una valutazione qualitativa e di massima delle strutture maggiormente disperdenti.

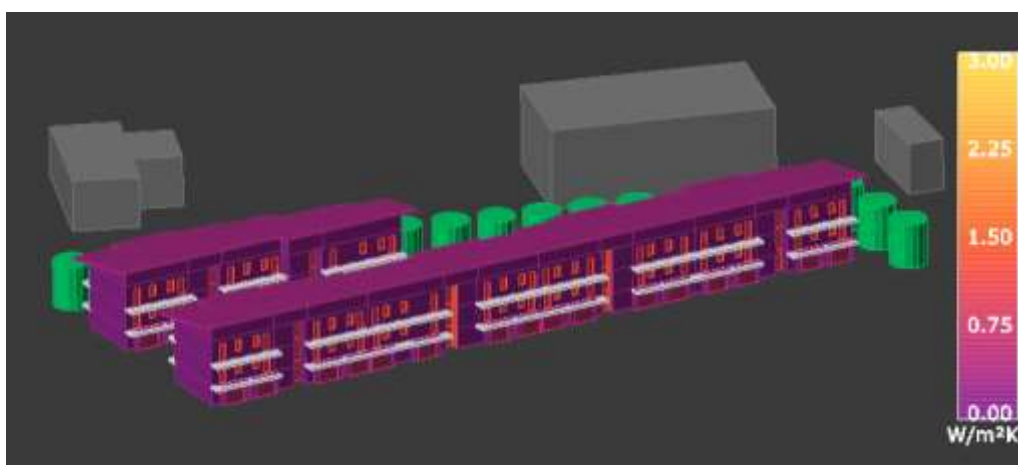


Figura 3.26 – Vista 3D del modello disegnato in visualizzazione termografica. [Fonte: elaborazione dell'autore]

A completare il quadro dell'input grafico, si riportano nelle figure seguenti le piante di ciascun livello dell'edificio oggetto di analisi. In queste vengono riportati, in particolare, i locali climatizzati e quelli non climatizzati tramite delle etichette che identificano il numero e la zona termica di appartenenza.

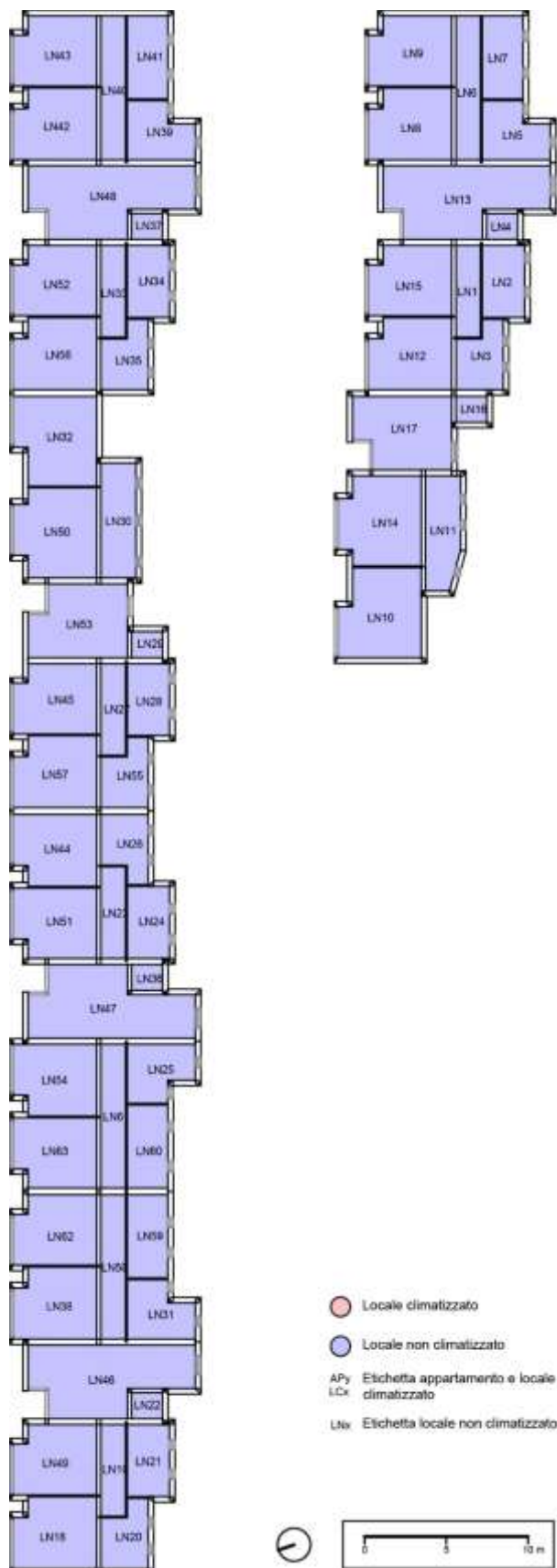


Figura 3.27 – Pianta P00 dei locali di Edilclima [Fonte: elaborazione dell'autore]

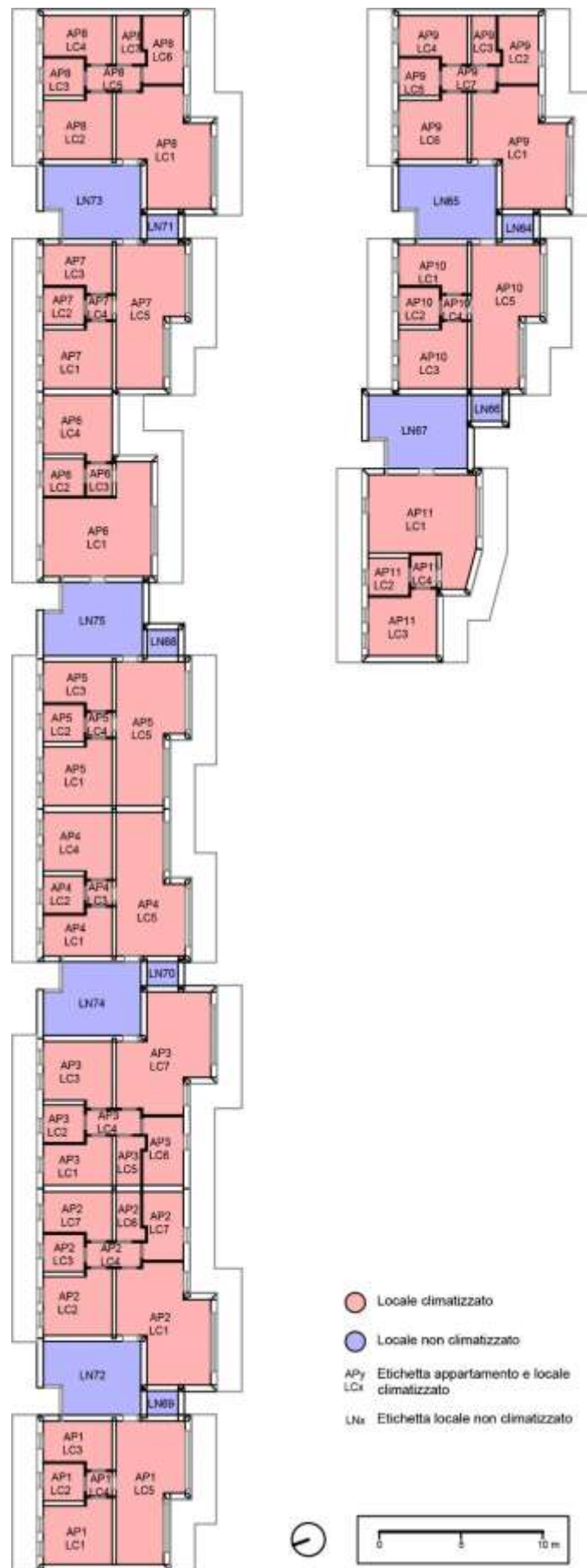


Figura 3.28 – Pianta P01 dei locali di Edilclima [Fonte: elaborazione dell'autore]



Figura 3.29 – Pianta P02 dei locali di Edilclima [Fonte: elaborazione dell'autore]

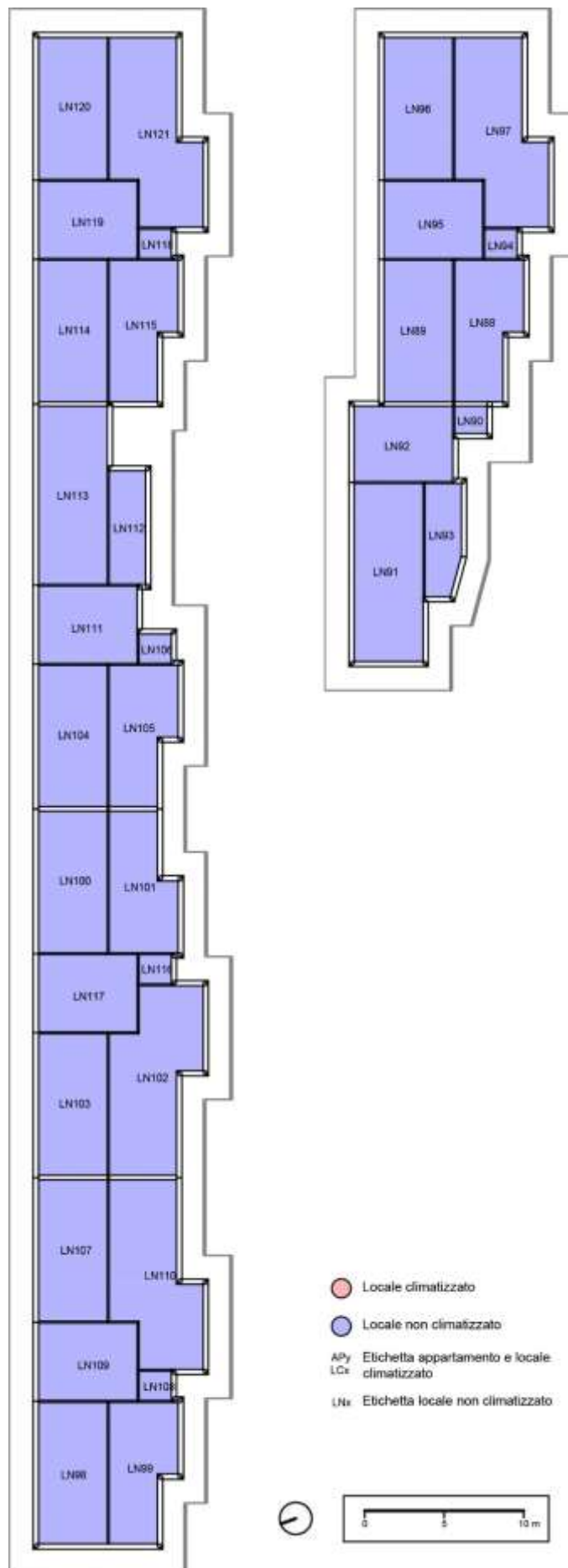


Figura 3.30 – Pianta Sottotetto dei locali di Edilclima [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 3.6. MASCHERA ZONE / LOCALI

Terminata la fase di modellazione grafica, si esegue la verifica e l'esportazione del lavoro fin qui svolto e si passa alla maschera *Zone / Locali*. Questa è composta dalla maschera *Serre / Locali non climatizzati* e dalla maschera *Zone / Locali climatizzati*.

Nella maschera *Serre / Locali non climatizzati* viene visualizzata una tabella di riepilogo che mostra le caratteristiche principali dei locali non climatizzati inseriti, come la superficie utile, il volume netto e il fattore di correzione dell'ambiente non climatizzato  $b_{tr,U}$ .

In precedenza, si è detto che gli scambi di energia termica tra locali climatizzati e quelli non climatizzati avviene in funzione della differenza di temperatura  $\Delta T$ . Nelle UNI/TS 11300 questo flusso di calore è determinato passando attraverso dei coefficienti di scambio termico e il fattore di correzione dell'ambiente non climatizzato  $b_{tr,U}$ . La normativa calcola il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente esterno attraverso gli ambienti non climatizzati  $H_U$ , espresso in W/K, come:

$$H_U = H_{tr,iu} \times b_{tr,U} \quad (3.5)$$

dove:

- $H_{tr,iu}$  è il coefficiente di scambio termico per trasmissione tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato, espresso in W/K.

Il fattore di correzione dell'ambiente non climatizzato  $b_{tr,U}$  si calcola come:

$$b_{tr,U} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad (3.6)$$

dove:

- $H_{iu}$  è il coefficiente di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato;
- $H_{ue}$  è il coefficiente di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

Se la temperatura dell'ambiente non climatizzato tende alla temperatura dell'ambiente esterno, significa che il coefficiente di scambio termico  $H_{ue}$  ha un valore molto alto e prevale nella somma  $H_{iu} + H_{ue}$ . Di conseguenza il fattore  $b_{tr,U}$  tende a 1 e lo scambio termico tra ambiente climatizzato e ambiente non climatizzato, di fatto, avviene direttamente con l'ambiente esterno. Se, invece, nella somma  $H_{iu} + H_{ue}$  si ha  $H_{iu}$  che tende all'infinito, significa che la temperatura dell'ambiente non climatizzato tende alla temperatura dell'ambiente climatizzato e il coefficiente di scambio termico  $H_{iu}$  tra i due è molto elevato. Di conseguenza  $b_{tr,U}$  tende a 0 e  $H_U$  tende a 0 W/K.

Si riporta in *Tabella 3.3* parte della tabella di riepilogo dei locali non climatizzati dell'edificio di progetto. Si nota subito che alcuni locali hanno il fattore  $b_{tr,U}$  uguale a 1. Questo perché  $H_{iu}$  in questi ambienti è pari a 0, ovvero non c'è scambio di calore tra questi e gli ambienti climatizzati in quanto non sono confinanti tra loro. Il locale Nr. 4, ad esempio, è la porzione di vano ascensore che si trova al piano terra circondato da cantine, vano scala ed esterno ai lati, inferiormente dal terreno e superiormente da un'altra porzione di vano ascensore.

Esclusi questi locali atipici con  $b_{tr,U}$  pari a 1, si nota che i vani scala generalmente hanno valore tendente all'1. Questi locali infatti costituiscono l'atrio d'ingresso nel quale si trova una facciata continua con moduli vetrati molto ampia. Infine, risalta all'occhio la differenza tra i  $b_{tr,U}$  dei locali al piano terra e quelli al piano del sottotetto. Questi ultimi hanno valori di circa il 10÷20% in meno rispetto ai primi.

Tabella 3.3 – Parte della tabella di riepilogo delle caratteristiche principali dei locali non climatizzati dell'edificio di progetto. [Fonte: Edilclima]

Nr.	Descrizione	Superficie utile	Volume netto	$b_{tr,U}$
		(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(-)
1	Disimpegno	8,4	20,16	0,71
2	Cantina	11,44	27,46	0,97
3	Cantina	10,55	25,32	0,79
4	Vano ascensore	3,02	8,49	1
5	Cantina	12,72	30,53	0,78
6	Disimpegno	13,2	31,68	0,73
7	Cantina	12,7	30,48	0,8
8	Garage	21,29	51,1	0,82
9	Garage	20,87	50,09	0,83
10	Garage	25,91	62,18	0,83
11	Disimpegno	14,26	34,22	0,8
12	Garage	21,29	51,1	0,82
13	Vano scale	36,09	96,67	0,93
14	Garage	25,91	62,18	0,81
15	Garage	20,87	50,09	0,83
16	Vano ascensore	3,02	8,49	1
17	Vano scale	25,05	70,39	1
18	Garage	21,29	51,1	0,83
96	Sottotetto	38,67	69,47	0,72
97	Sottotetto	53,88	49,16	0,68
98	Sottotetto	38,67	69,47	0,72
99	Sottotetto	32,95	34,87	0,69
100	Sottotetto	38,67	69,47	0,71
101	Sottotetto	32,95	34,87	0,68
102	Sottotetto	53,88	49,16	0,67
103	Sottotetto	38,67	69,47	0,71

Nella maschera *Zone / Locali climatizzati* viene riportata una tabella riepilogativa delle zone termiche dell'edificio con i dati relativi a superficie netta, volume lordo e superficie lorda disperdente verso l'esterno o ambienti non climatizzati [Tabella 3.4].

Tabella 3.4 – Tabella di riepilogo delle caratteristiche dimensionali delle zone termiche dell'edificio di progetto. [Fonte: Edilclima]

Nr.	Cat. DPR 412	Descrizione	Superficie netta	Volume lordo	Superficie lorda
			(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1	E.1 (1)	Appartamento 1	66,61	280,43	210,67
2	E.1 (1)	Appartamento 2	86,28	353,72	231,08
3	E.1 (1)	Appartamento 3	86,28	353,72	231,08
4	E.1 (1)	Appartamento 4	66,59	275,29	180,9
5	E.1 (1)	Appartamento 5	66,61	275,3	180,89
6	E.1 (1)	Appartamento 6	61,33	255,13	187,16
7	E.1 (1)	Appartamento 7	66,61	277,44	193,5
8	E.1 (1)	Appartamento 8	86,28	359,61	265,08
9	E.1 (1)	Appartamento 9	86,5	360,34	265,54
10	E.1 (1)	Appartamento 10	66,61	280,63	208,83

11	E.1 (1)	Appartamento 11	60,5	254,71	203,3
12	E.1 (1)	Appartamento 12	66,61	272,79	206,61
13	E.1 (1)	Appartamento 13	86,24	344,06	225,82
14	E.1 (1)	Appartamento 14	86,24	344,06	225,82
15	E.1 (1)	Appartamento 15	66,61	267,8	177,59
16	E.1 (1)	Appartamento 16	66,61	267,81	176,95
17	E.1 (1)	Appartamento 17	61,32	248,11	182,62
18	E.1 (1)	Appartamento 18	66,61	269,82	188,98
19	E.1 (1)	Appartamento 19	86,24	349,78	258,95
20	E.1 (1)	Appartamento 20	86,24	349,78	258,95
21	E.1 (1)	Appartamento 21	66,61	273	204,82
22	E.1 (1)	Appartamento 22	60,49	247,77	199,86

Selezionando una zona termica è possibile impostare il valore degli apporti interni. In caso di calcolo regolamentare è necessario adottare il valore da legge. Questo è in funzione della categoria dell'edificio, E.1 (1), e della superficie utile di pavimento  $A_u$ . Per  $A_u \leq 120 m^2$ , gli apporti interni  $\Phi_{int}$ , espressi in W, si calcolano come:

$$\Phi_{int} = 7,987 \times A_u - 0,0353 \times A_u^2 \quad (3.7)$$

Selezionando un locale climatizzato è possibile modificare nuovamente i dati di input che lo riguardano. Inoltre, si dispone della scheda *Strutture disperdenti* dove vengono elencati tutte le strutture che concorrono alle dispersioni per trasmissione, compresi eventuali ponti termici. Nella parte destra sono riportate le dispersioni parziali totali del locale climatizzato, dovute a trasmissione, ventilazione e intermittenza, per la potenza invernale. Si analizzeranno più dettagliatamente questi risultati nel paragrafo successivo.

Elenco strutture										
	+/-	Cod.	Esp.	Omb.	Superficie [m <sup>2</sup> ] o lunghezza [m]	Risultato [m <sup>2</sup> o m <sup>3</sup> ]	Sup. calc. [m <sup>2</sup> ]	T. Est. [°C]	U [W/m <sup>2</sup> K]	$\Phi_{tr}$ [W]
1	-	W1	N		2,16	2,16	2,16	-6,0	1,249	84
2	-	W2	N		1,35	1,35	1,35	-6,0	1,481	62
3	+	M1	N		13,74	13,74	10,23	-6,0	0,165	53
4	+	M8	-		9,76	9,76	9,76	-	0,148	-
5	+	M7	-		1,33	1,33	1,33	-	0,572	-
6	-	M...	-		1,68	1,68	1,68	-	0,771	-
7	+	M7	-		5,88	5,88	4,20	-	0,572	-
8	+	M6	-		15,07	15,07	15,07	-	0,292	-
9	+	M1	O		15,65	15,65	15,65	-6,0	0,165	74
10	+	P20	OR		20,27	20,27	20,27	-1,6	0,236	103
11	+	S1	OR		20,27	20,27	20,27	14,3	0,244	28

$\Phi_{tr}$  405 W

$\Phi_{ve}$  186 W

$\Phi_{rh}$  0 W

$\Phi_{hl}$  591 W

Figura 3.31 – Scheda Strutture disperdenti di un locale climatizzato di Edilclima. [Fonte: Edilclima]



## 3.7. MASCHERA RISULTATI FABBRICATO

### 3.7.1. Nozioni generali

La definizione data dalle UNI/TS 11300 di fabbricato è il sistema costituito dalle strutture edilizie esterne che delimitano uno spazio di volume definito e dalle strutture interne che ripartiscono detto volume, esclusi gli impianti e i dispositivi tecnologici che si trovano al suo interno<sup>21</sup>.

Nella maschera *Risultati fabbricato* si trovano le schede *Potenza invernale*, *Energia invernale*, *Energia estiva* e *Trasmittanze medie* che riportano tutti i risultati, parziali e totali, di potenza, energie e trasmittanze medie dell'intero edificio.

Ai fini della presente analisi, particolare rilievo hanno le energie invernale ed estiva. Per l'esattezza, nelle pertinenti schede della maschera *Risultati fabbricato*, vengono calcolati i fabbisogni ideali di energia termica utile per riscaldamento o raffrescamento, rispettivamente  $Q_{H,nd}$  e  $Q_{C,nd}$ . Da queste si ricavano i relativi indici di prestazione termica utile  $EP_{H,nd}$  e  $EP_{C,nd}$  che, secondo il DM 26/06/2015, devono essere confrontati e verificati con gli indici prestazionali determinati per l'edificio di riferimento,  $EP_{H,nd,limite}$  e  $EP_{C,nd,limite}$ . Inoltre, queste forme di energia sono necessarie al calcolo dei rendimenti dei sistemi impiantistici per le verifiche di legge.

A questo punto è opportuno fare chiarezza sulle diverse forme di energia che si riscontrano nei diversi calcoli dell'analisi energetica. Si riportano di seguito le definizioni date dal Dlgs 192/2005 e dalle UNI/TS 11300, fornendo in taluni casi un'interpretazione e chiarimento personale al loro significato:

- *Energia consegnata o fornita*. Energia espressa per vettore energetico finale, fornita al confine dell'edificio agli impianti tecnici per produrre energia termica o elettrica per i servizi energetici dell'edificio.
- *Energia da fonti rinnovabili*. Energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas.
- *Energia prodotta in situ*. Energia prodotta o captata o prelevata all'interno del confine del sistema.
- *Energia primaria*. Energia, da fonti rinnovabili e non rinnovabili, che non ha subito alcun processo di conversione o trasformazione.  
Sono le fonti di energia presenti in natura, esauribili (carbone fossile, petrolio greggio, gas naturale, ...) o rinnovabili (solare, eolica, geotermica, idraulica, ...).
- *Energia secondaria*. Fonti che derivano dalla trasformazione di una fonte energetica primaria o da successive trasformazioni delle fonti secondarie.  
Un tipico esempio di fonte secondaria è l'energia elettrica, in quanto deriva dalla trasformazione dell'energia meccanica o chimica o altro.
- *Fabbisogno annuale globale di energia primaria*. Quantità di energia primaria relativa a tutti i servizi considerati nella determinazione della prestazione energetica, erogata dai sistemi tecnici presenti all'interno del confine del sistema, calcolata su un intervallo temporale di un anno.
- *Fabbisogno dell'energia primaria dell'edificio*. Energia primaria utilizzata per produrre l'energia fornita ai sistemi tecnici relativi a tutti i servizi presenti dell'edificio e si calcola in base alle quantità consegnate dei vettori energetici complessivamente impiegati utilizzando fattori di conversione.  
È il vettore energetico che viene introdotto al confine del sistema edificio-impianto o prodotto in situ, valutato sotto forma di energia primaria attraverso opportuni fattori di conversione di tale vettore.

---

<sup>21</sup> (UNI 2014)

- Fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento o raffrescamento. Fabbisogno di energia termica riferito a condizioni di temperatura dell'aria uniforme in tutto l'ambiente. Rappresenta l'energia termica dispersa dal solo fabbricato e, quindi, prodotta e in uscita dal sistema di generazione per mantenere la temperatura dell'aria costante e uniforme in tutto l'ambiente, senza tenere conto delle perdite e recuperi dei sistemi impiantistici.
- Fabbisogno di energia termica utile per riscaldamento o raffrescamento. Quantità di calore che deve essere fornita o sottratta ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate durante un dato periodo di tempo. È l'energia termica che effettivamente esce dal sistema di generazione e viene distribuito nell'edificio per mantenere le condizioni di temperatura desiderate, tenendo conto delle perdite e recuperi dei sistemi impiantistici.
- Fattore di conversione in energia primaria. Rapporto adimensionale che indica la quantità di energia primaria impiegata per produrre un'unità di energia fornita, per un dato vettore energetico; tiene conto dell'energia necessaria per l'estrazione, la lavorazione, lo stoccaggio, il trasporto, la generazione, la trasformazione e altre operazioni necessarie per la consegna all'edificio in cui viene utilizzata. Si tratta di un fattore che valuta il peso del vettore energetico fornito all'edificio in energia primaria. Tali fattori sono definiti dal DM 26/06/2015 (vedi *Paragrafo 1.12.1.*).
- Vettore energetico. Particolare forma di energia che può essere trasportata, scambiata, venduta e comprata. È una forma di energia secondaria che si presta a essere veicolata (spesso mediante apposite reti) fino al luogo di utilizzazione. Sono vettori energetici l'elettricità, i combustibili solidi, liquidi o gassosi, il vapore, l'acqua calda e altri ancora.

### 3.7.2. Potenza invernale

Il calcolo della potenza invernale è utile al solo fine di dimensionamento dell'impianto di riscaldamento. È opportuno, però, analizzare i risultati che ne sono conseguiti, al fine di individuare eventuali anomalie e strutture particolarmente disperdenti.

In EC700 la potenza invernale viene calcolata secondo la UNI EN 12831. La potenza è un'energia nell'unità di tempo e, nello specifico, corrisponde all'energia dispersa attraverso l'involucro per trasmissione, ventilazione ed effetto intermittenza nell'unità di tempo, nel periodo invernale:

$$\Phi_{hl} = \Phi_{tr} + \Phi_{ve} + \Phi_{rh} \quad (3.8)$$

dove:

- $\Phi_{hl}$  è la dispersione totale, espressa in  $W$ ;
- $\Phi_{tr}$  è la dispersione per trasmissione, espressa in  $W$ ;
- $\Phi_{ve}$  è la dispersione per ventilazione, espressa in  $W$ ;
- $\Phi_{rh}$  è la dispersione per effetto intermittenza, espressa in  $W$ .

La dispersione per trasmissione è data dalla somma delle singole dispersioni calcolate per ciascun componente di ogni locale, in funzione di trasmittanza termica  $U_p$ , superficie disperdente e differenza di temperatura  $\Delta T$  tra ambiente interno ed esterno.

La dispersione per ventilazione dipende principalmente dai ricambi d'aria del locale, impostati al *Paragrafo 3.5.*

La dispersione per effetto intermittenza è in funzione del fattore di ripresa che, per i motivi esposti al *Paragrafo 3.5.*, si assume pari a 0. Pertanto, tale dispersione è nulla.

Si riportano di seguito i risultati, in forma tabellare e grafica, delle dispersioni dei locali di alcune zone termiche prese a campione, corrispondenti all'Appartamento 1 (alloggio per tre persone), Appartamento 6 (alloggio per due persone) e Appartamento 7 (alloggio per quattro persone).

Tabella 3.5 – Risultati delle dispersioni parziali e totali dei locali climatici degli Appartamenti 1, 6 e 9 dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Locale	Appartamento	Descrizione	$\theta_i$	$V$	$S$	$\Phi_{tr}$	$\Phi_{ve}$	$\Phi_{rh}$	$\Phi_{hl}$	$\Phi_{hl}(+5\%)$	Dispersione volumica (W/m <sup>3</sup> )
			(°C)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	
1	1	Camera	20	43	15,92	377	186	0	563	591	13,1
2	1	Bagno	20	15,5	5,75	136	67	0	203	213	13,1
3	1	Camera	20	30,5	11,3	253	132	0	386	405	12,7
4	1	Disimpegno	20	6,5	2,4	14	28	0	42	45	6,5
5	1	Zona giorno	20	84,3	31,24	855	366	0	1220	1281	14,5
1	6	Zona giorno	20	98,4	36,46	830	427	0	1256	1319	12,8
2	6	Bagno	20	15,5	5,75	135	67	0	202	212	13,0
3	6	Disimpegno	20	8,6	3,2	19	37	0	56	59	6,5
4	6	Camera	20	43	15,92	351	186	0	537	564	12,5
1	9	Zona giorno	20	90,6	33,56	738	393	0	1131	1187	12,5
2	9	Camera	20	27,5	10,2	226	119	0	345	363	12,5
3	9	Bagno	20	12,8	4,74	54	55	0	110	115	8,6
4	9	Camera	20	30,5	11,3	276	132	0	409	429	13,4
5	9	Bagno	20	15,5	5,75	136	67	0	203	213	13,1
6	9	Camera	20	43	15,92	348	186	0	535	561	12,4
7	9	Disimpegno	20	13,6	5,03	26	59	0	85	90	6,3

Legenda simboli

$\theta_i$	Temperatura interna del locale
$V$	Volume netto del locale
$S$	Superficie utile del locale
$\Phi_{tr}$	Dispersione per trasmissione del locale
$\Phi_{ve}$	Dispersione per ventilazione del locale
$\Phi_{rh}$	Dispersione per intermittenza del locale
$\Phi_{hl}$	Dispersione totale del locale
$\Phi_{hl}(+5\%)$	Dispersione totale del locale con fattore di sicurezza 5%

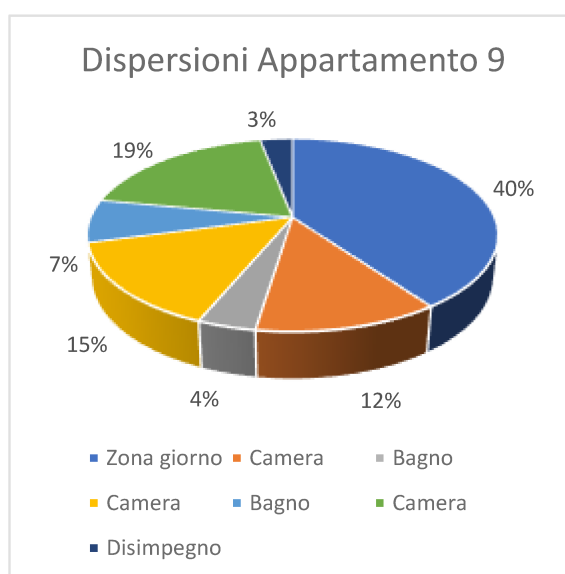
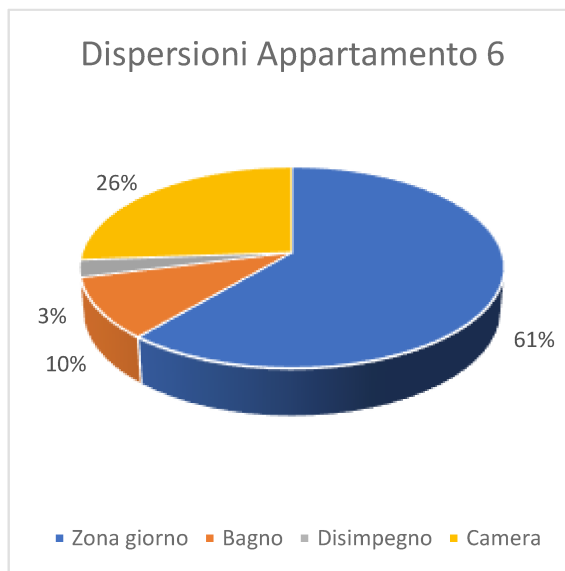
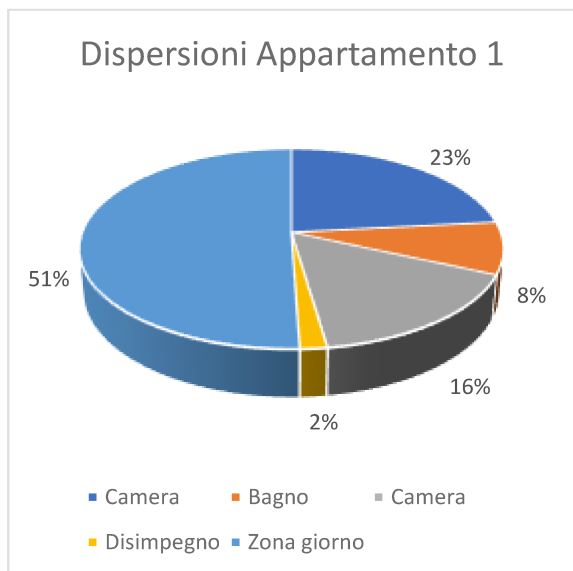


Grafico 3.1 – Rappresentazione delle percentuali di dispersione di ciascun locale climatizzato degli Appartamenti 1, 6 e 9. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Si nota subito che la principale dispersione avviene nelle zone giorno di ciascun appartamento. In prima impressione si direbbe che questo sia dovuto, oltre che dalla maggior ampiezza del locale, anche dalla presenza delle superfici vetrate. In realtà, ad esempio nell'Appartamento 1, se si sommano le dispersioni dei locali camere e bagno esposti a nord e si confrontano con quelle della zona giorno, la differenza non è poi così rilevante. Ciò è dovuto perché anche il prospetto nord presenta diverse aperture finestrate e le superfici dei due lati di esposizione verso l'esterno sono simili. Se si confrontano le dispersioni volumiche di ogni locale si nota, infatti, che il valore non varia molto, tranne che per i disimpegni dove si hanno numeri dimezzati.

In *Tabella 3.6* si riportano le dispersioni totali e specifiche al metro quadro dei principali componenti dell'involucro termico dell'edificio di progetto. Risalta subito la differenza di dispersione tra i componenti opachi e quelli finestrati, dovuta all'elevata trasmittanza di queste ultime. Si nota, inoltre, il divario tra i serramenti W1 e W2 e quelli seguenti. Ciò è dovuto principalmente al fattore di forma  $F_f$  e alla trasmittanza del telaio, che è più alta di quella del solo vetro (vedi *Paragrafo 3.4.7.*). Infatti, i due infissi in questione hanno il fattore  $F_f$  più basso delle altre, dovuto ad una maggiore superficie di telaio rispetto a quella del vetro. In altre parole, si è pensato a rendere le vetrate altamente performanti ma non il telaio.

*Tabella 3.6 – Risultati delle dispersioni totali e specifiche dei principali componenti di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Cod.	Tipo	Descrizione	$U$	$\theta_e$	Sup. Tot	$\Phi T$	Dispersione specifica
			(W/m <sup>2</sup> K)	(°C)	(m <sup>2</sup> )	(W)	(W/m <sup>2</sup> )
M1	T	Parete ventilata 1	0,165	-6	1489,4	7106	4,8
M9	U	Parete divisoria 1	0,156	-0,5	35,9	115	3,2
M10	U	Parete divisoria 1	0,156	7,6	14,5	28	1,9
M11	U	Parete divisoria 1	0,156	0,3	44,7	137	3,1
M12	U	Parete divisoria 1	0,156	7,6	14,7	28	1,9
M13	U	Parete divisoria 1	0,156	0,5	42,4	129	3,0
P2	U	Pavimento piano primo 1	0,236	-1,2	22,9	115	5,0
P3	U	Pavimento piano primo 1	0,236	-1,5	22,3	113	5,1
P4	U	Pavimento piano primo 1	0,236	1,5	10,1	44	4,4
S2	U	Pavimento piano sottotetto 1	0,196	1,6	44,3	159	3,6
S3	U	Pavimento piano sottotetto 1	0,196	1,2	45,1	167	3,7
W1	T	Porta vetro con persiana 1 - 90x240 cm	1,249	-6	95,0	3703	39,0
W2	T	Finestra con persiana 1 - 90x150 cm	1,481	-6	70,2	3160	45,0
W3	T	Porta vetrata scorrevole 1 - 300x240 cm	1,132	-6	100,8	2967	29,4
W4	T	Porta vetrata scorrevole 1 - 360x240 cm	1,109	-6	155,5	4485	28,8
W5	T	Vetrata fissa 1 - 120x240 cm	1,131	-6	23,0	677	29,4

#### Legenda simboli

- $U$  Trasmittanza termica di potenza del componente
- $\theta_e$  Temperatura esterna o del locale adiacente
- $\Phi T$  Dispersione totale del componente

In *Tabella 3.7* si riportano le dispersioni parziali e totali dei singoli appartamenti. Osservando in particolare la dispersione volumica si nota che non sussistono rilevanti differenze tra i vari alloggi a livello di dispersioni. Si ha un lieve calo di valori negli appartamenti del piano secondo (dal 12 al 22) rispetto ai corrispettivi del piano sotto. Inoltre, gli alloggi per quattro persone (numeri 2, 3, 8, 9, 13, 14, 19 e 20) sono in linea di massima più performanti degli altri. Infine, le unità abitative poste agli estremi dei due complessi (numeri 1, 8, 9, 11, 12, 19, 20 e 22) hanno una dispersione leggermente più elevata rispetto ai restanti, in quanto hanno una maggiore superficie esposta all'ambiente esterno.

*Tabella 3.7 – Risultati delle dispersioni parziali e totali delle zone termiche dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Zona	Descrizione	$V$	$\Phi_{tr}$	$\Phi_{ve}$	$\Phi_{rh}$	$\Phi_{hl}$	$\Phi_{hl}(+5\%)$	Dispersione volumica (W/m <sup>3</sup> )
		(m <sup>3</sup> )	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	
1	Appartamento 1	179,8	1635	779	0	2414	2535	14,1
2	Appartamento 2	233	1645	1009	0	2654	2787	12,0
3	Appartamento 3	233	1645	1009	0	2655	2787	12,0
4	Appartamento 4	179,8	1487	779	0	2266	2379	13,2
5	Appartamento 5	179,8	1493	779	0	2272	2386	13,3
6	Appartamento 6	165,6	1334	718	0	2052	2154	13,0
7	Appartamento 7	179,8	1548	779	0	2328	2444	13,6
8	Appartamento 8	233	1817	1009	0	2826	2968	12,7
9	Appartamento 9	233,5	1805	1012	0	2817	2958	12,7
10	Appartamento 10	179,8	1601	779	0	2380	2499	13,9
11	Appartamento 11	163,4	1415	708	0	2123	2229	13,6
12	Appartamento 12	179,8	1502	779	0	2281	2395	13,3
13	Appartamento 13	232,8	1467	1009	0	2476	2600	11,2
14	Appartamento 14	232,8	1468	1009	0	2477	2600	11,2
15	Appartamento 15	179,8	1360	779	0	2139	2246	12,5
16	Appartamento 16	179,8	1363	779	0	2142	2249	12,5
17	Appartamento 17	165,6	1211	718	0	1928	2025	12,2
18	Appartamento 18	179,8	1415	779	0	2194	2304	12,8
19	Appartamento 19	232,8	1636	1009	0	2645	2777	11,9
20	Appartamento 20	232,8	1636	1009	0	2645	2777	11,9
21	Appartamento 21	179,8	1468	779	0	2247	2360	13,1
22	Appartamento 22	163,3	1299	708	0	2007	2107	12,9

Legenda simboli

- $V$  Volume netto della zona
- $\Phi_{tr}$  Dispersione per trasmissione della zona
- $\Phi_{ve}$  Dispersione per ventilazione della zona
- $\Phi_{rh}$  Dispersione per intermittenza della zona
- $\Phi_{hl}$  Dispersione totale della zona
- $\Phi_{hl}(+5\%)$  Dispersione totale della zona con fattore di sicurezza 5%

In Tabella 3.8 si riportano le dispersioni totali e parziali dell'intero fabbricato di progetto, determinate nel calcolo della potenza invernale. Nel Grafico 3.2 si confrontano le dispersioni per trasmissione con quelle per ventilazione.

Tabella 3.8 – Risultati delle dispersioni parziali e totali dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

$V$	$\Phi_{tr}$	$\Phi_{ve}$	$\Phi_{rh}$	$\Phi_{hl}$	$\Phi_{hl}(+5\%)$	Dispersione volumica
(m <sup>3</sup> )	(W)	(W)	(W)	(W)	(W)	(W/m <sup>3</sup> )
4320,1	33248	18720	0	51968	<b>54567</b>	12,6

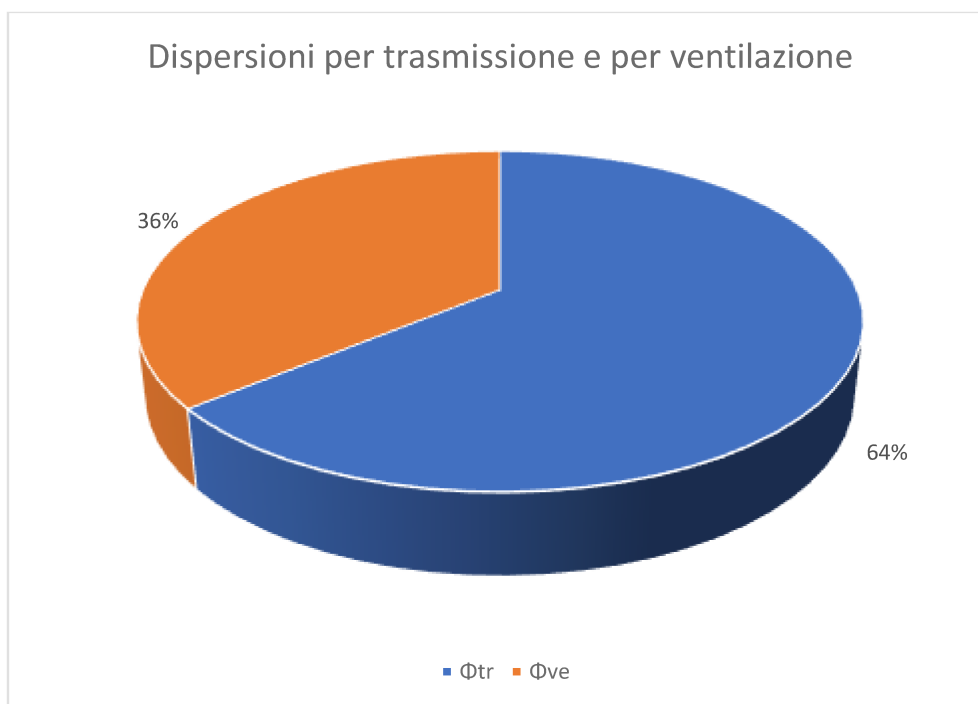


Grafico 3.2 – Rappresentazione delle percentuali di dispersione per trasmissione e per ventilazione dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

### 3.7.3. Energia invernale

Nella scheda *Energia invernale* viene riportato il fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento, calcolato come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \times Q_{gn} \quad (3.9)$$

dove:

- $Q_{H,nd}$  è il fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento, espresso in *KWh*;
- $Q_{H,ht}$  è lo scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento, espresso in *KWh*;
- $Q_{gn}$  sono gli apporti totali di energia termica, espressi in *KWh*;
- $\eta_{H,gn}$  è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica.

Il fattore di utilizzazione degli apporti  $\eta_{H,gn}$  è un parametro dinamico in funzione del rapporto  $Q_{gn}/Q_{H,ht}$  e della costante di tempo termica della zona termica  $\tau$ . Questa a sua volta è in funzione della capacità termica interna  $C_m$  e il coefficiente globale di scambio termico. In altre parole, il fattore di utilizzazione valuta gli apporti considerando la capacità delle strutture della zona termica di accumulare calore nelle ore più calde della giornata e di rilasciarlo nelle ore più fredde.

Lo scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento  $Q_{H,ht}$  si calcola come:

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} \quad (3.10)$$

dove:

- $Q_{H,tr}$  è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento, espresso in *KWh*;
- $Q_{H,ve}$  è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento, espresso in *KWh*.

Lo scambio di energia termica per trasmissione  $Q_{H,tr}$  tiene conto dello scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, dello scambio termico per trasmissione verso gli ambienti non climatizzati e zone termiche vicine a diversa temperatura, delle perdite dovute all'extraflusso termico verso la volta celeste e degli apporti solari attraverso i componenti opachi.

Gli apporti totali di energia termica  $Q_{gn}$  si calcolano come:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol,w} \quad (3.11)$$

dove:

- $Q_{int}$  sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne, espressi in *KWh*;
- $Q_{sol,w}$  sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati, espressi in *KWh*.

Il calcolo dell'energia invernale viene eseguito per ogni zona termica e mensilmente nel periodo di accensione dell'impianto di riscaldamento, stabilito dalla zona climatica della località definita dal DPR 412/1993, che per Padova (zona climatica E) va dal 15 ottobre al 15 aprile.



In *Tabella 3.9* e nel grafico seguente si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento  $Q_{H,nd}$  relativamente all'intero fabbricato di progetto, calcolati nella stagione invernale. Vengono forniti, inoltre, il consumo volumico e quello specifico.

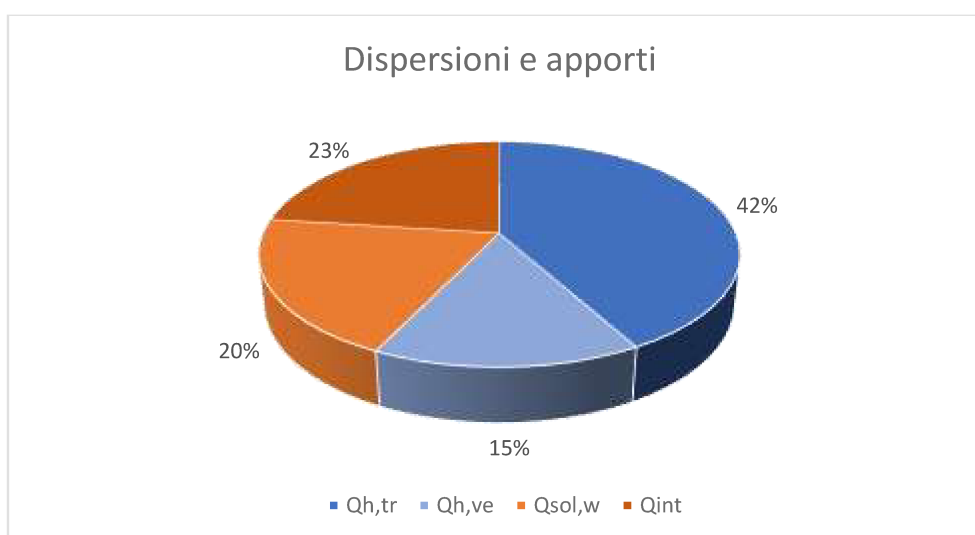
*Tabella 3.9 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, dell'intero edificio di progetto, calcolati nella stagione invernale. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Dispersioni			Apporti			Energia utile
$Q_{H,tr}$	$Q_{H,ve}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{sol,w}$	$Q_{int}$	$Q_{gn}$	$Q_{H,nd}$
(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
68990	25011	94001	32793	37713	70506	32508

$V$	$S$	Consumo volumico	Consumo specifico
(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(kWh/m <sup>3</sup> )	(kWh/m <sup>2</sup> )
6561	1600	4,95	20,32

#### Legenda simboli

- $Q_{H,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetrati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{H,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento
- $V$  Volume lordo del fabbricato
- $S$  Superficie netta del fabbricato



*Grafico 3.3 – Rappresentazione delle percentuali delle dispersioni e degli apporti nella stagione invernale dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Dal grafico si nota come le dispersioni per trasmissione superino notevolmente le dispersioni per ventilazione. Inoltre, emerge chiaramente come gli apporti tendano a bilanciare le dispersioni, il che si traduce con un minore fabbisogno di energia termica utile per il riscaldamento. Nel calcolo finale bisogna, però, tener conto che interviene anche il fattore di utilizzazione degli apporti  $\eta_{H,gn}$  che va a ridurre questi di circa il 13%.

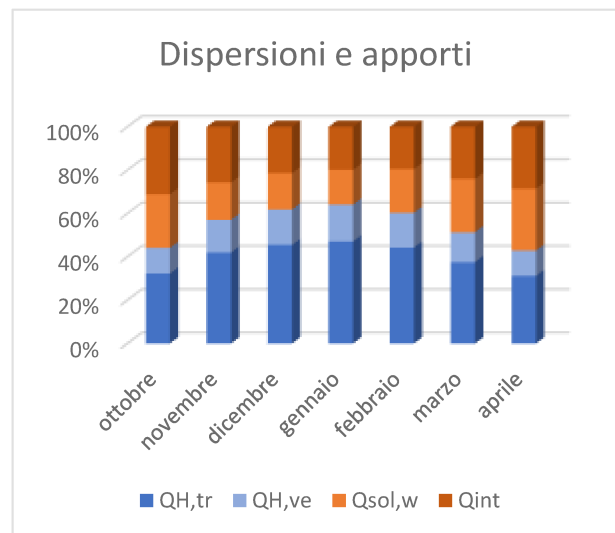
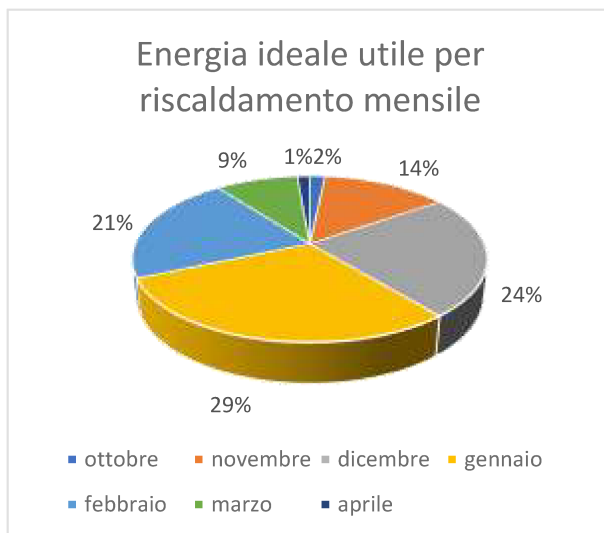
In *Tabella 3.10* e nel grafico seguente si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento  $Q_{H,nd}$  relativamente all'intero fabbricato di progetto, calcolati mensilmente.

*Tabella 3.10 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, dell'intero edificio di progetto, calcolati mensilmente. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ (°C)	Dispersioni			Apporti			Energia utile
			$Q_{H,tr}$ (kWh)	$Q_{H,ve}$ (kWh)	$Q_{H,ht}$ (kWh)	$Q_{sol,w}$ (kWh)	$Q_{int}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)	$Q_{H,nd}$ (kWh)
ottobre	17	12,5	3638	1330	4967	2792	3503	6295	539
novembre	30	8,3	10107	3639	13746	4142	6182	10325	4429
dicembre	31	4,8	13591	4886	18476	5029	6389	11418	7720
gennaio	31	3	15172	5464	20636	5179	6389	11567	9559
febbraio	28	3,6	13119	4761	17880	5991	5770	11762	6913
marzo	31	8,6	9987	3664	13651	6567	6389	12955	2908
aprile	15	11,9	3377	1267	4644	3093	3091	6184	440

Legenda simboli

- $\theta_{e,m}$  Temperatura esterna media mensile
- $Q_{H,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetriati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{H,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento



*Grafico 3.4 – Rappresentazione percentuale dell'energia utile ideale mensile e delle percentuali di dispersioni e apporti mensili dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

È subito evidente che i mesi più critici sono dicembre, gennaio e febbraio. Inoltre, si osserva come la percentuale di apporti diminuisca sensibilmente rispetto a quella delle dispersioni nei mesi critici.

In *Tabella 3.11* si riportano le dispersioni, gli apporti e l'energia utile invernale di tre appartamenti campione (numeri 1, 6 e 9), calcolati mensilmente. Si riportano, inoltre, il fattore di utilizzazione degli apporti  $\eta_{H,gn}$ , in funzione del rapporto  $\gamma = Q_{gn}/Q_{H,ht}$  e della costante di tempo termica della zona termica  $\tau$ . Si nota come il fattore  $\eta_{H,gn}$  tenda a 1 col tendere a 0 del rapporto  $\gamma$ .

*Tabella 3.11 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile di tre zone termiche campione: Appartamento 1, Appartamento 6 e Appartamento 9. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Appartamento 1								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
ottobre	17	12,5	234	293	1,249	45,7	0,704	28
novembre	30	8,3	648	451	0,697	45,7	0,916	234
dicembre	31	4,8	871	488	0,56	45,7	0,955	405
gennaio	31	3	973	508	0,522	45,7	0,964	483
febbraio	28	3,6	843	550	0,652	45,7	0,93	332
marzo	31	8,6	646	606	0,937	45,7	0,827	145
aprile	15	11,9	222	283	1,274	45,7	0,695	25
totali	183	-	4437	3179	-	-	-	1652
Appartamento 6								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
ottobre	17	12,5	195	220	1,127	48,6	0,758	29
novembre	30	8,3	540	344	0,637	48,6	0,941	216
dicembre	31	4,8	726	342	0,471	48,6	0,978	391
gennaio	31	3	810	359	0,443	48,6	0,982	458
febbraio	28	3,6	703	384	0,547	48,6	0,963	332
marzo	31	8,6	537	443	0,825	48,6	0,878	148
aprile	15	11,9	184	218	1,183	48,6	0,736	24
totali	183	-	3695	2310	-	-	-	1598
Appartamento 9								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{H,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
ottobre	17	12,5	268	286	1,068	53,5	0,793	41
novembre	30	8,3	740	490	0,662	53,5	0,943	278
dicembre	31	4,8	992	575	0,58	53,5	0,963	438
gennaio	31	3	1110	565	0,509	53,5	0,977	558
febbraio	28	3,6	963	547	0,568	53,5	0,966	435
marzo	31	8,6	739	579	0,784	53,5	0,904	215
aprile	15	11,9	253	276	1,091	53,5	0,783	37
totali	183	-	5065	3318	-	-	-	2002

Nelle *Tabella 3.12* e *Tabella 3.13* si riportano il dettaglio di tutti i contributi che concorrono alla determinazione dell'energia termica dispersa  $Q_{H,ht}$  (dispersioni per trasmissione, extraflusso e ventilazione e apporti attraverso strutture opache) e dell'energia termica apportata  $Q_{gn}$  (apporti solari attraverso componenti finestrati e interni), calcolati mensilmente e relativamente all'intero edificio di progetto.

*Tabella 3.12 – Dettaglio dei contributi del calcolo dell'energia termica dispersa mensile. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Dispersioni per trasmissione			Dispersioni per extraflusso		Apporti strutture opache						Dispersioni per ventilazione	Totale energia dispersa
	$Q_{H,trT}$ (kWh)	$Q_{H,trU}$ (kWh)	$Q_{H,trN}$ (kWh)	$Q_{H,rT}$ (kWh)	$Q_{H,rU}$ (kWh)	$Q_{sol,k,c}$ (kWh)	$Q_{sol,u,c}$ (kWh)	$Q_{sol,u,w}$ (kWh)	$Q_{int,u}$ (kWh)	$Q_{sd,op}$ (kWh)	$Q_{si}$ (kWh)	$Q_{H,ve}$ (kWh)	$Q_{H,ht}$ (kWh)
ottobre	2337	1289	0	112	88	32	85	72	0	0	0	1330	4967
novembre	6395	3528	0	252	162	43	101	86	0	0	0	3639	13746
dicembre	8585	4737	0	326	209	50	109	107	0	0	0	4886	18476
gennaio	9602	5298	0	334	214	52	115	109	0	0	0	5464	20636
febbraio	8366	4616	0	308	197	63	158	147	0	0	0	4761	17880
marzo	6439	3552	0	303	195	79	233	190	0	0	0	3664	13651
aprile	2227	1229	0	140	99	46	158	114	0	0	0	1267	4644

*Tabella 3.13 – Dettaglio dei contributi del calcolo dell'energia termica apportata mensile. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Apporti solari		Apporti interni	Totale apporti termici
	$Q_{sol,k,w}$ (kWh)	$Q_{sd,w}$ (kWh)	$Q_{int,k}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)
ottobre	2792	0	3503	6295
novembre	4142	0	6182	10325
dicembre	5029	0	6389	11418
gennaio	5179	0	6389	11567
febbraio	5991	0	5770	11762
marzo	6567	0	6389	12955
aprile	3093	0	3091	6184

#### Legenda simboli

- $Q_{H,trT}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
- $Q_{H,trU}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
- $Q_{H,trN}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
- $Q_{H,rT}$  Energia dispersa per extraflusso
- $Q_{H,rU}$  Energia dispersa per extraflusso attraverso i locali non climatizzati
- $Q_{sol,k,c}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
- $Q_{sol,u,c}$  Apporti solari attraverso le strutture opache dei locali non climatizzati
- $Q_{sol,u,w}$  Apporti solari attraverso gli elementi finestrati dei locali non climatizzati
- $Q_{int,u}$  Apporti interni attraverso i locali non climatizzati
- $Q_{sd,op}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture opache delle serre solari
- $Q_{si}$  Apporti termici indiretti attraverso le strutture delle serre solari
- $Q_{H,ve}$  Energia dispersa per ventilazione
- $Q_{sol,k,w}$  Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
- $Q_{sd,w}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture trasparenti delle serre solari
- $Q_{int,k}$  Apporti interni

In *Tabella 3.14* e nei grafici seguenti si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento  $Q_{H,nd}$  di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto, calcolati nella stagione invernale.

*Tabella 3.14 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, delle singole zone termiche dell'edificio di progetto, calcolati nella stagione invernale. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Zona	Descrizione			Dispersioni			Apporti			Energia utile	Consumo specifico (kWh/m <sup>2</sup> )
		<i>S</i> (m <sup>2</sup> )	<i>V</i> (m <sup>3</sup> )	$Q_{H,tr}$ (kWh)	$Q_{H,ve}$ (kWh)	$Q_{H,ht}$ (kWh)	$Q_{sol,w}$ (kWh)	$Q_{int}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)	$Q_{H,nd}$ (kWh)	
1	Appartamento 1	67	280	3397	1041	4438	1530	1649	3178	1653	25
2	Appartamento 2	86	354	3387	1349	4735	1359	1872	3231	1780	21
3	Appartamento 3	86	354	3388	1349	4737	1395	1872	3267	1753	20
4	Appartamento 4	67	275	3086	1041	4127	1655	1648	3304	1299	20
5	Appartamento 5	67	275	3110	1041	4151	1614	1649	3262	1351	20
6	Appartamento 6	61	255	2737	959	3695	742	1568	2310	1599	26
7	Appartamento 7	67	277	3229	1041	4271	848	1649	2497	2037	31
8	Appartamento 8	86	360	3752	1349	5101	917	1872	2790	2495	29
9	Appartamento 9	87	360	3713	1352	5065	1444	1874	3318	2002	23
10	Appartamento 10	67	281	3316	1041	4357	1775	1649	3424	1397	21
11	Appartamento 11	61	255	2873	946	3818	968	1555	2523	1525	25
12	Appartamento 12	67	273	3150	1041	4192	2086	1649	3735	1111	17
13	Appartamento 13	86	344	3058	1348	4406	1635	1872	3507	1321	15
14	Appartamento 14	86	344	3067	1348	4415	1644	1872	3516	1321	15
15	Appartamento 15	67	268	2861	1041	3902	2076	1649	3724	900	14
16	Appartamento 16	67	268	2867	1041	3909	2038	1649	3687	927	14
17	Appartamento 17	61	248	2491	959	3450	1058	1568	2627	1161	19
18	Appartamento 18	67	270	2962	1041	4004	1605	1649	3254	1281	19
19	Appartamento 19	86	350	3393	1348	4741	1390	1872	3262	1796	21
20	Appartamento 20	86	350	3402	1348	4750	1692	1872	3564	1564	18
21	Appartamento 21	67	273	3079	1041	4120	2136	1649	3785	1018	15
22	Appartamento 22	60	248	2672	946	3617	1186	1555	2740	1217	20

**Legenda simboli**

- S* Superficie netta della zona termica
- V* Volume lordo della zona termica
- $Q_{H,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento
- $Q_{H,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetriati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{H,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per riscaldamento

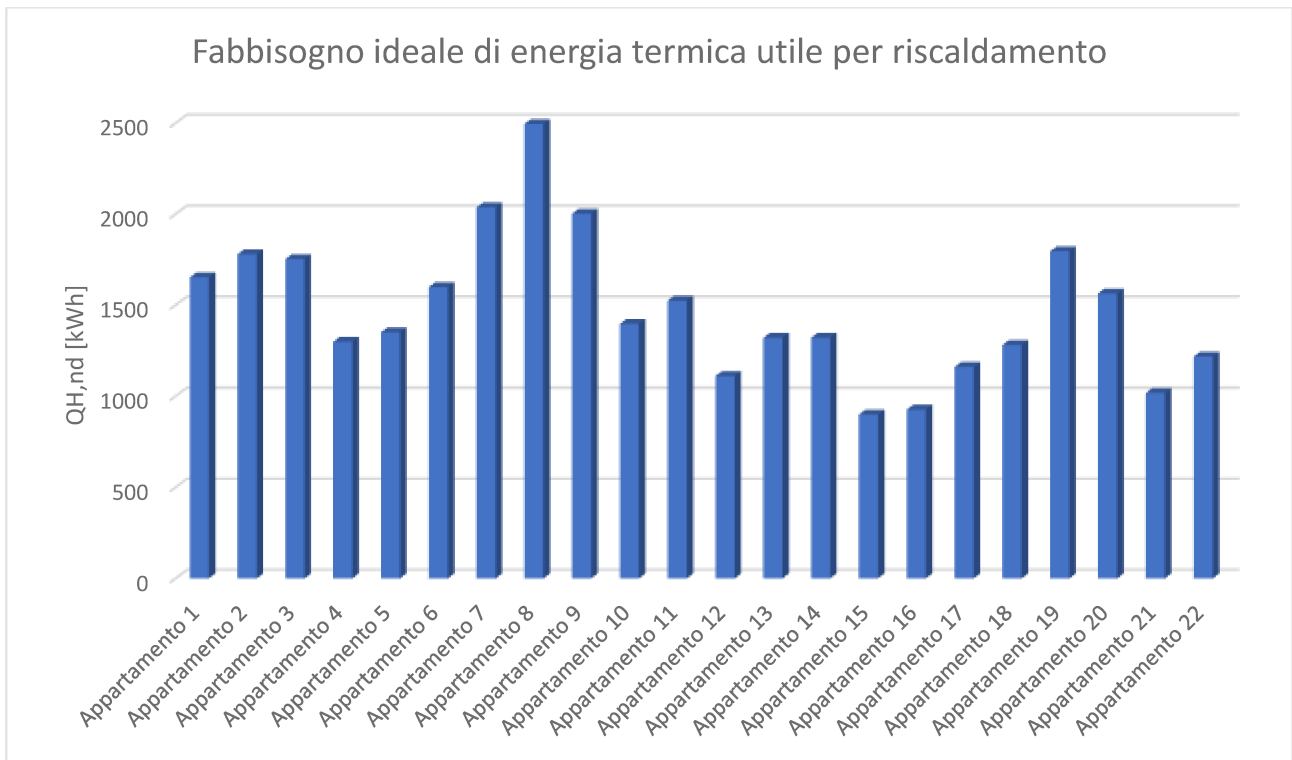


Grafico 3.5 – Rappresentazione del fabbisogno ideale di energia termica utile nella stagione invernale di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

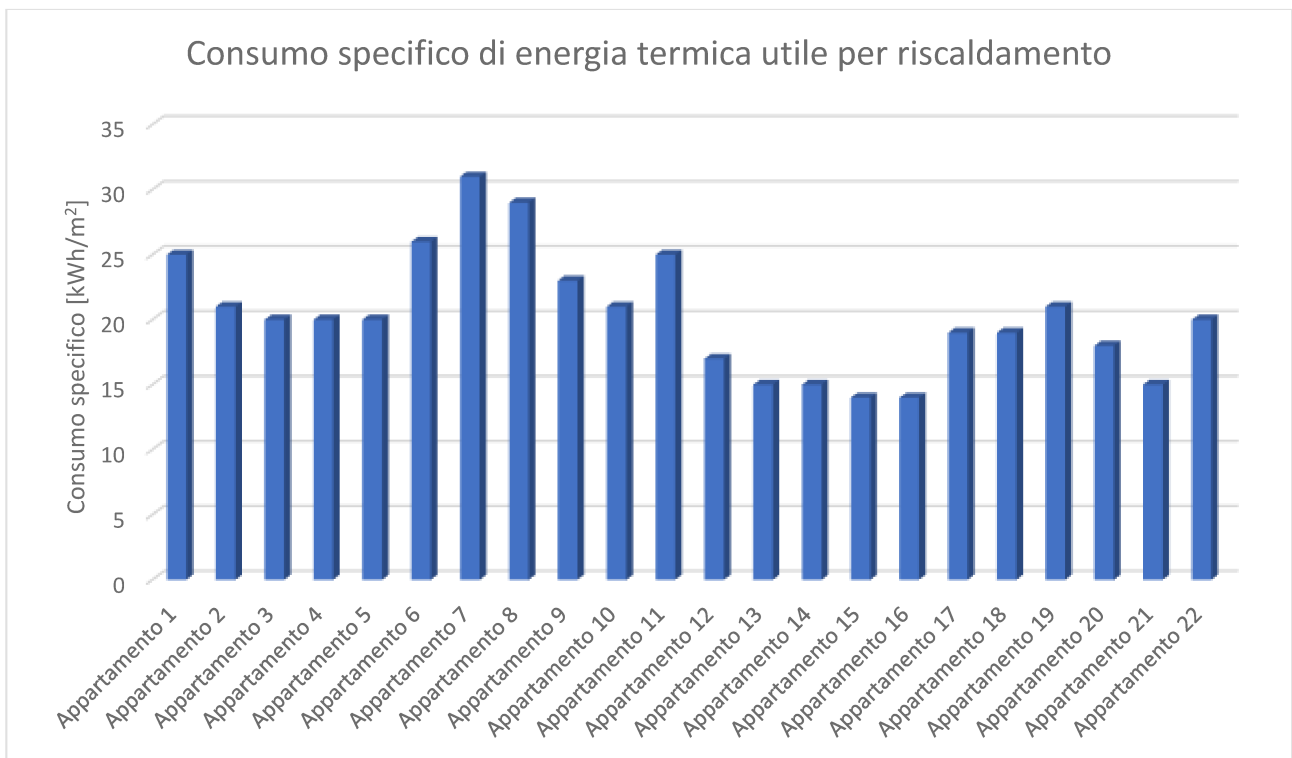


Grafico 3.6 – Rappresentazione del consumo specifico del fabbisogno ideale di energia termica utile nella stagione invernale di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

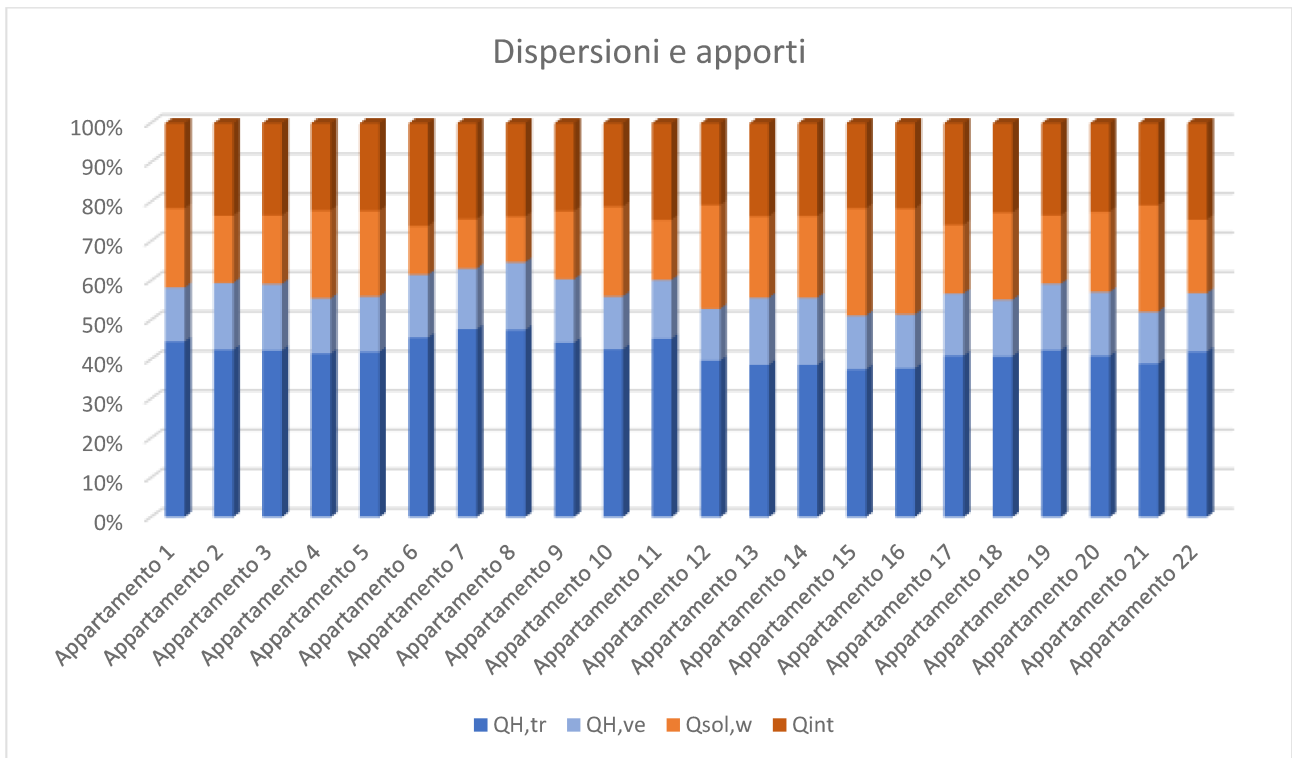


Grafico 3.7 – Rappresentazione delle percentuali di dispersioni e apporti nella stagione invernale di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

Dai precedenti grafici si osserva in particolare un elevato fabbisogno energetico degli Appartamenti 6, 7 e 8. Questi sono gli alloggi nella posizione più sfavorevole al piano primo dei Blocchi C e D che nei mesi invernali, nelle ore diurne, subiscono l'ombreggiamento del Complesso 2. Infatti, nel Grafico 3.7 si nota una sensibile diminuzione degli apporti solari attraverso i componenti finestrati e un lieve aumento delle dispersioni termiche dovuto a un calo degli apporti solari attraverso le strutture opache.

Si possono fare osservazioni simili a quelle fatte al Paragrafo 3.7.1. sulla potenza invernale, su un percettibile aumento del fabbisogno energetico degli appartamenti al piano primo (dal numero 1 all'11) rispetto a quelli del piano superiore. Inoltre, le unità abitative poste alle estremità dei due complessi residenziali risultano leggermente più sfavorite (numeri 1, 8, 9, 11, 12, 19, 20 e 21).

### 3.7.4. Energia estiva

Nella scheda *Energia estiva* viene riportato il fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento, calcolato come:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \times Q_{C,ht} \quad (3.12)$$

dove:

- $Q_{C,nd}$  è il fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento, espressa in *KWh*;
- $Q_{C,ht}$  è lo scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento, espressa in *KWh*;
- $Q_{gn}$  sono gli apporti totali di energia termica, espressi in *KWh*;
- $\eta_{C,ls}$  è il fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica.

Il fattore di utilizzazione delle dispersioni  $\eta_{C,ls}$  è un parametro dinamico in funzione del rapporto  $Q_{gn}/Q_{H,ht}$ , del rapporto tra area finestrata e area climatizzata  $A_w/A_f$  e della costante di tempo termica della zona termica  $\tau$ . Questa a sua volta è in funzione della capacità termica interna  $C_m$  e il coefficiente globale di scambio termico. In altre parole, il fattore di utilizzazione valuta le dispersioni considerando la capacità delle strutture della zona termica di accumulare calore nelle ore più calde della giornata e di rilasciarlo nelle ore più fredde.

Lo scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento  $Q_{C,ht}$  si calcola come:

$$Q_{C,ht} = Q_{C,tr} + Q_{C,ve} \quad (3.13)$$

dove:

- $Q_{C,tr}$  è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento, espresso in *KWh*;
- $Q_{C,ve}$  è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento, espresso in *KWh*.

Lo scambio di energia termica per trasmissione  $Q_{C,tr}$  tiene conto dello scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno, dello scambio termico per trasmissione verso gli ambienti non climatizzati e zone termiche vicine a diversa temperatura, delle perdite dovute all'extraflusso termico verso la volta celeste e degli apporti solari attraverso i componenti opachi.

Gli apporti totali di energia termica  $Q_{gn}$  si calcolano come:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol,w} \quad (3.14)$$

dove:

- $Q_{int}$  sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne, espressi in *KWh*;
- $Q_{sol,w}$  sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati, espressi in *KWh*.

A livello legislativo non è stabilito un periodo convenzionale di raffrescamento ma è obbligatorio assumere la stagione reale in caso di calcolo regolamentare. Tale stagione reale è quel periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura non superiore a quella di progetto (26°C). La stagione reale viene determinata da normativa ed è in funzione del rapporto tra dispersioni e apporti e della costante di tempo termica  $\tau$ . In modo approssimativo, si può dire che la stagione reale di raffrescamento ha inizio quando gli apporti gratuiti superano le dispersioni e termina quando le dispersioni superano gli apporti gratuiti.



In *Tabella 3.15* e nel grafico seguente si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento  $Q_{C,nd}$  relativamente all'intero fabbricato di progetto, calcolati nella stagione estiva. Vengono forniti, inoltre, il consumo volumico e quello specifico.

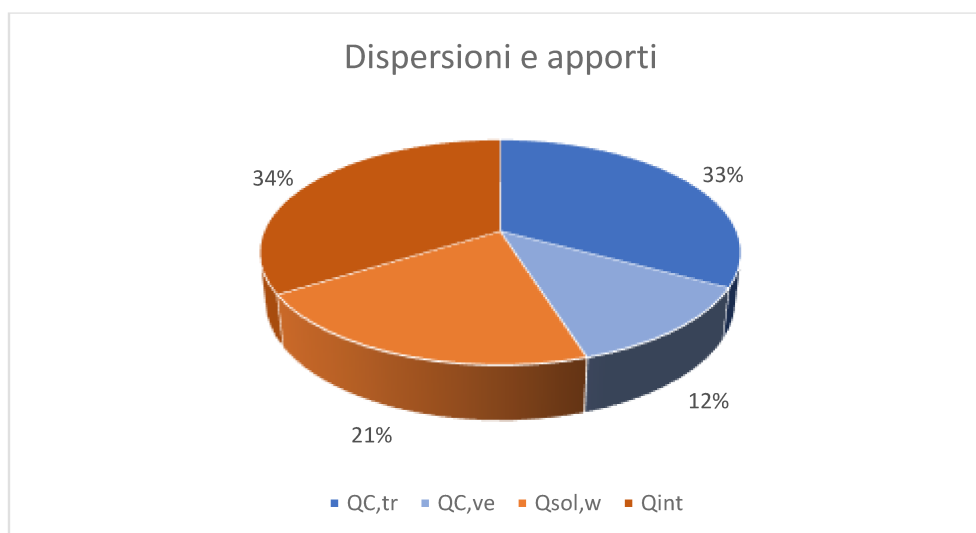
*Tabella 3.15 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, dell'intero edificio di progetto, calcolati nella stagione estiva. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Dispersioni			Apporti			Energia utile
$Q_{C,tr}$	$Q_{C,ve}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{sol,w}$	$Q_{int}$	$Q_{gn}$	$Q_{C,nd}$
(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
44215	16499	60714	28328	45513	73841	28466

$V$	$S$	Consumo volumico	Consumo specifico
(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(kWh/m <sup>3</sup> )	(kWh/m <sup>2</sup> )
6561	1600	4,34	17,79

#### Legenda simboli

- $Q_{C,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetrati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{C,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento
- $V$  Volume lordo del fabbricato
- $S$  Superficie netta del fabbricato



*Grafico 3.8 – Rappresentazione delle percentuali delle dispersioni e degli apporti nella stagione estiva dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Diversamente dalla stagione invernale, si ha un deciso aumento degli apporti di calore a discapito delle dispersioni. Diversamente dalla stagione fredda, in estate gli apporti sono da ridurre al minimo, mentre le dispersioni permettono favorevolmente all'energia termica di fluire verso l'ambiente esterno, riducendo il surriscaldamento interno. Si noti che la dispersione ha un valore positivo, il che indica che il calore si sposta dall'ambiente interno verso l'esterno. Ciò è un po' controintuitivo

nella stagione estiva, considerando le elevate temperature diurne. Il calcolo, però, si esegue con una temperatura interna di 26°C e temperature esterne medie mensili che non superano i 24°C. In altre parole, bisogna valutare la dispersione totale nel periodo mensile, considerando le temperature minime e massime nelle ore diurne e notturne. In ogni caso, sono gli apporti solari, più che i picchi di temperatura esterna, a causare il surriscaldamento del fabbricato.

Dal grafico emerge, inoltre, che gli apporti interni sono maggiori di quelli solari attraverso i componenti finestrati. I primi dipendono dal valore di legge impostato per ogni singola zona termica e sono in funzione del numero di giorni di ogni mese; pertanto, sono praticamente costanti tutto l'anno. I secondi, invece, dipendono dal periodo dell'anno, dall'inclinazione e orientamento del sole, dagli ombreggiamenti e, soprattutto, dal fattore tendaggi. Si ricorda, infatti, che nella definizione dei componenti finestrati è possibile definire la presenza di tende o oscuranti per il calcolo dell'energia invernale e quella estiva. I serramenti dell'edificio di progetto, in inverno hanno tende bianche e leggere che favoriscono gli apporti solari, mentre in estate ci sono i frangisole scorrevoli che riducono l'irraggiamento del sole. Confrontando i risultati riportati in questi paragrafi si nota subito che gli apporti solari invernali sono addirittura maggiori di quelli estivi.

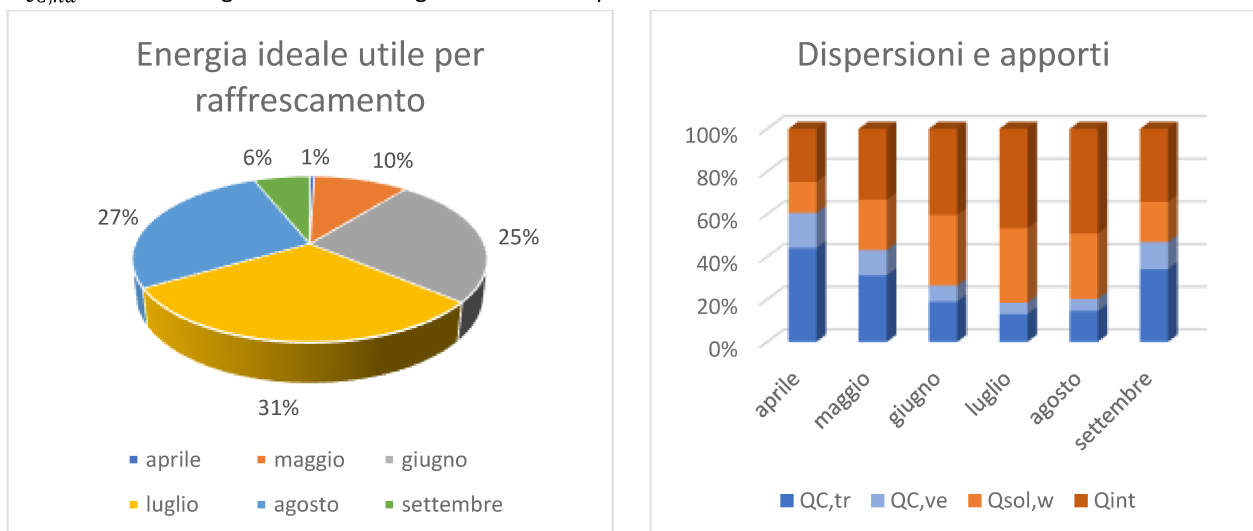
In *Tabella 3.16* e nel grafico seguente si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento  $Q_{C,nd}$  relativamente all'intero fabbricato di progetto, calcolati mensilmente.

*Tabella 3.16 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, dell'intero edificio di progetto, calcolati mensilmente. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$ (°C)	Dispersioni			Apporti			Energia utile
			$Q_{C,tr}$ (kWh)	$Q_{C,ve}$ (kWh)	$Q_{C,ht}$ (kWh)	$Q_{sol,w}$ (kWh)	$Q_{int}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)	$Q_{C,nd}$ (kWh)
febbraio	1	5,9	72	26	98	14	27	41	0
marzo	31	8,6	5792	2078	7870	1345	2575	3920	11
aprile	30	12,8	10240	3810	14050	3369	5806	9175	133
maggio	31	18,9	5998	2282	8280	4538	6389	10926	2930
giugno	30	22,3	2894	1151	4045	5060	6182	11243	7199
luglio	31	23,7	1780	739	2519	4780	6389	11168	8649
agosto	31	23,7	1875	739	2614	3979	6389	10368	7754
settembre	30	18,6	6172	2302	8474	3428	6182	9610	1732
ottobre	31	13,9	8218	2965	11184	1642	5036	6678	55
novembre	10	10	1173	407	1579	174	539	713	1

Legenda simboli

- $\theta_{e,m}$  Temperatura esterna media mensile
- $Q_{C,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetriati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{C,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento



*Grafico 3.9 – Rappresentazione percentuale dell'energia utile ideale mensile e delle percentuali di dispersioni e apporti mensili dell'intero edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

È subito evidente che i mesi più critici sono giugno, luglio e agosto. Inoltre, si osserva come la percentuale di apporti aumenta sensibilmente nei mesi critici, mentre quella delle dispersioni si riduce notevolmente.

In *Tabella 3.17* si riportano le dispersioni, gli apporti e l'energia utile estiva di tre appartamenti campione (numeri 1, 6 e 9), calcolati mensilmente. Si riportano, inoltre, il fattore di utilizzazione delle dispersioni  $\eta_{C,ls}$ , in funzione del rapporto  $\gamma = Q_{gn}/Q_{C,ht}$  e della costante di tempo termica della zona termica  $\tau$ . Si nota come il fattore  $\eta_{C,ls}$  tenda a 1 col tendere a 0 del rapporto  $\gamma$ .

*Tabella 3.17 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile di tre zone termiche campione: Appartamento 1, Appartamento 6 e Appartamento 9. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Appartamento 1								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
marzo	18	9,6	540	244	0,452	45,7	0,451	1
aprile	30	12,8	722	435	0,602	45,7	0,595	5
maggio	31	18,9	400	496	1,242	45,7	0,948	117
giugno	30	22,3	200	512	2,556	45,7	0,999	312
luglio	31	23,7	128	510	3,981	45,7	1	382
agosto	31	23,7	130	464	3,575	45,7	1	334
settembre	30	18,6	404	431	1,066	45,7	0,901	67
ottobre	30	13,8	670	363	0,541	45,7	0,537	2
totali	231	-	3194	3455	-	-	-	1220
Appartamento 6								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
marzo	7	10,4	167	81	0,487	48,6	0,486	0
aprile	30	12,8	600	377	0,629	48,6	0,624	3
maggio	31	18,9	331	433	1,308	48,6	0,974	111
giugno	30	22,3	165	445	2,698	48,6	1	280
luglio	31	23,7	105	448	4,266	48,6	1	343
agosto	31	23,7	107	409	3,815	48,6	1	302
settembre	30	18,6	336	370	1,101	48,6	0,932	57
ottobre	15	15	252	159	0,631	48,6	0,626	1
totali	205	-	2063	2722	-	-	-	1097
Appartamento 9								
Mese	Giorni	$\theta_{e,m}$	$Q_{C,ht}$	$Q_{gn}$	$\gamma$	$\tau$	$\eta_{C,ls}$	$Q_{C,nd}$
		(°C)	(kWh)	(kWh)	(-)	(h)	(-)	(kWh)
aprile	17	14,2	419	250	0,598	53,5	0,595	1
maggio	31	18,9	455	494	1,084	53,5	0,929	70
giugno	30	22,3	226	508	2,247	53,5	1	282
luglio	31	23,7	143	505	3,525	53,5	1	362
agosto	31	23,7	146	469	3,215	53,5	1	323
settembre	30	18,6	460	436	0,949	53,5	0,872	35
ottobre	13	15,2	297	165	0,556	53,5	0,554	0
totali	183	-	2146	2827	-	-	-	1073

Nelle *Tabella 3.18* e *Tabella 3.19* si riportano il dettaglio di tutti i contributi che concorrono alla determinazione dell'energia termica dispersa  $Q_{C,ht}$  (dispersioni per trasmissione, extraflusso e ventilazione e apporti attraverso strutture opache) e dell'energia termica apportata  $Q_{gn}$  (apporti solari attraverso componenti finestrati e interni), calcolati mensilmente e relativamente all'intero edificio di progetto.

*Tabella 3.18 – Dettaglio dei contributi del calcolo dell'energia termica dispersa mensile. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Dispersioni per trasmissione			Dispersioni per extraflusso		Apporti strutture opache						Dispersioni per ventilazione	Totale energia dispersa
	$Q_{C,trT}$ (kWh)	$Q_{C,trU}$ (kWh)	$Q_{C,trN}$ (kWh)	$Q_{C,rT}$ (kWh)	$Q_{C,rU}$ (kWh)	$Q_{sol,k,c}$ (kWh)	$Q_{sol,u,c}$ (kWh)	$Q_{sol,u,w}$ (kWh)	$Q_{int,u}$ (kWh)	$Q_{sd,op}$ (kWh)	$Q_{si}$ (kWh)	$Q_{C,ve}$ (kWh)	$Q_{C,ht}$ (kWh)
febbraio	49	21	0	2	2	0	1	0	0	0	0	26	98
marzo	3854	1911	0	138	96	28	117	62	0	0	0	2078	7870
aprile	6701	3656	0	294	195	85	312	210	0	0	0	3810	14050
maggio	4010	2212	0	338	217	113	409	258	0	0	0	2282	8280
giugno	2022	1116	0	377	243	125	453	287	0	0	0	1151	4045
luglio	1299	717	0	385	248	125	462	282	0	0	0	739	2519
agosto	1299	717	0	380	245	112	401	254	0	0	0	739	2614
settembre	4045	2232	0	330	212	98	314	234	0	0	0	2302	8474
ottobre	5324	2827	0	205	137	43	133	97	0	0	0	2965	11184
novembre	777	367	0	29	19	3	12	5	0	0	0	407	1579

*Tabella 3.19 – Dettaglio dei contributi del calcolo dell'energia termica apportata mensile. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Mese	Apporti solari		Apporti interni	Totale apporti termici
	$Q_{sol,k,w}$ (kWh)	$Q_{sd,w}$ (kWh)	$Q_{int,k}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)
febbraio	14	0	27	41
marzo	1345	0	2575	3920
aprile	3369	0	5806	9175
maggio	4538	0	6389	10926
giugno	5060	0	6182	11243
luglio	4780	0	6389	11168
agosto	3979	0	6389	10368
settembre	3428	0	6182	9610
ottobre	1642	0	5036	6678
novembre	174	0	539	713

#### Legenda simboli

- $Q_{C,trT}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
- $Q_{C,trU}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
- $Q_{C,trN}$  Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
- $Q_{C,rT}$  Energia dispersa per extraflusso
- $Q_{C,rU}$  Energia dispersa per extraflusso attraverso i locali non climatizzati
- $Q_{sol,k,c}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
- $Q_{sol,u,c}$  Apporti solari attraverso le strutture opache dei locali non climatizzati
- $Q_{sol,u,w}$  Apporti solari attraverso gli elementi finestrati dei locali non climatizzati
- $Q_{int,u}$  Apporti interni attraverso i locali non climatizzati
- $Q_{sd,op}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture opache delle serre solari
- $Q_{si}$  Apporti termici indiretti attraverso le strutture delle serre solari
- $Q_{C,ve}$  Energia dispersa per ventilazione
- $Q_{sol,k,w}$  Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
- $Q_{sd,w}$  Apporti solari diretti attraverso le strutture trasparenti delle serre solari
- $Q_{int,k}$  Apporti interni

In *Tabella 3.20* e nei grafici seguenti si riportano le dispersioni, gli apporti e il fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento  $Q_{C,nd}$  di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto, calcolati nella stagione estiva.

*Tabella 3.20 – Risultati delle dispersioni, degli apporti e dell'energia utile, parziali e totali, delle singole zone termiche dell'edificio di progetto, calcolati nella stagione estiva. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Zona	Descrizione			Dispersioni			Apporti			Energia utile	Consumo specifico (kWh/m <sup>2</sup> )
		$S$ (m <sup>2</sup> )	$V$ (m <sup>3</sup> )	$Q_{C,tr}$ (kWh)	$Q_{C,ve}$ (kWh)	$Q_{C,ht}$ (kWh)	$Q_{sol,w}$ (kWh)	$Q_{int}$ (kWh)	$Q_{gn}$ (kWh)	$Q_{C,nd}$ (kWh)	
1	Appartamento 1	67	280	2439	756	3195	1374	2081	3455	1221	18
2	Appartamento 2	86	354	1738	720	2458	1160	2046	3207	1273	15
3	Appartamento 3	86	354	1753	720	2473	1168	2046	3214	1269	15
4	Appartamento 4	67	275	2383	808	3190	1430	2153	3583	1309	20
5	Appartamento 5	67	275	2389	808	3197	1427	2153	3581	1310	20
6	Appartamento 6	61	255	1520	543	2063	966	1757	2723	1097	18
7	Appartamento 7	67	277	2316	756	3073	1308	2081	3389	1226	18
8	Appartamento 8	86	360	1540	580	2120	1044	1872	2917	1170	14
9	Appartamento 9	87	360	1564	581	2146	952	1874	2827	1074	12
10	Appartamento 10	67	281	2203	697	2900	1098	2009	3107	1056	16
11	Appartamento 11	61	255	1251	416	1667	624	1572	2196	826	14
12	Appartamento 12	67	273	2385	815	3200	1644	2162	3807	1475	22
13	Appartamento 13	86	344	1931	912	2843	1392	2292	3683	1499	17
14	Appartamento 14	86	344	1940	912	2852	1397	2292	3689	1497	17
15	Appartamento 15	67	268	2510	944	3454	1727	2306	4034	1551	23
16	Appartamento 16	67	268	2484	936	3420	1713	2297	4011	1551	23
17	Appartamento 17	61	248	1711	691	2401	1181	1979	3161	1303	21
18	Appartamento 18	67	270	2555	929	3484	1645	2288	3933	1478	22
19	Appartamento 19	86	350	1782	763	2546	1285	2097	3382	1386	16
20	Appartamento 20	86	350	1802	763	2565	1266	2097	3363	1357	16
21	Appartamento 21	67	273	2285	808	3093	1451	2153	3604	1369	21
22	Appartamento 22	60	248	1735	640	2374	1073	1903	2976	1169	19

Legenda simboli

- $S$  Superficie netta della zona termica
- $V$  Volume lordo della zona termica
- $Q_{C,tr}$  Scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ve}$  Scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento
- $Q_{C,ht}$  Scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento
- $Q_{int}$  Apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne
- $Q_{sol,w}$  Apporti di energia termica solare attraverso componenti vetriati
- $Q_{gn}$  Apporti totali di energia termica
- $Q_{C,nd}$  Fabbisogno ideale di energia termica utile per raffrescamento

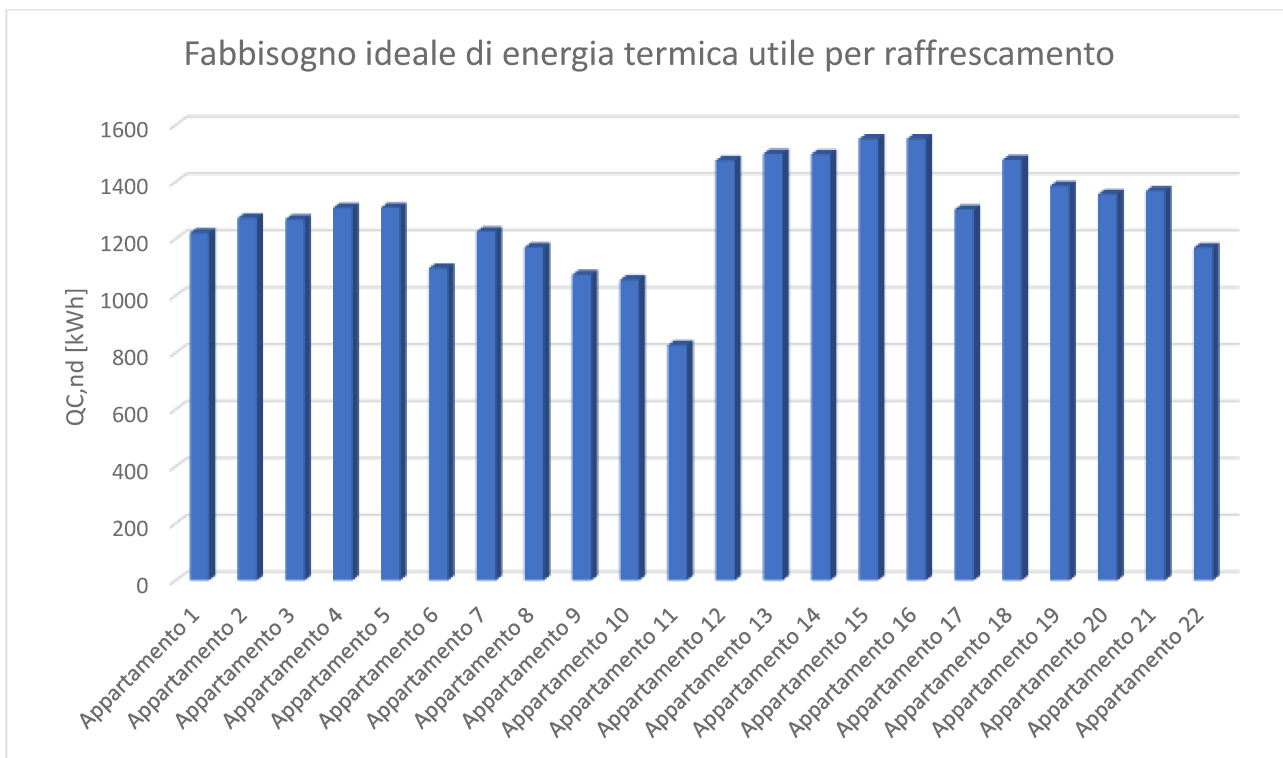


Grafico 3.10 – Rappresentazione del fabbisogno ideale di energia termica utile nella stagione estiva di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

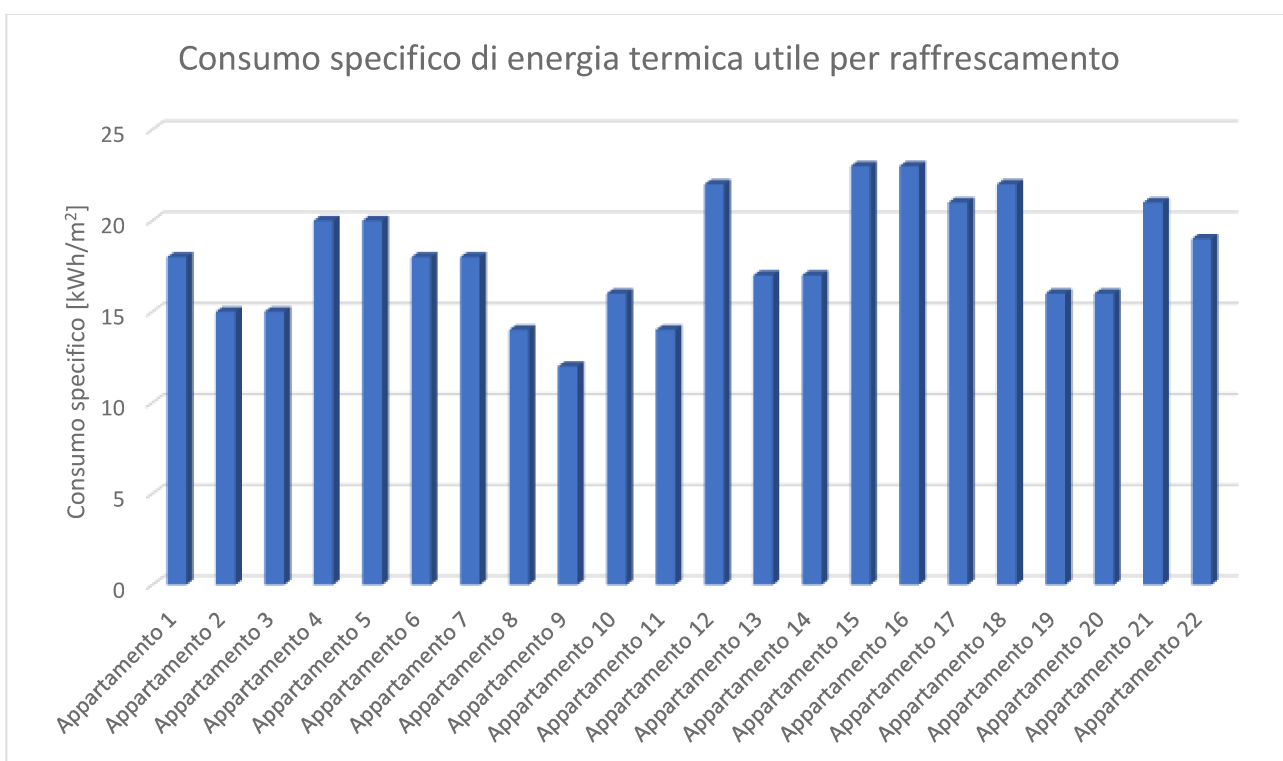


Grafico 3.11 – Rappresentazione del consumo specifico del fabbisogno ideale di energia termica utile nella stagione estiva di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

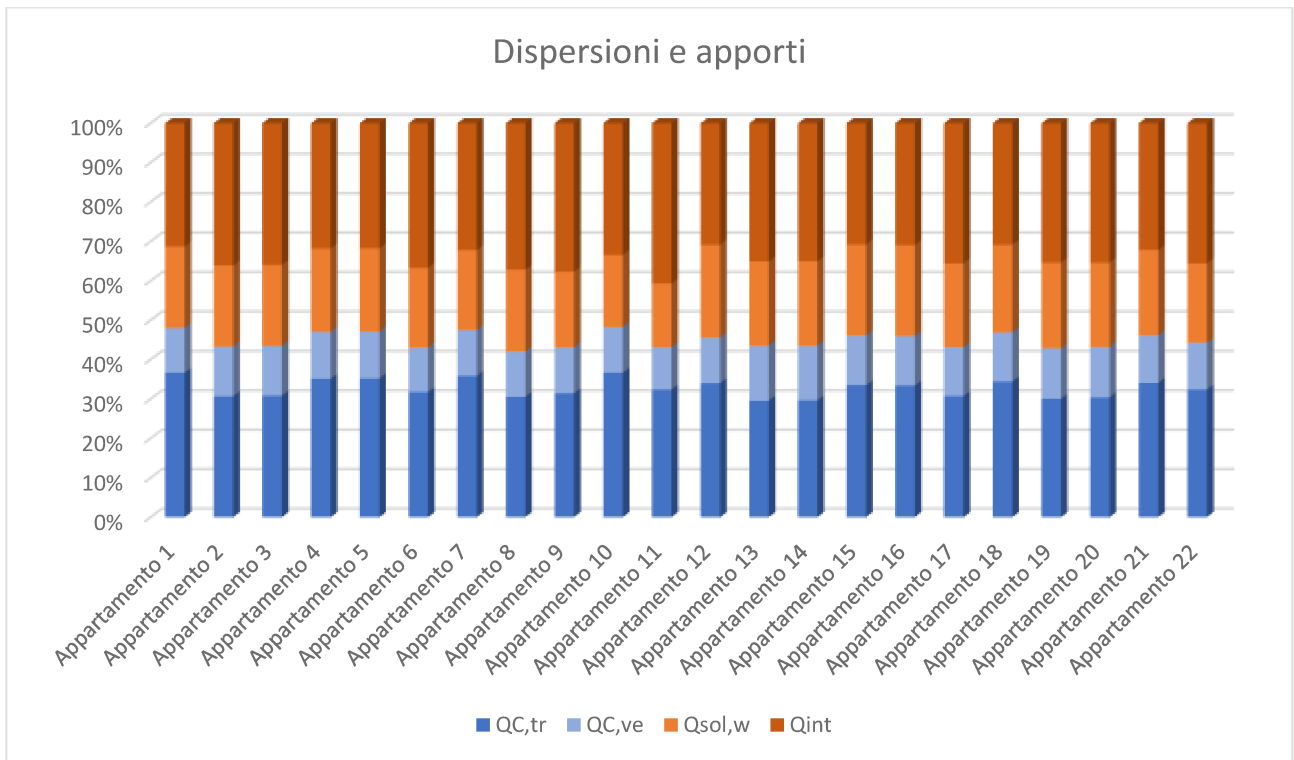


Grafico 3.12 – Rappresentazione delle percentuali di dispersioni e apporti nella stagione estiva di ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]



## 3.8. MASCHERA IMPIANTI

### 3.8.1. Nozioni generali

La progettazione impiantistica e tecnologica dei sistemi di riscaldamento, raffrescamento, produzione acqua calda sanitaria, ventilazione e produzione di energia da fonti rinnovabili è parte fondamentale dell'efficientamento energetico di un edificio. Questo lavoro viene svolto da studi professionisti e da figure specializzate in diverse discipline, quali ingegneri termotecnici, energetici, meccanici ed elettrici, competenze ed esperienze di cui non si è in possesso. La collaborazione con uno di questi studi, il supporto fornito da Edilclima e le schede tecniche di alcuni fornitori ha permesso l'implementazione dei dati minimi necessari ad una corretta configurazione dei sistemi impiantistici, al fine di determinare dei risultati di massima relativamente a rendimenti ed energia primaria.

L'uso di impianti centralizzati in edifici residenziali con più di quattro unità abitative, in particolare in quelli pubblici, è stabilito dal DPR 59/2009. Ciò permette la realizzazione di sistemi di generazione a rendimenti più alti e, inoltre, la presenza di valvole termostatiche, di meccanismi di regolazione e contabilizzatori consentono di settare individualmente per ogni unità abitativa l'erogazione del servizio.

Per l'edificio di progetto si sono ipotizzati i seguenti sistemi impiantistici:

- Impianto di riscaldamento centralizzato con pannelli radianti a pavimento.
- Impianto di raffrescamento centralizzato con pannelli radianti a pavimento.
- Impianto di produzione acqua calda sanitaria centralizzato combinato con il sistema di riscaldamento.
- Impianto solare fotovoltaico per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

A fini semplificativi, nella presente tesi si è deciso di trascurare l'impianto di ventilazione meccanica, sebbene in ambienti quali i bagni e le cucine sia opportuna la sua presenza.

L'idea per la climatizzazione invernale ed estiva è quella di utilizzare lo stesso impianto per entrambe le stagioni, con l'obiettivo di abbattere i costi di installazione e manutenzione. Per questo si è scelto un sistema che impiega gli stessi terminali, la stessa rete di distribuzione e la stessa generazione. Per quest'ultima, infatti, si è optato per una pompa di calore acqua-acqua reversibile, utilizzata sia per il riscaldamento che per il raffrescamento. Questa, inoltre, è adoperata per la produzione di acqua calda sanitaria.

La scelta della pompa di calore acqua-acqua è fatta in quanto questo tipo di generatori sono generalmente più efficienti di quelli che usano l'aria come sorgente di scambio termico. Di contro, hanno costi di installazione decisamente più alti e richiedono opportune verifiche geotecniche dell'area di progetto. Possono essere impiegate sfruttando, ad esempio, lo scambio termico con l'acqua di falda o la geotermia del terreno. In questa tesi non si è potuta fare un'indagine geotecnica dell'area di intervento, però, secondo informazioni fornite dall'ARPAV, nella parte meridionale della provincia di Padova si assesta la presenza di una falda freatica che oscilla tra 1 e 2 m dal piano campagna<sup>22</sup>.

Per l'impianto fotovoltaico in copertura, si è deciso in prima analisi di installare il numero massimo di pannelli fotovoltaici al fine di sfruttare l'intera superficie della falda a sud. Si hanno, quindi, 900 pannelli da 1,62 m<sup>2</sup> di superficie e 226 W di picco ciascuno.

La maschera *Impianti* di EC700 fornisce una configurazione intuitiva dei sistemi impiantistici dell'edificio oggetto di analisi e, come prima cosa, si impostano gli impianti che si sono ipotizzati [Figura 3.32]. Applicate le modifiche, è possibile selezionare ciascun servizio per procedere all'introduzione dei pertinenti dati di input. Ogni impianto è composto da schede e sottoschede che,

---

<sup>22</sup> (ARPAV 2015)

in linea generale, permettono di definire i circuiti, i sottosistemi, l'accumulo e la distribuzione primaria, eventuali altri carichi e la generazione.

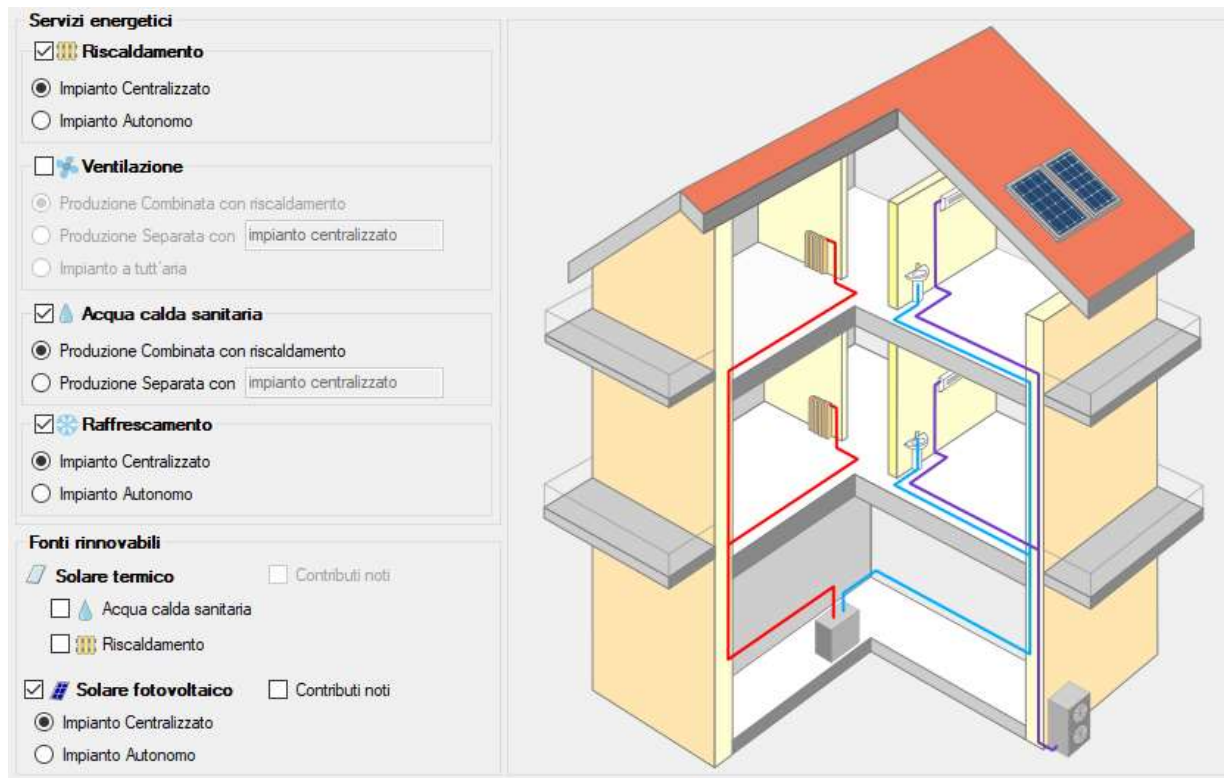


Figura 3.32 – Scheda per la configurazione generale degli impianti di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

Di seguito si riportano i dati principali inseriti per la configurazione di ciascun servizio impiantistico dell'edificio di progetto.

### 3.8.2. Impianto di riscaldamento

La configurazione dell'impianto di riscaldamento è divisa in quattro schede e ulteriori sottoschede:

- *Circuiti:*
  - *Dati generali;*
  - *Sottosistemi;*
  - *Temperatura media acqua;*
- *Accumulo e distribuzione primaria;*
- *Altri carichi;*
- *Generazione:*
  - *Centrale termica;*
  - *Generatori.*

#### Circuiti:

##### *Dati generali:*

Regime di funzionamento *Continuo*

##### *Sottosistema di emissione:*

Tipo di terminale di erogazione	<i>Pannelli annegati a pavimento</i>
Fattore correttivo $f_{emb}$	<i>0,99</i>
Potenza nominale dei corpi scaldanti	<i>10318 W</i>
Fabbisogni elettrici	<i>0 W</i>
Rendimento di emissione	<i>97 %</i>

##### *Sottosistema di regolazione:*

Tipo	<i>Per singolo ambiente + climatica</i>
Caratteristiche	<i>P banda proporzionale 1 °C</i>
Rendimento di regolazione	<i>97 %</i>

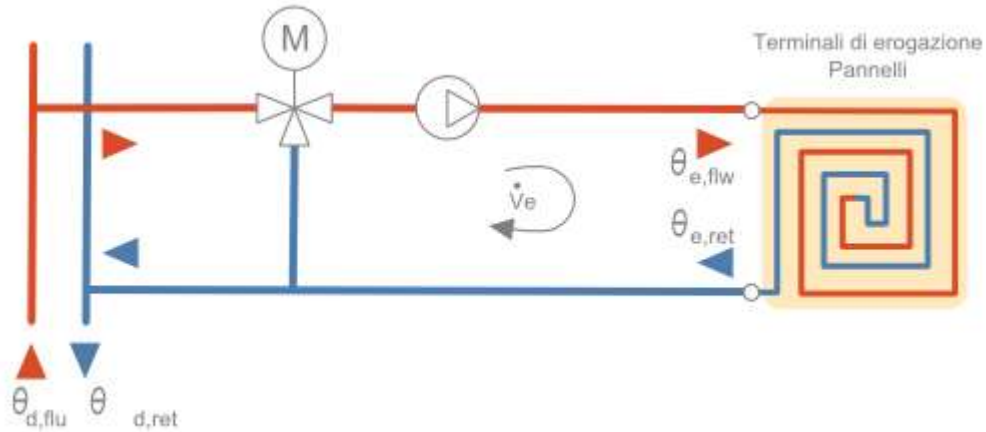
##### *Sottosistema di distribuzione utenza:*

Metodo di calcolo	<i>Analitico</i>
Descrizione rete	<i>Distribuzione secondaria verticale</i>
Tipologia	<i>Montanti verticali isolati secondo DPR 412/93</i>
Coefficiente di recupero	<i>0,95</i>
Fabbisogni elettrici	<i>133 W</i>
Fattore di recupero termico	<i>0,85</i>
Rendimento di distribuzione utenza	<i>99,24 %</i>

Temperatura media acqua:

Tipo di circuito

ON-OFF, valvola a due vie



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10	
$\Delta T$ nominale lato aria	15	
Esponente n del corpo scaldante	1,1	
$\Delta T$ di progetto lato acqua	10	
Portata nominale	976,75 kg/h	
Criterio di calcolo	Temperatura di mandata fissa	35 °C
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5 °C	

Accumulo e distribuzione primaria:

Accumulo:

Dispersione termica	2,5 W/K
Ambiente di installazione	Centrale termica
Fattore di recupero delle perdite	0,7

Distribuzione primaria:

Metodo di calcolo	Analitico
Descrizione rete	Distribuzione primaria orizzontale
Tipologia	Tubazioni precalcolate isolate secondo DPR 412/93
Coefficiente di recupero	0,95
Fabbisogni elettrici	5000 W
Fattore di recupero termico	0,85

Altri carichi:

Non presenti.

## Generazione:

### *Dati generali:*

Servizio	<i>Riscaldamento e acqua calda sanitaria</i>
Tipo di generatore	<i>Pompa di calore</i>
Metodo di calcolo	<i>secondo UNI/TS 11300-4</i>
Tipo di pompa di calore	<i>Elettrica</i>
Temperatura di disattivazione (per riscaldamento)	20 °C
Sorgente fredda	<i>Acqua di falda</i>
Temperatura della sorgente fredda	13,5 °C
Sorgente calda	<i>Acqua di impianto</i>
Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria)	50 °C

### *Prestazioni dichiarate:*

Coefficiente di prestazione COPE	4,8
Potenza utile	54,57 kW
Potenza elettrica assorbita	11,37 kW
Temperatura della sorgente fredda	7 °C
Temperatura della sorgente calda	50 °C
Fattore di correzione	0,1
Fattore minimo di modulazione	0,5

### *Vettore energetico:*

Tipo	<i>Energia elettrica</i>		
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)		$f_{p,ren}$	0,47
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)		$f_{p,nren}$	1,95
Fattore di conversione in energia primaria		$f_p$	2,42
Fattore di emissione di CO <sub>2</sub>			0,46 kg <sub>CO2</sub> /kWh

### 3.8.3. Impianto di produzione acqua calda sanitaria

La configurazione dell'impianto di produzione acqua calda sanitaria è divisa in due schede:

- *Dati per zona;*
- *Altri dati.*

#### Dati per zona:

Si riportano di seguito i dati di tre zone rappresentative: Appartamento 1 (per tre persone), Appartamento 6 (per due persone) e Appartamento 9 (per quattro persone).

#### Appartamento 1

*Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria:*

Categoria DPR 412/93                      *E.1 (1)*  
Temperatura di erogazione                      40 °C  
Superficie utile                                      66,61 m<sup>2</sup>

#### Fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria (l/g)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108

#### Temperatura di alimentazione (°C)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5

*Erogazione:*

Rendimento di erogazione                      100 %

*Distribuzione utenza:*

Metodo di calcolo                      *Semplificato – Sistemi installati dopo l'entrata in vigore della legge 373/76, rete corrente parzialmente in ambiente climatizzato*

#### Appartamento 6

*Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria:*

Categoria DPR 412/93                      *E.1 (1)*  
Temperatura di erogazione                      40 °C  
Superficie utile                                      61,33 m<sup>2</sup>

#### Fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria (l/g)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102

#### Temperatura di alimentazione (°C)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5

*Erogazione:*

Rendimento di erogazione                      100 %

*Distribuzione utenza:*

Metodo di calcolo *Semplificato – Sistemi installati dopo l’entrata in vigore della legge 373/76, rete corrente parzialmente in ambiente climatizzato*

Appartamento 9

*Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria:*

Categoria DPR 412/93 *E.1 (1)*  
Temperatura di erogazione *40 °C*  
Superficie utile *86,5 m<sup>2</sup>*

Fabbisogno giornaliero di acqua calda sanitaria (l/g)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129

Temperatura di alimentazione (°C)

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5

*Erogazione:*

Rendimento di erogazione *100 %*

*Distribuzione utenza:*

Metodo di calcolo *Semplificato – Sistemi installati dopo l’entrata in vigore della legge 373/76, rete corrente parzialmente in ambiente climatizzato*

Altri dati:

*Accumulo centralizzato:*

Dispersione termica *5 W/K*  
Temperatura media dell’accumulo *60 °C*  
Ambiente di installazione *Centrale termica*  
Fattore di recupero delle perdite *0,7*

### 3.8.4. Impianto di raffrescamento

La configurazione dell'impianto di raffrescamento è divisa in quattro schede e ulteriori sottoschede:

- *Circuito:*
  - *Attivazione;*
  - *Sottosistemi;*
- *Accumulo e distribuzione primaria;*
- *Generazione.*

#### Circuito:

##### *Dati generali:*

Regime di funzionamento *Continuo*

##### *Sottosistema di emissione:*

Tipo di terminale di erogazione *Pannelli isolati annegati a pavimento*  
Fabbisogni elettrici *0 W*

##### *Sottosistema di regolazione:*

Tipo *Controllo singolo ambiente*  
Caratteristiche *Regolazione modulante (banda 1°C)*

##### *Sottosistema di distribuzione utenza:*

Metodo di calcolo *Semplificato*  
Numero di piani *2*  
Tipo di rete *Rete ad anello nel pian terreno e montanti verticali*  
Fabbisogni elettrici *428 W*

#### Accumulo e distribuzione primaria:

##### *Accumulo:*

Dispersione termica *2,5 W/K*  
Ambiente di installazione *Centrale termica*  
Temperatura media dell'accumulo *10 °C*

##### *Distribuzione primaria:*

Metodo di calcolo *Analitico*  
Descrizione rete *Distribuzione primaria orizzontale*  
Tipologia *Tubazioni precalcolate isolate secondo DPR 412/93*  
Temperatura media dell'acqua *10 °C*  
Fabbisogni elettrici *5000 W*



## Generazione:

### *Dati generali:*

Servizio	<i>Raffrescamento</i>
Tipo di generatore	<i>Pompa di calore</i>
Metodo di calcolo	<i>secondo UNI/TS 11300-3</i>
Tipo di pompa di calore	<i>Elettrica</i>
Sorgente unità esterna	<i>Acqua</i>
Temperatura acqua in ingresso al condensatore	30 °C
Sorgente unità interna	<i>Acqua</i>
Temperatura acqua in uscita dal condensatore	7 °C

### *Prestazioni dichiarate:*

Coefficiente di prestazione EER	5
Potenza frigorifera nominale	102 kW
Potenza elettrica assorbita	11,37 kW
Salto termico condensatore	5 °C
Salto termico all'evaporatore	5 °C

### *Vettore energetico:*

Tipo	<i>Energia elettrica</i>		
Fattore di conversione in energia primaria (rinnovabile)		$f_{p,ren}$	0,47
Fattore di conversione in energia primaria (non rinnovabile)		$f_{p,nren}$	1,95
Fattore di conversione in energia primaria		$f_p$	2,42
Fattore di emissione di CO <sub>2</sub>			0,46 kg <sub>CO2</sub> /kWh

### 3.8.5. Impianto fotovoltaico

#### Dati posizionamento pannelli:

Potenza di picco	$W_{pv}$	226	$W_p$
Superficie utile	$A_{pv}$	1,62	$m^2$
Fattore di efficienza	$f_{pv}$	0,75	
Efficienza nominale		0,14	

#### Dati del singolo modulo:

Orientamento rispetto al sud	$\gamma$	-19,6	°
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	$\beta$	10,0	°
Coefficiente di riflettenza (albedo)		0	
Ombreggiamento		Nessuno	

#### Dati totali:

Numero di moduli	900	
Potenza di picco totale	203400	$W_p$
Superficie utile totale	1458	$m^2$

Energia elettrica prodotta mensile		
Mese	$E_{pv}$	$E_{el,pv,out}$
	(kWh/m <sup>2</sup> )	(kWh)
gennaio	52,5	8009
febbraio	71,7	10933
marzo	105,4	16080
aprile	143,8	21934
maggio	185,3	28261
giugno	204,1	31128
luglio	207,8	31704
agosto	182,6	27848
settembre	143,6	21907
ottobre	70	10680
novembre	46,2	7045
dicembre	50	7625
TOTALI	1462,8	223155

#### Legenda simboli

$E_{pv}$  Irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico

$E_{el,pv,out}$  Energia elettrica mensile prodotta

### 3.9. MASCHERA RISULTATI ENERGIA PRIMARIA

#### 3.9.1. Nozioni generali

A seguito della configurazione degli impianti, è terminata la fase di introduzione di tutti i dati di input necessari alla completa definizione della prestazione energetica dell'edificio di progetto. Si attivano, di conseguenza, le ultime maschere di interesse a questa tesi, relativamente ai dati di output di energia primaria, rendimenti, verifiche di legge e classificazione energetica dell'immobile oggetto di analisi.

Nella maschera *Risultati energia primaria* vengono calcolati i risultati del fabbisogno di energia primaria e del rendimento globale medio stagionale di ciascun servizio energetico introdotto nell'analisi.

Come già si è detto al *Paragrafo 3.7.*, il fabbisogno di energia primaria rappresenta l'energia primaria (fonti energetiche naturali) utilizzata per produrre l'energia fornita al sistema tecnico relativo al pertinente servizio presente nell'edificio. Questa si calcola in base alle quantità consegnate dei vettori energetici complessivamente impiegati utilizzando i fattori di conversione in energia primaria definiti dal DM 26/06/2015 e riportati al *Paragrafo 1.12.1.*

Nel caso specifico di questa tesi, si ha la fornitura di due vettori energetici:

- energia elettrica in ingresso alla generazione (pompa di calore) e agli ausiliari dei sottosistemi di emissione, regolazione e distribuzione (pompe di circolazione, valvole, ...) dell'impianto;
- energia termica, derivante dall'acqua di falda, in ingresso alla generazione (pompa di calore) per il riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria.

Questi vettori sono trasformati in energia primaria attraverso i fattori di conversione che valutano la quota parte da fonte non rinnovabile  $f_{P,nren}$ , rinnovabile  $f_{P,ren}$  e totale  $f_{P,tot}$ . In *Tabella 3.21* si riportano i fattori di conversione dell'energia elettrica da rete, dell'energia elettrica prodotta da un impianto fotovoltaico e dell'energia termica da ambiente esterno in caso di pompa di calore.

*Tabella 3.21 – Fattori di conversione in energia primaria del DM 26/06/2015 di alcuni vettori energetici. [Fonte: DM 26/06/2015]*

<b>Vettore energetico</b>	<b><math>f_{P,nren}</math></b>	<b><math>f_{P,ren}</math></b>	<b><math>f_{P,tot}</math></b>
Energia elettrica da rete	1,95	0,47	2,42
Energia elettrica prodotta da fotovoltaico	0	1	1
Energia termica dall'ambiente esterno – pompa di calore	0	1	1

Il fabbisogno di energia primaria rappresenta, dunque, il consumo di fonti energetiche naturali, rinnovabili o non rinnovabili, per produrre il fabbisogno di energia termica utile dell'edificio di progetto al fine di mantenere le temperature interne desiderate, in estate e in inverno, e per la produzione di acqua calda sanitaria.

Il rendimento globale medio stagionale è definito nel Dlgs 192/2005 e nelle UNI/TS 11300 come rapporto tra il fabbisogno di energia termica utile e il fabbisogno di energia primaria del singolo servizio. In realtà si possono definire almeno tre tipologie di energia termica utile:

- energia utile ideale, che corrisponde al fabbisogno energetico del solo fabbricato, esclusi gli impianti (per il riscaldamento e il raffrescamento calcolati al *Paragrafo 3.7.*);
- energia utile netta, pari all'energia utile ideale a cui viene sottratta l'energia recuperata dal sistema impiantistico;
- energia utile effettiva, che corrisponde all'energia termica in uscita dal generatore ed è pari all'energia utile netta a cui è sommata l'energia dispersa dal sistema impiantistico.

### 3.9.2. Servizio di riscaldamento

Il fabbisogno di energia primaria totale per il riscaldamento è dato da:

$$Q_{H,P,tot} = Q_{H,P,nren} + Q_{H,P,ren} \quad (3.15)$$

dove:

- $Q_{H,P,tot}$  è il fabbisogno di energia primaria totale per il riscaldamento, espresso in *kWh*;
- $Q_{H,P,nren}$  è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per il riscaldamento, espresso in *kWh*;
- $Q_{H,P,ren}$  è il fabbisogno di energia primaria rinnovabile per il riscaldamento, espresso in *kWh*;

Il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile  $Q_{H,P,nren}$  è dato da:

$$Q_{H,P,nren} = Q_{H,el} \times f_{P,el,nren} \quad (3.16)$$

dove:

- $Q_{H,el}$  è l'energia elettrica fornita da rete all'impianto di riscaldamento, espressa in *kWh*;
- $f_{P,el,nren}$  è il fattore di conversione in energia primaria non rinnovabile dell'energia elettrica da rete.

Come si vedrà in seguito, la produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico dell'edificio di progetto è sufficiente a coprire pienamente i fabbisogni di elettricità di tutti i servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria. Pertanto, non si ha energia elettrica da rete:

$$Q_{H,el} = 0 \text{ kWh}$$

Di conseguenza:

$$Q_{H,P,nren} = 0 \text{ kWh}$$

Il fabbisogno di energia primaria rinnovabile  $Q_{H,P,ren}$  è dato da:

$$Q_{H,P,ren} = Q_{H,el} \times f_{P,el,ren} + Q_{H,fv} \times f_{P,fv,ren} + Q_{H,gen,in,RES} \times f_{P,pdC,ren} \quad (3.17)$$

dove:

- $Q_{H,fv}$  è l'energia elettrica da fotovoltaico fornita all'impianto di riscaldamento, espressa in *kWh*;
- $Q_{H,gen,in,RES}$  è il contributo RES in ingresso alla generazione, espresso in *kWh*;
- $f_{P,el,ren}$  è il fattore di conversione in energia primaria rinnovabile dell'energia elettrica da rete;
- $f_{P,fv,ren}$  è il fattore di conversione in energia primaria rinnovabile dell'energia elettrica da fotovoltaico;
- $f_{P,pdC,ren}$  è il fattore di conversione in energia primaria rinnovabile dell'energia termica in ingresso alla pompa di calore.

Anche in questo caso,  $Q_{H,el}$  è pari a 0 kWh.

L'energia elettrica fornita dal fotovoltaico  $Q_{H,fv}$  corrisponde a:

$$Q_{H,fv} = Q_{H,gen,in} + Q_{H,aux} \quad (3.18)$$

dove:

- $Q_{H,gen,in}$  è l'energia elettrica in ingresso al generatore per il riscaldamento, espressa in kWh;
- $Q_{H,aux}$  è l'energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi per il riscaldamento, espressa in kWh.

Il contributo RES in ingresso alla generazione  $Q_{H,gen,in,RES}$  è il contributo di energia termica rinnovabile fornito alla pompa di calore, determinato secondo il Dlgs 199/2021:

$$Q_{H,gen,in,RES} = Q_{H,gen,out} \times \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad (3.19)$$

dove:

- $Q_{H,gen,out}$  è l'energia termica in uscita dal generatore per il riscaldamento, espressa in kWh;
- $SPF$  è il fattore di rendimento stagionale medio stimato per la pompa di calore.

Il fattore SPF, nel caso specifico della presente analisi, è pari a:

$$SPF = \frac{Q_{H,gen,out}}{Q_{H,gen,in}} \quad (3.20)$$

Pertanto, l'Equazione (3.19) diventa:

$$Q_{H,gen,in,RES} = Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,in} \quad (3.21)$$

In conclusione, l'Equazione (3.15) diventa:

$$Q_{H,P,tot} = (Q_{H,gen,in} + Q_{H,aux}) \times f_{P,fv,ren} + (Q_{H,gen,out} - Q_{H,gen,in}) \times f_{P,pdC,ren} \quad (3.22)$$

Dalla *Tabella 3.21*, i fattori  $f_{P,ren}$  sono pari a 1:

$$Q_{H,P,tot} = Q_{H,gen,out} + Q_{H,aux} \quad (3.23)$$

In *Tabella 3.22* si riportano i dati di ingresso e il risultato di fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento  $Q_{H,P,tot}$  dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.22 – Risultato del fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento  $Q_{H,P,tot}$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]*

$Q_{H,gen,out}$ (kWh)	$Q_{H,aux}$ (kWh)	$Q_{H,P,tot}$ (kWh)
32214	2537	34751

Il rendimento globale medio stagionale per il riscaldamento  $\eta_H$  si calcola come:

$$\eta_H = \frac{Q'_{H,sys,out}}{Q_{H,P,tot}} \quad (3.24)$$

dove:

- $Q'_{H,sys,out}$  è il fabbisogno ideale di energia termica utile al netto dei recuperi per il riscaldamento, espresso in kWh;

In *Tabella 3.23* si riportano i dati di ingresso e il risultato del rendimento globale medio stagionale per il riscaldamento  $\eta_H$  dell'edificio di progetto.

Tabella 3.23 – Risultato di rendimento globale medio stagionale per il riscaldamento  $\eta_H$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]

$Q'_{H,sys,out}$ (kWh)	$Q_{H,P,tot}$ (kWh)	$\eta_H$ (%)
31351	34751	90,2

In Figura 3.33 si riportano tutti i dati e i risultati dell'energia primaria per il riscaldamento determinati da Edilclima.

Impianto Centralizzato

---

**Impianto idronico**

Fabbisogni termici (kWh/anno)	Sottosistemi		Fabbisogni elettrici (kWh/anno)		Rendimenti (%)	
QH,sys,out	32508	Emissione	QH,em,aux	0	$\eta_{H,em}$	98,0
Q'H,sys,out	31351	Regolazione	--	--	$\eta_{H,rg}$	97,0
QH,gen,out	32214	Distribuzione utenza	QH,du,aux	275	$\eta_{H,du}$	100,0
QH,gen,in	5700	Accumulo	--	--	$\eta_{H,s}$	99,7
		Distribuzione primaria	QH,dp,aux	2262	$\eta_{H,dp}$	102,6
		Generazione	QH,gen,aux	0	$\eta_{H,gen,ut}$	565,1 (rispetto a energia utile)
					$\eta_{H,gen,p,nren}$	289,8 (rispetto a energia pr. non rinn.)
					$\eta_{H,gen,p,tot}$	79,9 (rispetto a energia pr. totale)

---

**Risultati Globali**

Energia primaria (kWh/anno)	Consumi	Rendimento globale medio stagionale (%)
QH,p,nren	Tipologia vettore energetico: Energia elettrica	$\eta_{H,g,p,nren}$
0	Consumo vettore energetico: 0 -	0,0 (rispetto a energia pr. non rinn.)
QH,p,tot	Consumo energia elettrica: 0 kWh/anno	$\eta_{H,g,p,tot}$
34751	Gradi giorno: 2412 °Cg	90,2 (rispetto a energia pr. totale)

Figura 3.33 – Scheda Riscaldamento della maschera Risultati energia primaria di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### 3.9.3. Servizio di produzione acqua calda sanitaria

Il fabbisogno di energia primaria totale per la produzione di acqua calda sanitaria è dato da:

$$Q_{W,P,tot} = Q_{W,P,nren} + Q_{W,P,ren} \quad (3.25)$$

dove:

- $Q_{W,P,tot}$  è il fabbisogno di energia primaria totale per la produzione di acqua calda sanitaria, espresso in *kWh*;
- $Q_{W,P,nren}$  è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria, espresso in *kWh*;
- $Q_{W,P,ren}$  è il fabbisogno di energia primaria rinnovabile per la produzione di acqua calda sanitaria, espresso in *kWh*;

Anche per il servizio di acqua calda sanitaria si ha una totale copertura di energia elettrica prodotta da fotovoltaico. Pertanto, si ha:

$$Q_{W,P,nren} = 0 \text{ kWh}$$

Similmente al servizio di riscaldamento, considerando l'energia elettrica in ingresso alla generazione e agli ausiliari e il contributo RES di energia termica alla pompa di calore, l'Equazione (3.25) diventa:

$$Q_{W,P,tot} = (Q_{W,gen,in} + Q_{W,aux}) \times f_{P,fv,ren} + (Q_{W,gen,out} - Q_{W,gen,in}) \times f_{P,pdC,ren} \quad (3.26)$$

dove:

- $Q_{W,gen,in}$  è l'energia elettrica in ingresso al generatore per la produzione di acqua calda sanitaria, espressa in *kWh*;
- $Q_{W,aux}$  è l'energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi per la produzione di acqua calda sanitaria, espressa in *kWh*;
- $Q_{W,gen,out}$  è il fabbisogno di energia termica utile in uscita dal generatore per la produzione di acqua calda sanitaria, espresso in *kWh*.

E cioè:

$$Q_{W,P,tot} = Q_{W,gen,out} + Q_{W,aux} \quad (3.27)$$

In *Tabella 3.24* si riportano i dati di ingresso e il risultato di fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria  $Q_{W,P,tot}$  dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.24 – Risultato del fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria  $Q_{W,P,tot}$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]*

$Q_{W,gen,out}$ (kWh)	$Q_{W,aux}$ (kWh)	$Q_{W,P,tot}$ (kWh)
32311	0	32311

Il rendimento globale medio stagionale per la produzione di acqua calda sanitaria  $\eta_W$  si calcola come:

$$\eta_W = \frac{Q_{W,sys,out,rec}}{Q_{W,P,tot}} \quad (3.28)$$

dove:

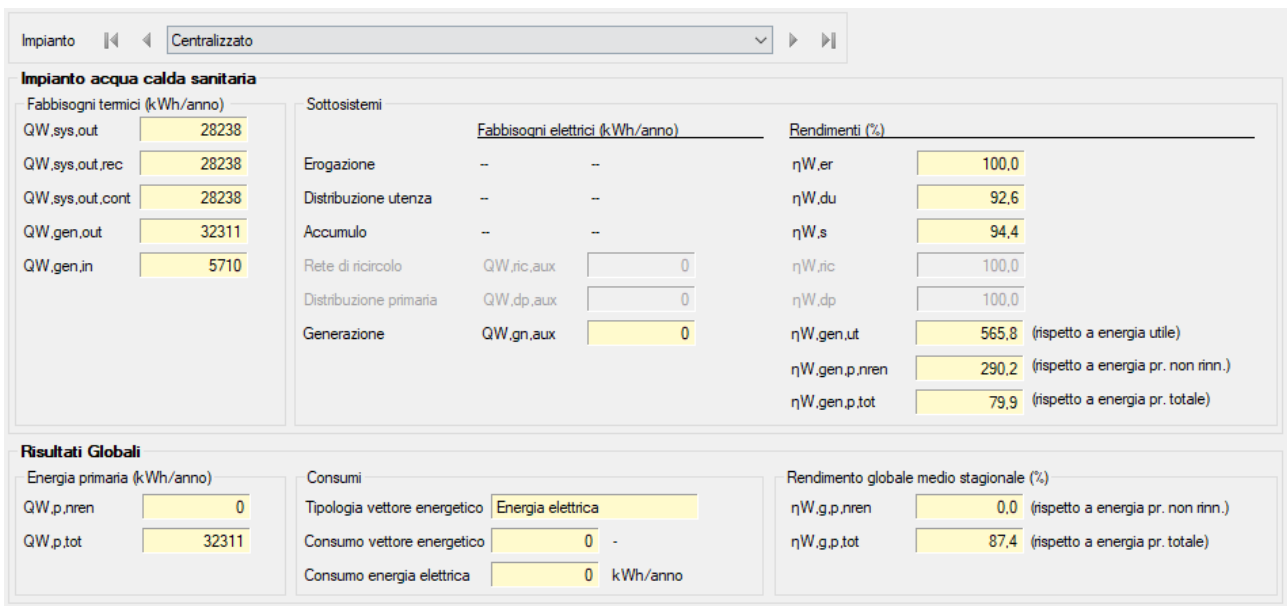
- $Q_{W,sys,out,rec}$  è il fabbisogno ideale di energia termica utile al netto dei recuperi per la produzione di acqua calda sanitaria, espresso in kWh.

In *Tabella 3.25* si riportano i dati di ingresso e il risultato del rendimento globale medio stagionale per la produzione di acqua calda sanitaria  $\eta_W$  dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.25 – Risultato di rendimento globale medio stagionale per la produzione di acqua calda sanitaria  $\eta_W$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]*

$Q_{W,sys,out,rec}$	$Q_{W,P,tot}$	$\eta_W$
(kWh)	(kWh)	(%)
28238	32311	87,4

In *Figura 3.34* si riportano tutti i dati e i risultati dell'energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria determinati da Edilclima.



*Figura 3.34 – Scheda Acqua calda sanitaria della maschera Risultati energia primaria di Edilclima. [Fonte: Edilclima]*



### 3.9.4. Servizio di raffrescamento

Il fabbisogno di energia primaria totale per il raffrescamento è dato da:

$$Q_{C,P,tot} = Q_{C,P,nren} + Q_{C,P,ren} \quad (3.29)$$

dove:

- $Q_{C,P,tot}$  è il fabbisogno di energia primaria totale per il raffrescamento, espresso in  $kWh$ ;
- $Q_{C,P,nren}$  è il fabbisogno di energia primaria non rinnovabile per il raffrescamento, espresso in  $kWh$ ;
- $Q_{C,P,ren}$  è il fabbisogno di energia primaria rinnovabile per il raffrescamento, espresso in  $kWh$ ;

Anche per il servizio di raffrescamento si ha una totale copertura di energia elettrica prodotta da fotovoltaico. Pertanto, si ha:

$$Q_{C,P,nren} = 0 \text{ kWh}$$

Diversamente dai servizi precedenti, per l'impianto di raffrescamento si considera solamente l'energia elettrica in ingresso alla generazione e agli ausiliari. In estate la pompa di calore diventa una macchina frigorifera e il flusso di energia termica è verso l'ambiente esterno; pertanto, non si ha alcun contributo RES. L'Equazione (3.29) diventa:

$$Q_{C,P,tot} = (Q_{C,gen,in} + Q_{C,aux}) \times f_{P,fv,ren} \quad (3.30)$$

dove:

- $Q_{C,gen,in}$  è l'energia elettrica in ingresso al generatore per il raffrescamento, espressa in  $kWh$ ;
- $Q_{C,aux}$  è l'energia elettrica degli ausiliari dei sottosistemi per il raffrescamento, espressa in  $kWh$ ;

E cioè:

$$Q_{C,P,tot} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,aux} \quad (3.31)$$

In *Tabella 3.26* si riportano i dati di ingresso e il risultato di fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento  $Q_{C,P,tot}$  dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.26 – Risultato del fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento  $Q_{C,P,tot}$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]*

$Q_{C,gen,ing}$	$Q_{C,aux}$	$Q_{C,P,tot}$
(kWh)	(kWh)	(kWh)
6283	1003	7286

Il rendimento globale medio stagionale per il raffrescamento  $\eta_C$  si calcola come:

$$\eta_C = \frac{Q_{C,sys,out}}{Q_{C,P,tot}} \quad (3.32)$$

dove:

- $Q_{C,sys,out}$  è il fabbisogno ideale di energia termica utile per il raffrescamento, espresso in  $kWh$ ;

In *Tabella 3.27* si riportano i dati di ingresso e il risultato del rendimento globale medio stagionale per il raffrescamento  $\eta_C$  dell'edificio di progetto.

Tabella 3.27 – Risultato di rendimento globale medio stagionale per il raffrescamento  $\eta_C$ . [Fonte: elaborazione dell'autore]

$Q_{C,sys,out}$	$Q_{C,P,tot}$	$\eta_C$
(kWh)	(kWh)	(%)
28466	7286	390,7

In Figura 3.35 si riportano tutti i dati e i risultati dell'energia primaria per il raffrescamento determinati da Edilclima.

Impianto

**Impianto raffrescamento**

Fabbisogni termici (kWh/anno)

QC,sys,out	28466
QC,sys,out,intern	28466
QC,sys,out,cont	28466
QC,sys,out,corr	28466
QC,gen,out	31416
QC,gen,in	6283

Sottosistemi

	Fabbisogni elettrici (kWh/anno)		Rendimenti (%)	
Emissione	QC,em,aux	0	$\eta_{C,em}$	97,0
Regolazione	--	--	$\eta_{C,rg}$	98,0
Distribuzione utenza	QC,du,aux	79	$\eta_{C,du}$	98,0
Accumulo	--	--	$\eta_{C,s}$	99,4
Distribuzione primaria	QC,dp,aux	924	$\eta_{C,dp}$	97,9
Generazione	QC,gen,aux	0	$\eta_{C,gn}$	500,0 (rispetto a energia utile)
			$\eta_{C,gen,p,nren}$	256,4 (rispetto a energia pr. non rinn.)
			$\eta_{C,gen,p,tot}$	206,6 (rispetto a energia pr. totale)

**Risultati Globali**

Energia primaria (kWh/anno)		Consumi		Rendimento globale medio stagionale (%)	
QC,p,nren	0	Tipologia vettore energetico	Energia elettrica	$\eta_{C,g,p,nren}$	0,0 (rispetto a energia pr. non rinn.)
QC,p,tot	7286	Consumo vettore energetico	0 -	$\eta_{C,g,p,tot}$	390,7 (rispetto a energia pr. totale)
		Consumo energia elettrica	0 kWh/anno		

Figura 3.35 – Scheda Raffrescamento della maschera Risultati energia primaria di Edilclima. [Fonte: Edilclima]

### 3.9.5. Servizio solare fotovoltaico

EC700 calcola automaticamente l'energia elettrica prodotta dall'impianto fotovoltaico secondo la seguente formula:

$$E_{el,pv,out} = \frac{(E_{pv} \times W_{pv} \times f_{pv})}{I_{ref}} \quad (3.33)$$

dove:

- $E_{el,pv,out}$  è l'energia elettrica prodotta mensilmente dall'impianto fotovoltaico, espressa in *kWh*;
- $E_{pv}$  è l'irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico, espressa in *kWh/m<sup>2</sup>*;
- $W_{pv}$  è la potenza di picco del pannello fotovoltaico, espressa in *kW*;
- $f_{pv}$  è il fattore di efficienza dell'impianto fotovoltaico;
- $I_{ref}$  è l'irradianza solare di riferimento pari a 1 *kW/m<sup>2</sup>*.

I valori di energia elettrica prodotta mensilmente  $E_{el,pv,out}$  sono già stati determinati al *Paragrafo 3.8.5.* Di seguito si riportano i risultati di energia elettrica prodotta e consumata annualmente.

Energia elettrica annua da produzione fotovoltaica	223155 kWh/anno
Fabbisogno elettrico annuo totale dell'impianto	21234 kWh/anno
Percentuale di copertura del fabbisogno annuo	100 %
Energia elettrica annua da rete	0 kWh/anno
Energia elettrica annua prodotta e non consumata	201921 kWh/anno

L'impianto fotovoltaico è chiaramente sovradimensionato rispetto al fabbisogno elettrico annuo dell'edificio di progetto. Lo scopo è quello di stimare l'energia massima che si può produrre sfruttando a pieno la superficie della copertura, senza tenere conto dell'elevato costo d'installazione di tale servizio, al fine di avere un dato da soppesare. Si trarranno al *Capitolo 4.* le opportune conclusioni a riguardo.

### 3.10. MASCHERA VERIFICHE DI LEGGE

#### 3.10.1. Nozioni generali

Le verifiche di legge da eseguire e rispettare sono quelle fornite dal DM 26/06/2015, sulla prestazione termica ed energetica del sistema edificio-impianto, e dal Dlgs 199/2021 relativamente alle fonti energetiche rinnovabili (FER).

Come già si è detto al *Paragrafo 1.12.*, i parametri e gli indici prestazionali dell'edificio di progetto vanno confrontati perlopiù con i valori limite calcolati per l'edificio di riferimento, secondo il DM 26/06/2015. Tali valori sono determinati automaticamente da EC700 utilizzando le geometrie, i volumi, la posizione, gli orientamenti e gli impianti dell'edificio di progetto come base, a cui applicare le trasmittanze  $U$  e i rendimenti medi dei sottosistemi di utilizzazione  $\eta_u$  e generazione  $\eta_{gn}$  stabiliti dalla normativa stessa.

Le verifiche da eseguire del DM 26/06/2015 sono:

- Verifica termoigrometrica delle strutture opache delimitanti gli ambienti climatizzati, rivolte verso l'esterno, ambienti non climatizzati e ambienti vicini di una zona termica diversa.
- Verifica della trasmittanza media  $U_{media}$  delle strutture opache delimitanti gli ambienti non climatizzati e delle strutture opache di separazione tra unità immobiliari confinanti:

$$U_{media} \leq U_{lim} \quad (3.34)$$

- Verifica dell'area solare equivalente estiva  $A_{sol,eq}$  per unità di superficie utile:

$$A_{sol,eq} \leq A_{sol,eq,lim} \quad (3.35)$$

- Verifica del coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione  $H'_T$ :

$$H'_T \leq H'_{T,lim} \quad (3.36)$$

- Verifica dell'indice di prestazione termica utile per riscaldamento  $EP_{H,nd}$  e per raffrescamento  $EP_{C,nd}$ :

$$EP_{H,nd} \leq EP_{H,nd,lim} \quad (3.37)$$

$$EP_{C,nd} \leq EP_{C,nd,lim} \quad (3.38)$$

- Verifica dell'indice di prestazione energetica primaria globale totale  $EP_{gl,tot}$ :

$$EP_{gl,tot} \leq EP_{gl,tot,lim} \quad (3.39)$$

- Verifica dei rendimenti globali medio stagionali per riscaldamento  $\eta_H$ , produzione acqua calda sanitaria  $\eta_W$  e raffrescamento  $\eta_C$ :

$$\eta_H \geq \eta_{H,lim} \quad (3.40)$$

$$\eta_W \geq \eta_{W,lim} \quad (3.41)$$

$$\eta_C \geq \eta_{C,lim}$$

Le verifiche da eseguire del Dlgs 199/2021, per edifici pubblici, sono:

- Verifica della copertura da fonti energetiche rinnovabili del 65% dell'energia consumata per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Verifica della copertura da fonti energetiche rinnovabili del 65% dell'energia globale consumata per il riscaldamento, il raffrescamento e la produzione di acqua calda sanitaria.
- Verifica della potenza elettrica installata degli impianti alimentati da fonti rinnovabili  $P_{el,ren}$ :

$$P_{el,ren} \geq P_{el,ren,lim}$$

### 3.10.2. Verifiche

Di seguito si riportano gli esiti di ciascuna verifica.

#### **Verifica termoigrometrica:**

Questa verifica è stata già eseguita nella fase di definizione dei componenti dell'involucro edilizio. È risultata positiva per tutte le strutture opache dell'edificio di progetto. Al *Paragrafo 3.4.* è riportato il dettaglio delle verifiche dei componenti principali, mentre nelle Appendici A, B e C sono restituiti gli elenchi completi dei componenti muro, pavimento e soffitto.

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

#### **Verifica della trasmittanza media:**

Il valore della trasmittanza limite da legge  $U_{lim}$  delle strutture opache delimitanti gli ambienti non climatizzati e delle strutture opache di separazione tra unità immobiliari confinanti, è pari a:

$$U_{lim} = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

La maggior parte delle strutture opache dell'edificio di progetto hanno trasmittanza media  $U_{media}$  che non supera i  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Si hanno alcuni valori elevati in componenti usati sommariamente e in minima parte per definire alcuni locali non climatizzati; tali strutture hanno una trasmittanza massima di  $0,672 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

$$U_{media} \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

#### **Verifica dell'area solare equivalente estiva per unità di superficie:**

L'area solare equivalente estiva  $A_{sol,eq}$  per unità di superficie utile si calcola secondo le formule fornite dal DM 26/06/2015:

$$A_{sol,eq} = \frac{A_{sol,est}}{A_{sup\ utile}}$$

(3.44)

dove:

- $A_{sol,est}$  è l'area solare estiva di tutti i componenti finestrati, in funzione di:
  - $F_{sh,ob}$  fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni, riferito al mese di luglio;
  - $g_{gl+sh}$  trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
  - $F_F$  frazione di area relativa al telaio;
  - $A_{w,p}$  area proiettata totale del componente vetrato;
  - $F_{sol,est}$  fattore di correzione per l'irraggiamento incidente;
- $A_{sup\ utile}$  è la superficie utile di pavimento della zona termica.

Il valore limite dell'area solare equivalente  $A_{sol,eq,lim}$  è fornito dal DM 26/06/2015, in funzione della categoria dell'edificio E.1 (1).

In *Tabella 3.28* si riportano i valori di  $A_{sol,est}$ ,  $A_{sup\ utile}$ ,  $A_{sol,eq}$  e  $A_{sol,eq,lim}$  per ciascun appartamento dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.28 – Valori di area solare equivalente estiva per ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Zona termica	$A_{sol,est}$	$A_{sup\ utile}$	$A_{sol,eq}$	$A_{sol,eq,lim}$
	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )		
Appartamento 1	0,24	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 2	0,22	86,28	0,003	≤ 0,03
Appartamento 3	0,22	86,28	0,003	≤ 0,03
Appartamento 4	0,25	66,59	0,004	≤ 0,03
Appartamento 5	0,25	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 6	0,16	61,33	0,003	≤ 0,03
Appartamento 7	0,23	66,61	0,003	≤ 0,03
Appartamento 8	0,21	86,28	0,002	≤ 0,03
Appartamento 9	0,2	86,5	0,002	≤ 0,03
Appartamento 10	0,22	66,61	0,003	≤ 0,03
Appartamento 11	0,12	60,5	0,002	≤ 0,03
Appartamento 12	0,28	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 13	0,24	86,24	0,003	≤ 0,03
Appartamento 14	0,24	86,24	0,003	≤ 0,03
Appartamento 15	0,28	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 16	0,28	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 17	0,18	61,32	0,003	≤ 0,03
Appartamento 18	0,26	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 19	0,23	86,24	0,003	≤ 0,03
Appartamento 20	0,24	86,24	0,003	≤ 0,03
Appartamento 21	0,26	66,61	0,004	≤ 0,03
Appartamento 22	0,18	60,49	0,003	≤ 0,03

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica del coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione:**

Il coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione  $H'_T$  per unità di superficie utile si calcola secondo le formule fornite dal DM 26/06/2015:

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_k A_k} \tag{3.45}$$

dove:

- $H_{tr,adj}$  è il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione dell'involucro, in funzione dei coefficienti di scambio termico per pareti, pavimenti, soffitti e finestre, espresso in W/K.
- $\sum_k A_k$  è la sommatoria delle superfici del k-esimo componente costituente l'involucro, espressa in m<sup>2</sup>.

Il valore limite del coefficiente medio globale  $H'_{T,lim}$  è fornito dal DM 26/06/2015, in funzione del rapporto di forma  $S/V$  dell'appartamento e della zona climatica E della località.

In *Tabella 3.29* si riportano i valori di  $H_{tr,adj}$ ,  $\sum_k A_k$ ,  $H'_T$  e  $H'_{T,lim}$  per ciascun appartamento dell'edificio di progetto.

*Tabella 3.29 – Valori di coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione su ciascuna zona termica dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]*

Zona termica	S/V	$H_{tr,adj}$	$\sum_k A_k$	$H'_T$	$H'_{T,lim}$
		(W/K)	(m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)
Appartamento 1	0,75	58,2	210,7	0,28	≤ 0,5
Appartamento 2	0,65	58,7	231,1	0,25	≤ 0,55
Appartamento 3	0,65	58,7	231,1	0,25	≤ 0,55
Appartamento 4	0,66	53	180,9	0,29	≤ 0,55
Appartamento 5	0,66	53,3	180,9	0,29	≤ 0,55
Appartamento 6	0,73	46,8	187,2	0,25	≤ 0,5
Appartamento 7	0,7	55,1	193,5	0,28	≤ 0,55
Appartamento 8	0,74	64,6	265,1	0,24	≤ 0,5
Appartamento 9	0,74	64,1	265,5	0,24	≤ 0,5
Appartamento 10	0,74	57,3	208,8	0,27	≤ 0,5
Appartamento 11	0,8	49,6	203,3	0,24	≤ 0,5
Appartamento 12	0,76	53,2	206,6	0,26	≤ 0,5
Appartamento 13	0,66	52	225,8	0,23	≤ 0,55
Appartamento 14	0,66	52	228,8	0,23	≤ 0,55
Appartamento 15	0,66	48,2	177,6	0,27	≤ 0,55
Appartamento 16	0,66	48,4	177	0,27	≤ 0,55
Appartamento 17	0,74	42,1	182,6	0,23	≤ 0,5
Appartamento 18	0,7	50,1	189	0,27	≤ 0,5
Appartamento 19	0,74	57,7	259	0,22	≤ 0,5
Appartamento 20	0,74	57,7	259	0,22	≤ 0,5
Appartamento 21	0,75	52,3	204,8	0,26	≤ 0,5
Appartamento 22	0,8	45,3	199	0,23	≤ 0,5

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica dell'indice di prestazione termica utile per riscaldamento e raffrescamento:**

Gli indici di prestazione termica  $EP_{H,nd}$  e  $EP_{C,nd}$  si determinano rapportando i fabbisogni ideali di energia termica utile per riscaldamento  $Q_{H,nd}$  e raffrescamento  $Q_{C,nd}$  (calcolati al *Paragrafo 3.7.*) alla superficie netta di pavimento  $A_{netta}$  dell'edificio di progetto (degli ambienti climatizzati).

$$Q_{H,nd} = 32508 \text{ kWh}$$

$$Q_{C,nd} = 28465 \text{ kWh}$$

$$A_{netta} = 1600 \text{ m}^2$$

$$EP_{H,nd} = 20,32 \text{ kWh/m}^2$$



$$EP_{C,nd} = 17,79 \text{ kWh/m}^2$$

I valori limite degli indici di prestazione termica  $EP_{H,nd,lim}$  e  $EP_{C,nd,lim}$  dell'edificio di riferimento sono:

$$EP_{H,nd,lim} = 33,61 \text{ kWh/m}^2$$

$$EP_{C,nd,lim} = 24,72 \text{ kWh/m}^2$$

Pertanto:

$$EP_{H,nd} \leq 33,61 \text{ kWh/m}^2$$

$$EP_{C,nd} \leq 24,72 \text{ kWh/m}^2$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica dell'indice di prestazione energetica primaria globale totale:**

L'indice di prestazione energetica  $EP_{gl,tot}$  si determina rapportando il fabbisogno di energia primaria globale (di tutti i servizi presenti nell'edificio) totale (rinnovabile e non rinnovabile)  $Q_{P,gl,tot}$  alla superficie netta di pavimento  $A_{netta}$  dell'edificio di progetto (degli ambienti climatizzati):

$$Q_{P,gl,tot} = Q_{H,P,tot} + Q_{W,P,tot} + Q_{C,P,tot} \quad (3.46)$$

dove  $Q_{H,P,tot}$ ,  $Q_{W,P,tot}$  e  $Q_{C,P,tot}$  sono i fabbisogni di energia primaria totale rispettivamente dei servizi di riscaldamento, produzione acqua calda sanitaria e raffrescamento calcolati al *Paragrafo 3.8.*

$$Q_{P,gl,tot} = 34751 + 32311 + 7286 = 74348 \text{ kWh}$$

$$A_{netta} = 1600 \text{ m}^2$$

$$EP_{gl,tot} = 46,47 \text{ kWh/m}^2$$

Il valore limite dell'indice di prestazione termica  $EP_{gl,tot,lim}$  dell'edificio di riferimento è:

$$EP_{gl,tot,lim} = 78,92 \text{ kWh/m}^2$$

Pertanto:

$$EP_{gl,tot} \leq 78,92 \text{ kWh/m}^2$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica dei rendimenti globali medio stagionali:**

I rendimenti globali medio stagionali per riscaldamento  $\eta_H$ , produzione acqua calda sanitaria  $\eta_W$  e raffrescamento  $\eta_C$  sono calcolati al *Paragrafo 3.8.*:

$$\eta_H = 90,2 \%$$

$$\eta_W = 87,4 \%$$

$$\eta_C = 390,7 \%$$

I valori limite dei rendimenti globali medio stagionali  $\eta_{H,lim}$ ,  $\eta_{W,lim}$  e  $\eta_{C,lim}$  dell'edificio di riferimento sono:

$$\eta_{H,lim} = 81 \%$$

$$\eta_{W,lim} = 70 \%$$

$$\eta_{C,lim} = 202,5 \%$$

Pertanto:

$$\eta_H \geq 81 \%$$

$$\eta_W \geq 70 \%$$

$$\eta_C \geq 202,5 \%$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica della copertura acqua calda sanitaria da fonte rinnovabile:**

Come si è visto al *Paragrafo 3.9.3.* il fabbisogno dell'energia primaria totale per la produzione di acqua calda sanitaria  $Q_{W,P,tot}$  è interamente coperto de energia prodotta a partire da fonti rinnovabili (energia elettrica da fotovoltaico ed energia termica dall'acqua di falda):

$$Q_{W,P,tot} = Q_{W,P,ren} = 32311 \text{ kWh}$$

Pertanto:

$$\text{copertura acqua calda sanitaria} = 100\% \geq 65\%$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica della copertura totale da fonte rinnovabile:**

Come si è visto al *Paragrafo 3.9.3.* il fabbisogno dell'energia primaria totale di ogni servizio energetico  $Q_{H,P,tot}$ ,  $Q_{W,P,tot}$  e  $Q_{C,P,tot}$  è interamente coperto de energia prodotta a partire da fonti rinnovabili (energia elettrica da fotovoltaico ed energia termica dall'acqua di falda):

$$Q_{H,P,tot} = Q_{H,P,ren} = 34751 \text{ kWh}$$

$$Q_{W,P,tot} = Q_{W,P,ren} = 32311 \text{ kWh}$$

$$Q_{C,P,tot} = Q_{C,P,ren} = 7286 \text{ kWh}$$

$$Q_{P,gl,tot} = Q_{P,gl,ren} = 74348 \text{ kWh}$$

Pertanto:

$$\text{copertura globale} = 100\% \geq 65\%$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

**Verifica della potenza elettrica installata dell'impianto fotovoltaico:**

La potenza elettrica installata dell'impianto fotovoltaico  $P_{el,ren}$  è già stata calcolata al *Paragrafo 3.8.5.*:

$$P_{el,ren} = 203,4 \text{ kW}$$

Il Dlgs 199/2021 dispone un obbligo per gli edifici di nuova costruzione. La potenza elettrica obbligatoria degli impianti alimentati da fonti rinnovabili è calcolata secondo la seguente formula:

$$P_{el,ren,lim} = k \times S \tag{3.47}$$

dove:

- $P_{el,ren,lim}$  è la potenza elettrica obbligatoria dell'impianto alimentato da fonti rinnovabili, espressa in kW;
- $k$  è uguale a 0,05 per gli edifici di nuova costruzione;
- $S$  è la proiezione al suolo della sagoma dell'edificio, espressa in  $m^2$ .

Per gli edifici pubblici, la potenza elettrica obbligatoria  $P_{el,ren,lim}$  va incrementata del 10%.  
Con  $S$  pari a  $1700 \text{ m}^2$ :

$$P_{el,ren,lim} = 0,05 \times 1,1 \times 1700 = 93,5 \text{ kW}$$

Pertanto:

$$P_{el,ren} \geq 93,5 \text{ kW}$$

ESITO VERIFICA

**POSITIVO**

### 3.11. MASCHERA ATTESTATI ENERGETICI

La classe energetica dell'edificio dipende dall'indice di prestazione energetica primaria globale non rinnovabile  $EP_{gl,nren}$ . Questo è dato dal rapporto tra fabbisogno di energia primaria globale non rinnovabile  $Q_{P,gl,nren}$  e superficie netta di pavimento  $A_{netta}$  dell'edificio di progetto. Come abbiamo già visto nei paragrafi precedenti, si ha una totale copertura di energia primaria da fonti rinnovabili:

$$Q_{P,gl,nren} = 0 \text{ kWh}$$

Pertanto:

$$EP_{gl,nren} = 0 \text{ kWh/m}^2$$

La classe energetica globale dell'edificio di progetto è A4 e, avendo rispettato tutte le verifiche di legge, comprese le FER, si può considerare l'immobile un edificio a energia quasi zero.

Le analisi fin qui eseguite, secondo il calcolo regolamentare previsto da normativa, hanno infine permesso la produzione dell'attesto di prestazione energetica APE dell'edificio di progetto [Figura 3.36].

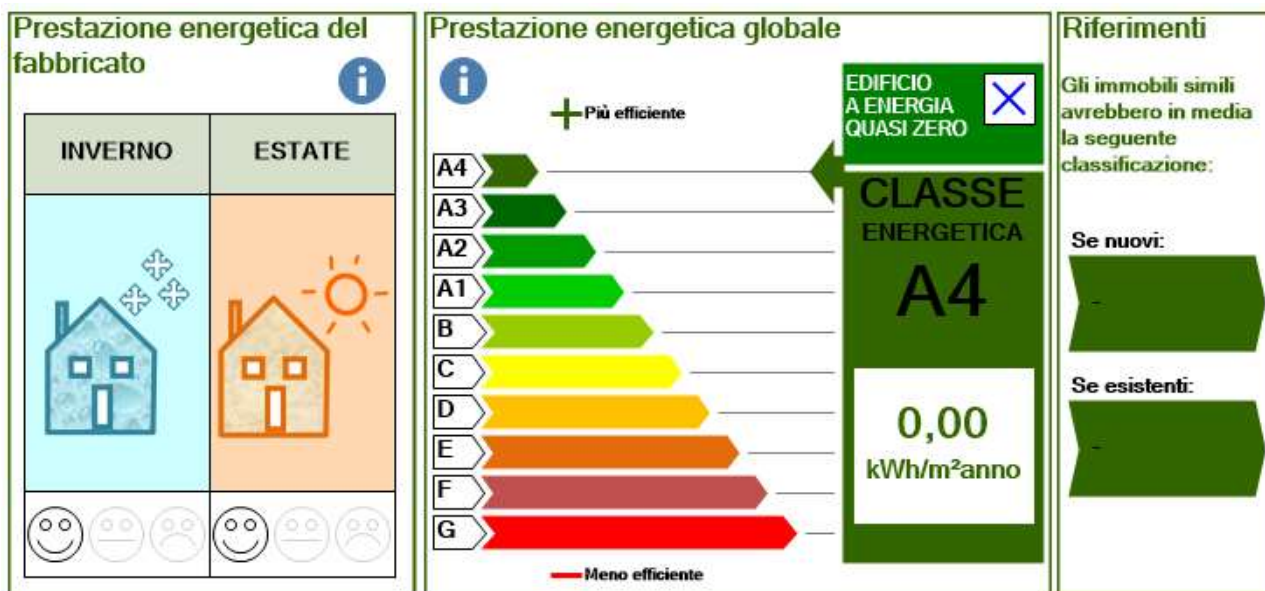


Figura 3.36 – Riproduzione di parte dell'attesto di prestazione energetica APE dell'edificio di progetto. [Fonte: elaborazione dell'autore]

## 4. CONCLUSIONI

I primi numeri interessanti da commentare sono quelli sul fabbisogno di energia termica per la stagione invernale e quella estiva. Dalle verifiche di legge, confrontando gli indici di prestazione termica nelle due stagioni dell'edificio di progetto con quelli dell'edificio di riferimento si osserva che i primi sono rispettivamente il 60% e il 72% dei secondi. Questi risultati sono dovuti principalmente alla scelta di progettare i componenti dell'edificio di studio in modo da ottenere trasmittanze  $U$  minori o uguali a quelle stabilite dal DM 26/06/2015 per l'edificio di riferimento. Infatti, la principale differenza tra i due fabbricati è costituita dalle caratteristiche termiche delle strutture.

Nel corso delle analisi si è notata, inoltre, la fondamentale influenza degli apporti solari sui fabbisogni di energia termica dell'edificio di progetto. In particolare, è opportuno valutare attentamente la presenza di sistemi di ombreggiamento per i componenti finestrati rivolti a sud, sia nella stagione invernale che in quella estiva. Schermature leggere o semitrasparenti nella stagione fredda permettono di massimizzare gli effetti benevoli degli apporti solari, mentre nella stagione calda è doveroso assicurarsi il maggiore ombreggiamento possibile quando il sole irraggia le vetrate, al fine di evitare il surriscaldamento degli ambienti interni.

Osservando i principali risultati dei fabbisogni di energia primaria dei servizi impiantistici dell'edificio di progetto si può dire che circa il 29% deriva da energia solare trasformata in energia elettrica dall'impianto fotovoltaico, mentre il 71% è energia termica ricavata da quella idrotermica fornita dall'acqua di falda. Questi numeri, più che soddisfacenti, sono dovuti all'utilizzo di sistemi di generazione ad alta efficienza, quali le pompe di calore e le macchine frigorifere, che sfruttano principalmente l'energia termica fornita dall'ambiente esterno a discapito di minori quantità di energia elettrica. Ciò permette di ridurre notevolmente la richiesta di quest'ultima forma di energia da parte dell'edificio di progetto, sebbene sia totalmente prodotta a partire da fonti rinnovabili.

Il fabbisogno di energia primaria dei servizi di riscaldamento e produzione acqua calda sanitaria è notevolmente più alto di quello usato dal servizio di raffrescamento. Questo fatto è dovuto all'energia termica, oltre a quella elettrica, che viene introdotta nei primi due sistemi impiantistici, mentre nel terzo si conteggia solamente l'energia elettrica in ingresso alla generazione. Infatti, nella pompa di calore, utilizzata come macchina frigorifera, si ha che il calore accumulato dal fluido termovettore necessario a raffrescare l'edificio di progetto viene esportato e rilasciato nell'ambiente esterno. Pertanto, non si ha un consumo di energia primaria (fonte energetica naturale).

È doveroso fare alcune osservazioni sulla produzione di energia elettrica dell'impianto fotovoltaico installato e della copertura del fabbisogno di energia elettrica dell'edificio di progetto. A prima impressione, gli ottimi risultati sembrano ovvii considerando l'elevata fornitura del servizio solare. Questo, come già accennato in precedenza, è stato volutamente sovradimensionato per avere un dato su cui fare opportune riflessioni.

Per poter dimensionare correttamente questo sistema impiantistico è necessaria una adeguata analisi costi-benefici, in modo da valutare tutti i risparmi di energia, i costi di installazione e manutenzione, gli incentivi statali e gli eventuali guadagni forniti dalla vendita dell'energia elettrica prodotta. Non è ambito della presente tesi approfondire tale tema, tuttavia, si possono fare alcuni rapidi ragionamenti su potenze ed energie.

Innanzitutto, si ricorda l'obbligo di potenza elettrica installata disposto dal Dlgs 199/2021, riportato nelle verifiche FER al *Paragrafo 3.10.2.*. Il valore calcolato di potenza elettrica installata obbligatoria da legge nell'edificio di progetto è pari a 93,5 kW, che è poco meno della metà di quella installata da progetto, pari a 203,4 kW (riportata al *Paragrafo 3.8.5.*). Per avere la potenza elettrica obbligatoria sono sufficienti 415 pannelli, contro i 900 attuali, i quali possono produrre fino a 102651 kWh/anno di energia elettrica. Meno della metà di quella calcolata con 900 pannelli, pari a 223155

kWh/anno, ma sempre nettamente maggiore del fabbisogno di energia elettrica dei servizi installati nell'edificio di progetto, pari a 21234 kWh/anno. Inoltre, i 93,5 kW di potenza elettrica obbligatoria corrispondono a 4,25 kW di potenza per ogni alloggio. Questa potenza, oltre ad essere utilizzata dai servizi energetici dell'edificio di progetto inseriti nella presente analisi, deve coprire anche gli ulteriori servizi e necessità che non si sono considerati. Ad esempio, l'impianto di ventilazione e deumidificazione, che con il sistema di raffrescamento a pannelli radianti è essenziale, l'illuminazione artificiale e l'energia elettrica di elettrodomestici e apparecchi vari di uso quotidiano. Si consideri, infine, che si parla di potenze di picco. Tutto questo per dire che sicuramente i 900 pannelli sono una esagerazione ma, probabilmente, l'impianto da 415 pannelli rappresenta il limite minimo inferiore.

Riassumendo, nella progettazione a energia quasi zero di un edificio è obbligatorio prestare particolare accortezza a:

- luogo e clima della località;
- posizione e orientamenti dell'edificio;
- caratteristiche termiche dei componenti;
- ombreggiamenti e irraggiamenti;
- efficienze dei servizi energetici installati;
- utilizzo delle fonti rinnovabili di energia.

Tutto questo ha un costo iniziale decisamente elevato il quale, però, nel tempo può essere in gran parte assorbito dai risparmi e guadagni di energia.

In conclusione, si può dire che la progettazione architettonica e i risultati dell'analisi energetica eseguita in questa tesi siano più che soddisfacenti.



## 5. BIBLIOGRAFIA

- ANIT. «MANUALE ANIT: FACCIATE VENTILATE.» *anit.it*. novembre 2021. <https://www.anit.it/wp-content/uploads/groups-file-access/Manuale-ANIT-Facciate-ventilate.pdf> (consultato il giorno 19 settembre, 2022).
- . «MANUALE ANIT: PROGETTAZIONE IGROTERMICA DELLE COPERTURE.» *anit.it*. marzo 2017. <https://www.anit.it/wp-content/uploads/groups-file-access/Manuale-ANIT-Progettazione-igrotermica-coperture.pdf> (consultato il giorno ottobre 09, 2022).
- ARPAV. *Bollettini*. 2023. [https://wwwold.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa\\_2023\\_TEMP.htm](https://wwwold.arpa.veneto.it/bollettini/storico/Mappa_2023_TEMP.htm) (consultato il giorno 02 marzo, 2023).
- . «STATO DELLE ACQUA SOTTERRANEE DELLA PROVINCIA DI PADOVA.» *arpa.veneto.it*. 2015. [https://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-padova/acqua/relazione\\_acque\\_sotterranee\\_padova\\_2015.pdf/@@display-file/file](https://www.arpa.veneto.it/arpav/chi-e-arpav/file-e-allegati/dap-padova/acqua/relazione_acque_sotterranee_padova_2015.pdf/@@display-file/file) (consultato il giorno 07 aprile, 2023).
- Comune di Padova. «Norme tecniche operative (NTO) del Pi.» *padovanet.it*. 13 febbraio 2023. <https://www.padovanet.it/informazione/norme-tecniche-operative-nto-del-pi> (consultato il giorno 25 febbraio, 2023).
- Edilclima. «CALCOLO DEL RENDIMENTO GLOBALE MEDIO STAGIONALE.» *edilclima.it*. 03 ottobre 2017. <http://utility.edilclima.it/media/EC700v8/CalcEffMedieGlobStag.pdf> (consultato il giorno 15 marzo, 2023).
- . *EC706 - Potenza estiva*. s.d. <https://www.edilclima.it/software-termotecnica/programmi-termotecnica-energetica/scheda/706> (consultato il giorno 12 marzo, 2023).
- . «VERIFICA DI CONDENSA INTERSTIZIALE.» *edilclima.it*. 11 gennaio 2019. <http://utility.edilclima.it/media/EC700v8/VerificaCondensaInterstiziale.pdf> (consultato il giorno 15 marzo, 2023).
- European Commission. *In focus: Energy efficiency in buildings*. 17 febbraio 2020. [https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17\\_en](https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en) (consultato il giorno 15 dicembre, 2022).
- Governo italiano. «DM 26/06/2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.» *mise.gov.it*. 26 giugno 2015. <https://www.mise.gov.it/index.php/it/normativa/decreti-interministeriali/decreto-interministeriale-26-giugno-2015-applicazione-delle-metodologie-di-calcolo-delle-prestazioni-energetiche-e-definizione-delle-prescrizioni-e-dei-requisiti-minimi-degli-edifici> (consultato il giorno 19 dicembre, 2022).
- Istat. *CensimentoPopolazioneAbitazioni*. 2011. <http://dati-censimentopopolazione.istat.it/Index.aspx> (consultato il giorno 15 dicembre, 2022).
- Ministero delle infrastrutture e dei trasporti. *Pnrr: assegnati 2,8 mld per il programma PinQua sulla qualità dell'abitare. Il 40% va al Mezzogiorno*. 07 ottobre 2021.



<https://www.mit.gov.it/comunicazione/news/pnrr-assegnati-28-mld-per-il-programma-pinqua-sulla-qualita-dellabitare-il-40-va> (consultato il giorno 07 febbraio, 2023).

PadovaNET. *Comunicato stampa: Programma qualità dell'abitare, 25 milioni per circa 300 case.* 20 marzo 2021. <https://www.padovanet.it/notizia/20210322/comunicato-stampa-programma-qualit%C3%A0-dellabitare-25-milioni-circa-300-case> (consultato il giorno 23 ottobre, 2021).

UNI. «UNI/TS 11300-1:2014.» *uni.com*. ottobre 2014. <https://store.uni.com/uni-ts-11300-1-2014>.

## 6. APPENDICI

### 6.1. APPENDICE A – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI MURO UTILIZZATI NELL'ANALISI

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y <sub>IE</sub>	Sfasamento	C <sub>T</sub>	ε	α	θ	U <sub>e</sub>	Verifica termoigrometrica
			(mm)	(kg/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(h)	(kJ/m <sup>2</sup> K)	(-)	(-)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> K)	
M1	T	Parete ventilata 1	395	90	0,007	-18,1	21,886	1	1	-6	0,165	V
M2	E	Parete ventilata 1	395	90	0,007	-18,1	21,886	1	1	-6	0,165	V
M3	E	Parete ventilata 2	330	84	0,027	-14,6	30,193	1	1	-6	0,203	V
M4	E	Parete ventilata 3	370	91	0,006	-18,7	21,89	1	1	-6	0,159	V
M5	T	Parete ventilata 3	370	91	0,006	-18,7	21,89	1	1	-6	0,159	V
M6	D	Parete portante interna 1	250	72	0,041	-12,3	22,298	1	1	-	0,292	-
M7	D	Tramezza interna 1	100	8	0,516	-3,1	23,547	1	1	-	0,572	-
M8	D	Tramezza interna 2	300	38	0,018	-15,8	23,265	1	1	-	0,148	-
M9	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	-0,5	0,156	V
M10	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M11	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,3	0,156	V
M12	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M13	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,5	0,156	V
M14	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	-1,4	0,156	V
M15	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,5	0,156	V
M16	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M17	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	-0,4	0,156	V
M18	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,1	0,156	V
M19	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,5	0,156	V
M20	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M21	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,3	0,156	V
M22	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,3	0,156	V
M23	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,1	0,156	V
M24	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M25	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,3	0,156	V
M26	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M27	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M28	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	7,6	0,156	V
M29	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	-1,6	0,156	V
M30	U	Parete divisoria 1	370	90	0,005	-19,8	21,89	1	1	0,5	0,156	V
M31	N	Parete divisoria 2	410	138	0,003	-22,0	21,933	1	1	14	0,187	V
M32	U	Parete divisoria 2	410	138	0,003	-22,0	21,933	1	1	-1,6	0,187	V
M33	U	Parete divisoria 2	410	138	0,003	-22,0	21,933	1	1	1	0,187	V
M34	U	Parete divisoria 2	410	138	0,003	-22,0	21,933	1	1	-1,4	0,187	V
M35	U	Parete divisoria 2	410	138	0,003	-22,0	21,933	1	1	1	0,187	V
M36	E	Parete garage 1	225	53	0,084	-9,2	23,204	1	1	-6	0,334	V
M37	E	Zoccolatura 1	335	459	0,01	-9,6	20,848	1	1	-6	0,274	V
M38	E	Zoccolatura 2	195	307	0,14	-6,4	52,922	1	1	-6	0,672	V
M39	E	Zoccolatura 3	355	108	0,006	-18,8	21,886	1	1	-6	0,161	V

M40	R	Muro di fondazione 1	320	579	0,057	-8,2	85,238	1	1	-6	0,309	V
M41	D	Porta 1 - 80x210 cm	50	11	0,766	-0,7	8,588	1	1	-	0,771	-
M42	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,3	0,629	V
M43	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	-0,5	0,629	V
M44	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,3	0,629	V
M45	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,3	0,629	V
M46	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	-1,6	0,629	V
M47	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,3	0,629	V
M48	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,5	0,629	V
M49	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,5	0,629	V
M50	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	-0,4	0,629	V
M51	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,5	0,629	V
M52	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	-1,4	0,629	V
M53	U	Porta 2 - 90x210 cm	60	11	0,624	-0,8	8,794	1	1	0,5	0,629	V
M54	E	Porta garage 1 - 285x220 cm	61	14	0,661	-0,8	10,296	1	1	-6	0,666	V

#### Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y <sub>IE</sub>	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C <sub>T</sub>	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
U <sub>e</sub>	Trasmittanza di energia della struttura

6.2. APPENDICE B – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI PAVIMENTO UTILIZZATI NELL'ANALISI

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y <sub>IE</sub>	Sfasamento	C <sub>T</sub>	ε	α	θ	U <sub>e</sub>	Verifica termoigrometrica
			(mm)	(kg/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(h)	(kJ/m <sup>2</sup> K)	(-)	(-)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> K)	
P1	R	Pavimento piano terra 1	291	304	0,107	-8,7	64,757	1	1	-6	0,237	V
P2	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,2	0,236	V
P3	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,5	0,236	V
P4	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P5	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P6	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,5	0,236	V
P7	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,5	0,236	V
P8	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,1	0,236	V
P9	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,3	0,236	V
P10	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,7	0,236	V
P11	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,1	0,236	V
P12	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V
P13	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P14	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-4,2	0,236	V
P15	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,8	0,236	V
P17	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P18	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,9	0,236	V
P19	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P20	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,6	0,236	V
P21	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,5	0,236	V
P22	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,2	0,236	V
P23	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,5	0,236	V
P24	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,3	0,236	V
P25	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,4	0,236	V
P26	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V
P27	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-4,2	0,236	V
P28	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V

P29	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P30	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P31	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P32	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,4	0,236	V
P33	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,4	0,236	V
P34	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,2	0,236	V
P35	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,2	0,236	V
P36	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,1	0,236	V
P37	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,3	0,236	V
P38	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,4	0,236	V
P39	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P40	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V
P41	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-4,2	0,236	V
P42	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V
P43	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,5	0,236	V
P44	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,2	0,236	V
P45	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P46	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P47	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,8	0,236	V
P48	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,3	0,236	V
P49	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-1,7	0,236	V
P50	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,1	0,236	V
P51	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,3	0,236	V
P52	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P53	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-4,2	0,236	V
P54	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,8	0,236	V
P55	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	1,5	0,236	V
P56	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,7	0,236	V
P57	U	Pavimento piano primo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	-0,4	0,236	V
P58	N	Pavimento piano secondo 1	410	274	0,006	-19,5	62,787	1	1	14	0,236	V

P59	E	Pavimento piano sottotetto 2	320	104	0,013	-16,4	20,945	1	1	-6	0,213	V
P60	R	Platea 1	300	720	0,971	-7,5	74,86	1	1	-6	0,536	-

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
$Y_{IE}$	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
$C_T$	Capacità termica areica
$\epsilon$	Emissività
$\alpha$	Fattore di assorbimento
$\theta$	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
$U_e$	Trasmittanza di energia della struttura

6.3. APPENDICE C – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI SOFFITTO UTILIZZATI NELL'ANALISI

Cod	Tipo	Descrizione	Sp	Ms	Y <sub>IE</sub>	Sfasamento	C <sub>T</sub>	ε	α	θ	U <sub>e</sub>	Verifica termoigrometrica
			(mm)	(kg/m <sup>2</sup> )	(W/m <sup>2</sup> K)	(h)	(kJ/m <sup>2</sup> K)	(-)	(-)	(°C)	(W/m <sup>2</sup> K)	
S1	N	Pavimento piano secondo 1	410	274	0,008	-18,431	22,61	1	1	14	0,244	V
S2	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,6	0,196	V
S3	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,2	0,196	V
S4	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2	0,196	V
S5	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,6	0,196	V
S6	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,5	0,196	V
S7	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,6	0,196	V
S8	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,5	0,196	V
S9	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1	0,196	V
S10	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,3	0,196	V
S11	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,6	0,196	V
S12	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,3	0,196	V
S13	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,4	0,196	V
S14	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,4	0,196	V

S15	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,6	0,196	V
S16	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2	0,196	V
S17	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,2	0,196	V
S18	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,3	0,196	V
S19	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,2	0,196	V
S20	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,3	0,196	V
S21	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	1,7	0,196	V
S22	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	2,2	0,196	V
S23	U	Pavimento piano sottotetto 1	320	97	0,01	-16,658	22,61	1	1	0,8	0,196	V
S24	E	Pavimento terrazzo 1	410	211	0,007	-15,758	22,69	1	1	-6	0,249	V
S25	E	Tetto 1	232	77	0,096	-8,946	32,69	1	1	-6	0,359	V

#### Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
Y <sub>IE</sub>	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
C <sub>T</sub>	Capacità termica areica
ε	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
U <sub>e</sub>	Trasmittanza di energia della struttura



#### 6.4. APPENDICE D – ELENCO COMPLETO DEI COMPONENTI FINESTRATI UTILIZZATI NELL'ANALISI

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	$\epsilon$	$g_{gl,n}$	$F_{C,inv}$	$F_{C,est}$	$g_{gl+sh}$	H	L	$U_g$	$U_e$	$\theta$
									(cm)	(cm)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(°C)
W1	T	Porta vetro con persiana 1	Triplo	0,84	0,5	0,8	0,1	0,391	240	90	0,9	1,1	-6
W2	T	Finestra con persiana 1	Triplo	0,84	0,5	0,8	0,1	0,391	150	90	0,9	1,3	-6
W3	T	Porta vetrata scorrevole 1	Triplo	0,84	0,5	0,8	0,1	0,391	240	300	0,9	1,1	-6
W4	T	Porta vetrata scorrevole 1	Triplo	0,84	0,5	0,8	0,1	0,391	240	360	0,9	1,1	-6
W5	T	Vetrata fissa 1	Triplo	0,84	0,5	0,8	0,1	0,391	240	120	0,9	1,1	-6
W6	E	Finestra piano terra 1	Triplo	0,84	0,5	0,65	0,65	0,391	120	60	0,9	1,4	-6
W7	E	Porta vetro piano terra 1	Triplo	0,84	0,5	1	1	0,391	220	120	0,9	1,4	-6
W8	E	Modulo facciata continua ingresso 1	Triplo	0,84	0,5	1	1	0,391	120	60	0,9	1,4	-6

#### Legenda simboli

$\epsilon$	Emissività
$g_{gl,n}$	Fattore di trasmittanza solare
$F_{C,inv}$	Fattore tendaggi (energia invernale)
$F_{C,est}$	Fattore tendaggi (energia estiva)
$g_{gl+sh}$	Fattore trasmissione solare totale
H	Altezza
L	Larghezza
$U_g$	Trasmittanza vetro
$U_e$	Trasmittanza serramento
$\theta$	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente

## 7. ALLEGATI

### 7.1. ALLEGATO 1 – TAVOLE DI PROGETTO



Rilievo fotografico stato di fatto



Ortofoto stato di fatto  
Scala 1:500



Viste dello stato di progetto



Ortofoto-inserimento stato di progetto  
Scala 1:500



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
TAVOLA DI INTRODUZIONE

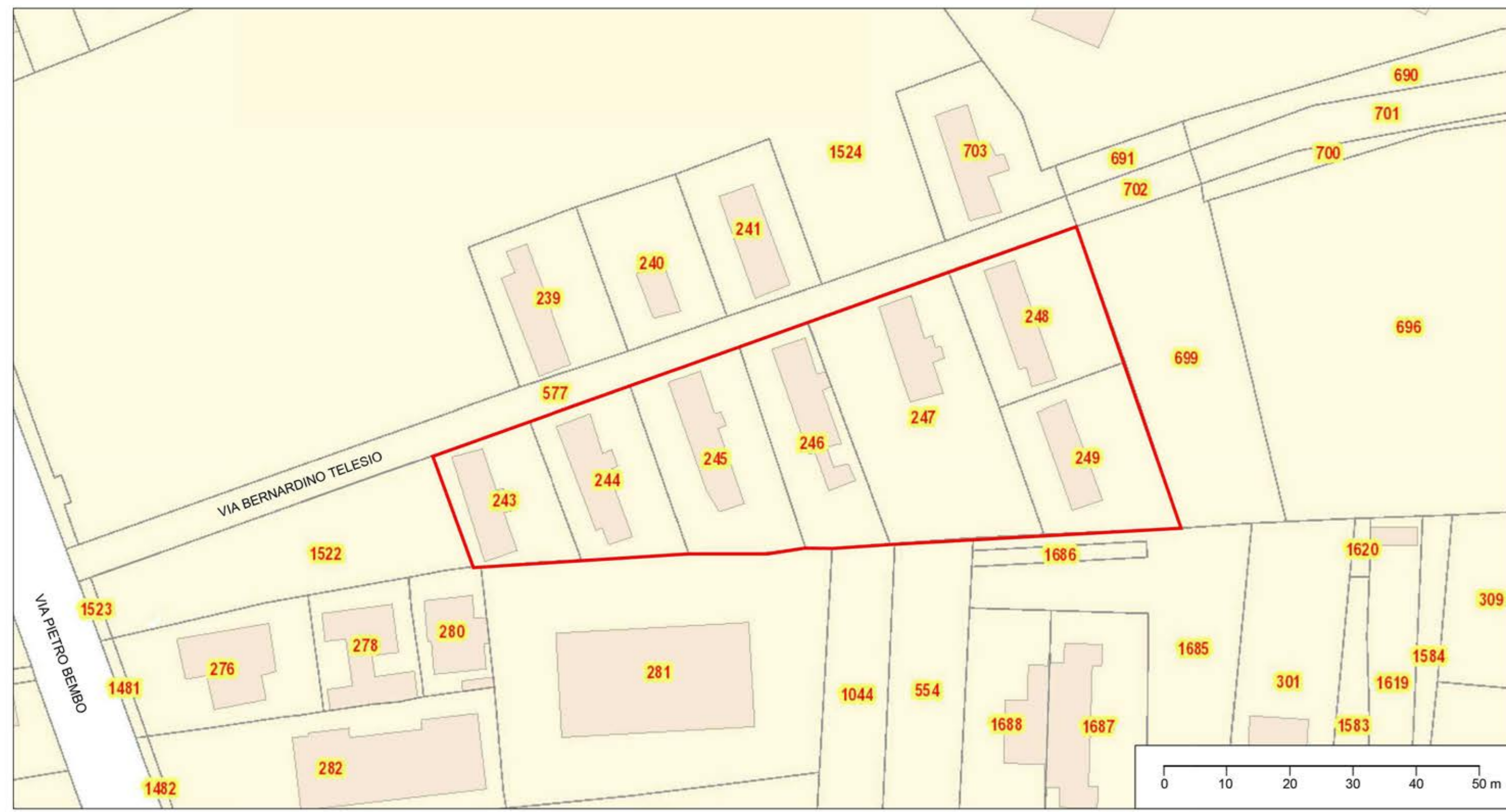
Scala  
1:500

N° tavola  
01

Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



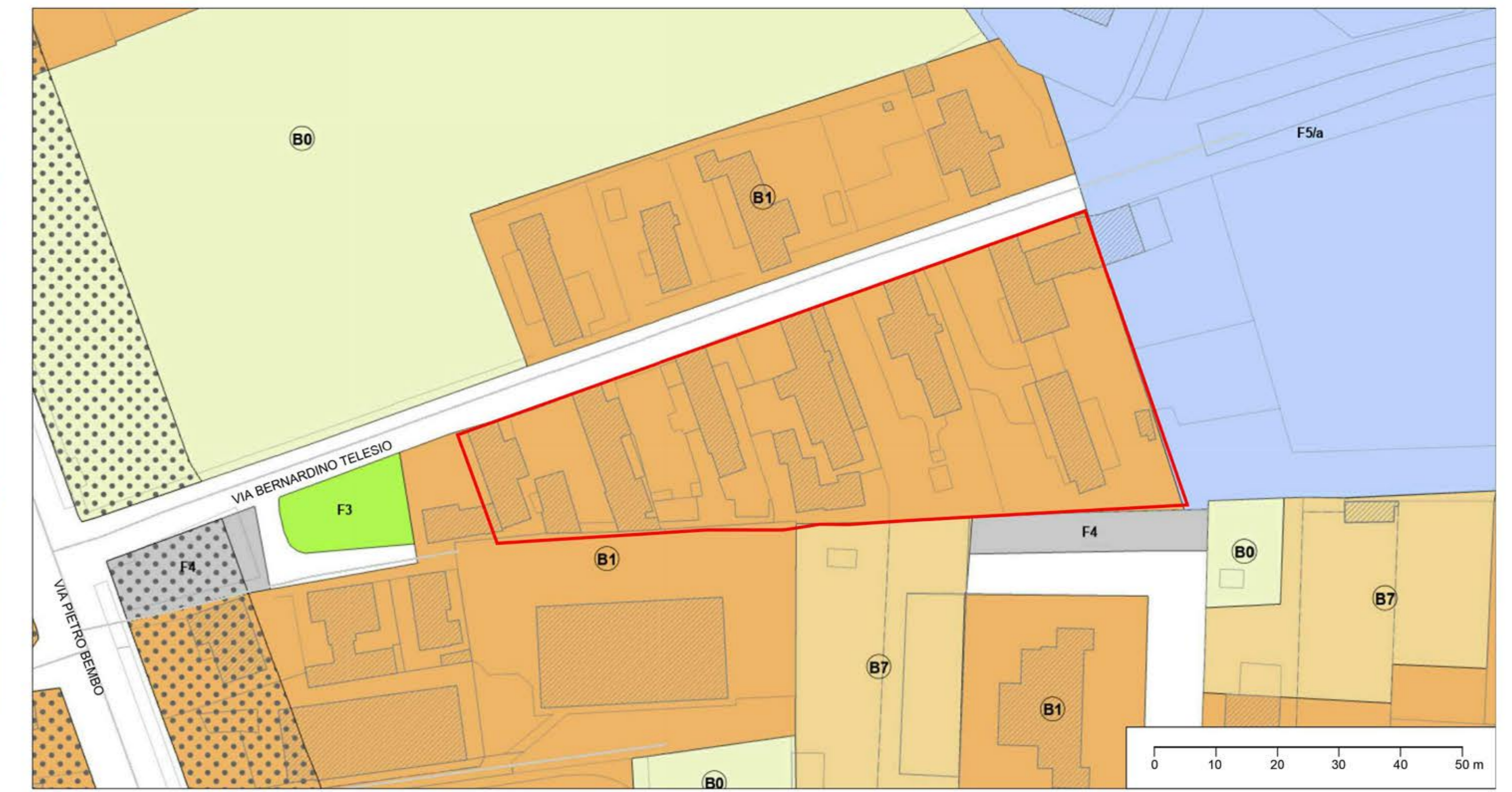
Estratto della mappa catastale di Padova

- Area di progetto
- Fabbricati catastali
- Particelle catastali



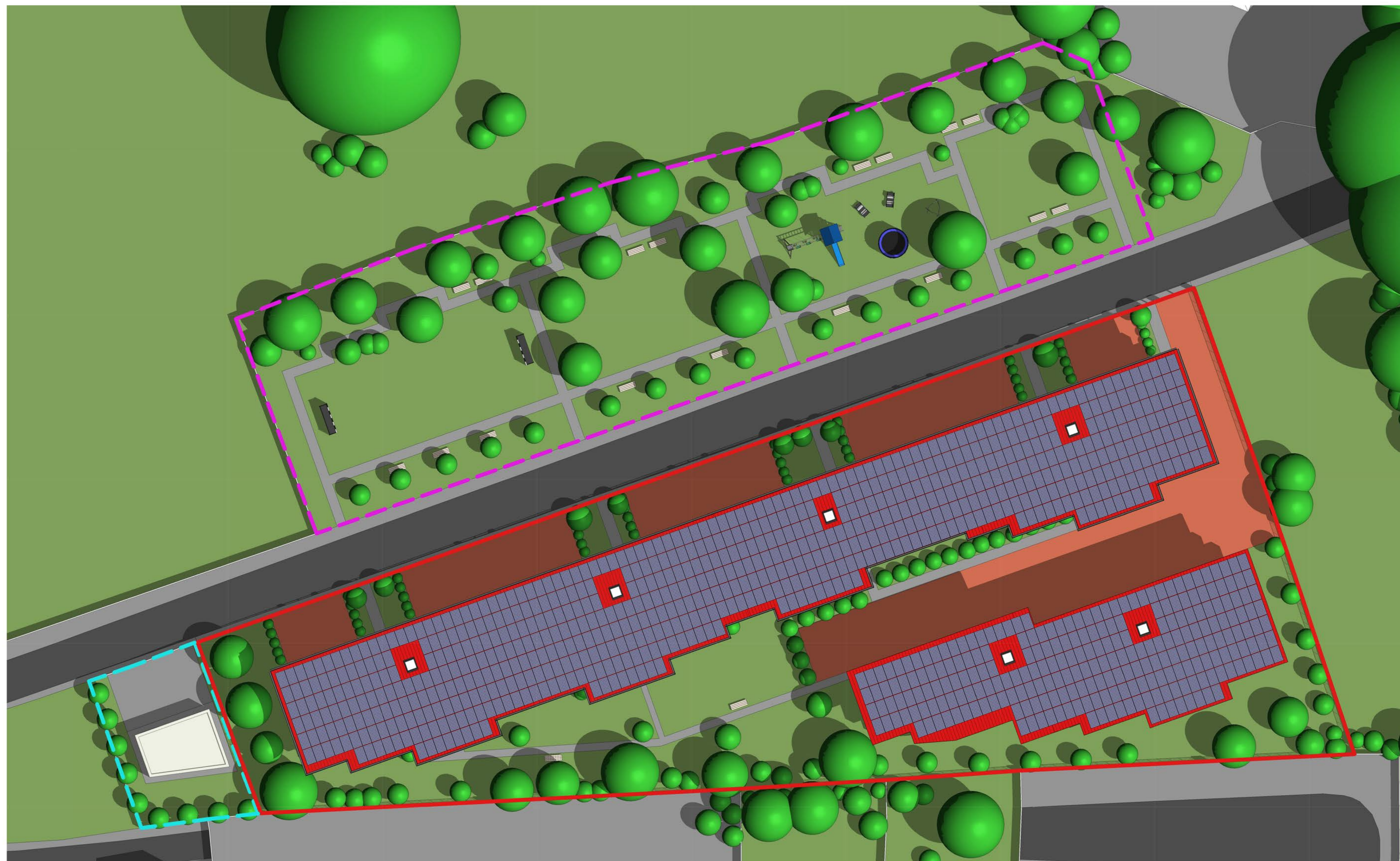
Estratto della mappa topografica di Padova

- Area di progetto
- Fabbricati da demolire



Estratto della mappa del Piano degli Interventi di Padova

- Area di progetto
- ZTO B0 a verde privato
- ZTO B1 residenziale di completamento consolidata a bassa densità
- ZTO B7 residenziale di completamento inediticata con lotti di medie dimensioni
- ZTO F3 servizi locali di quartiere per spazi di verde pubblico ed attrezzato a parco, per il gioco e lo sport
- ZTO F4 servizi locali di quartiere per parcheggi
- ZTO F5a servizi urbani e territoriali
- Fascia di rispetto stradale




Planivolumetria generale dello stato di progetto  
Scala 1 : 200

- Area di progetto
- Area verde attrezzata
- Area tecnica



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

**PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA**

TAVOLA

**INQUADRAMENTO AREA DI PROGETTO**

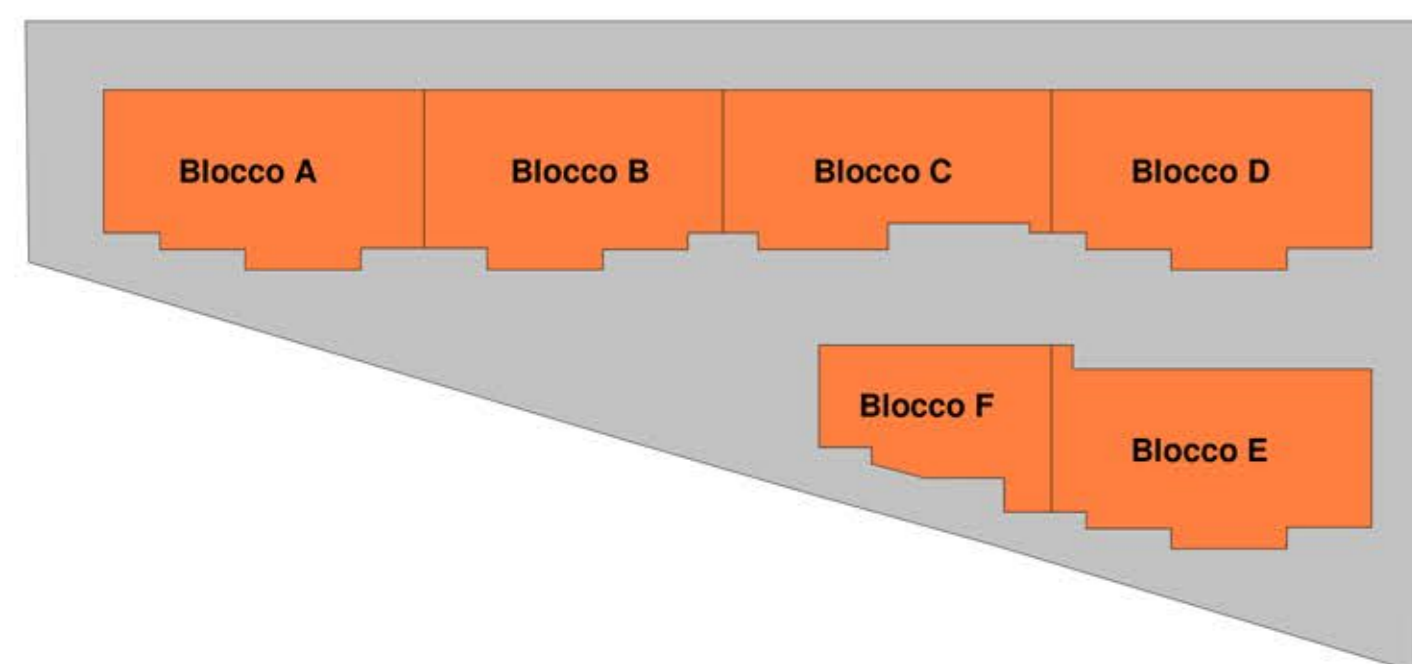
Scala 1:200 N° tavola 02

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI Laureando: ANDREA TURCO 1151568  
Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

ANNO ACCADEMICO 2022-2023




Masterplan P00  
Scala 1:100



Assonometria P00



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
 Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering  
 Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
**MASTERPLAN P00**

Scala 1:100 N° tavola 03

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
 Laureando: ANDREA TURCO 1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



Masterplan P01  
Scala 1:100



Assonometria P01



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA

MASTERPLAN P01

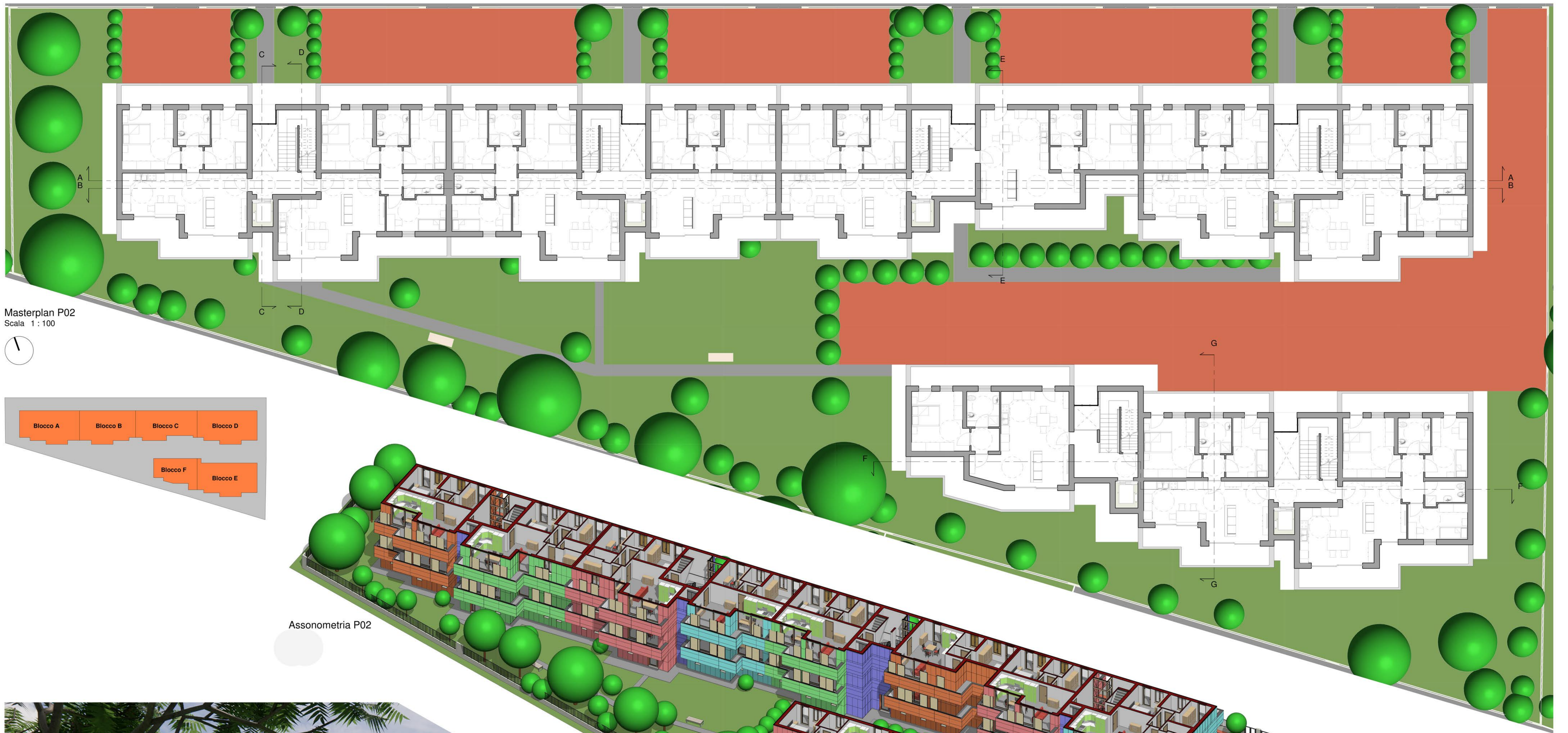
Scala  
1:100

N° tavola  
04

Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA


Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
MASTERPLAN P02

Scala 1:100      N° tavola 05

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
Laureando: ANDREA TURCO 1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

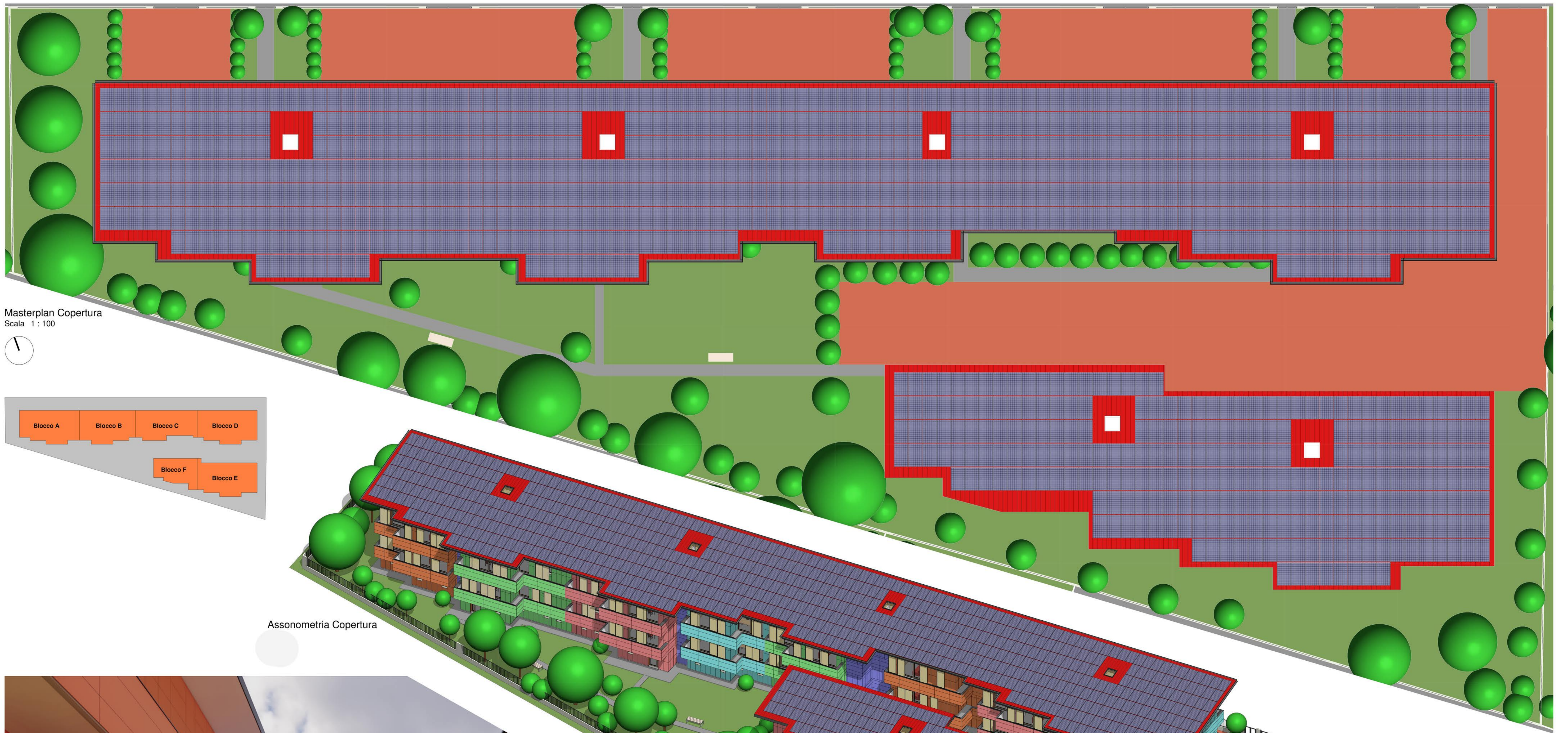
TAVOLA  
MASTERPLAN SOTTOTETTO

Scala 1:100 N° tavola 06

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
Laureando: ANDREA TURCO 1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

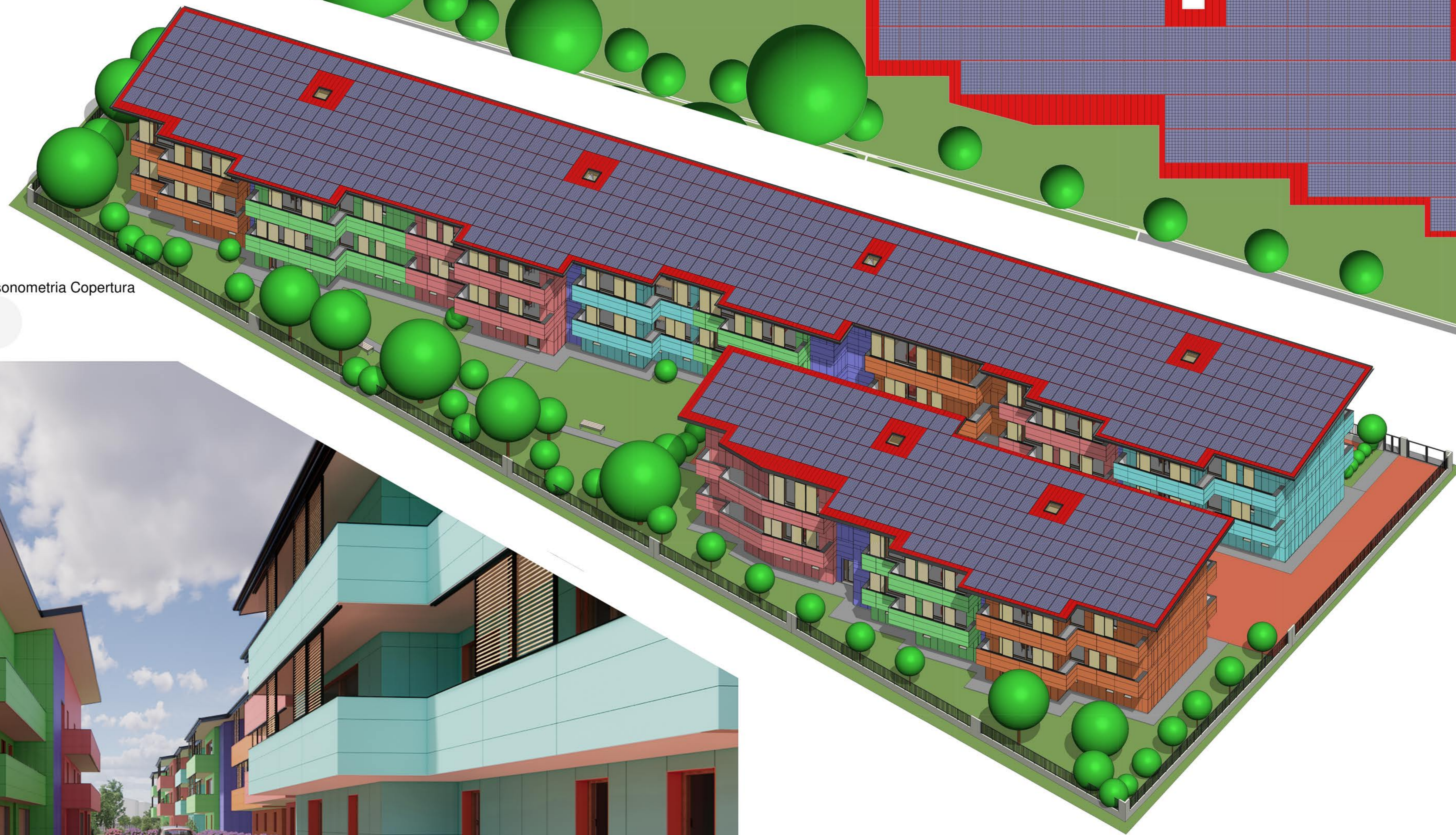




Masterplan Copertura  
Scala 1 : 100



Assonometria Copertura



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA

MASTERPLAN COPERTURA

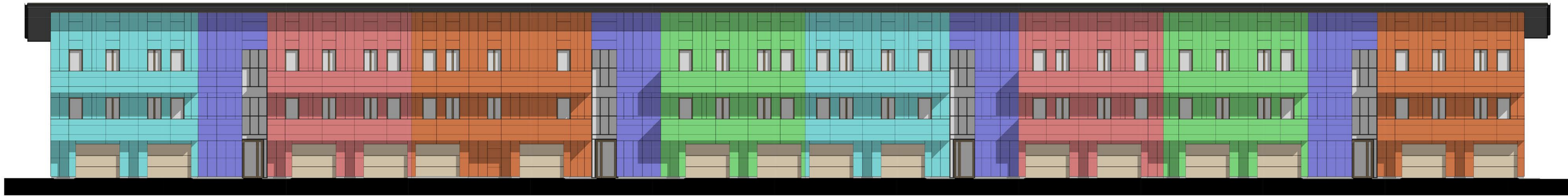
Scala  
1:100

N° tavola  
07

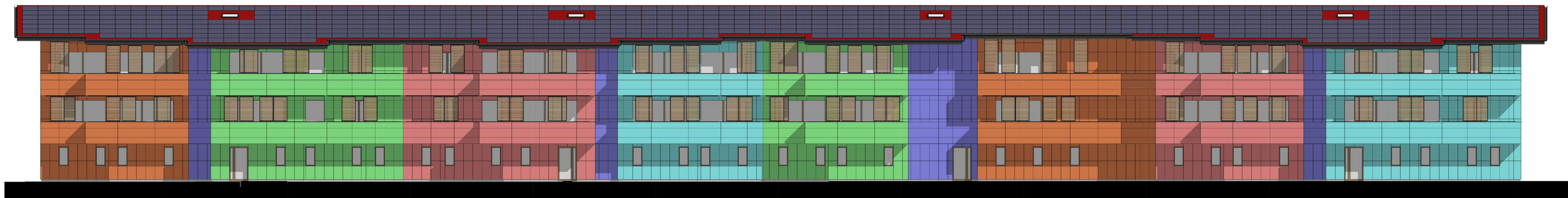
Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



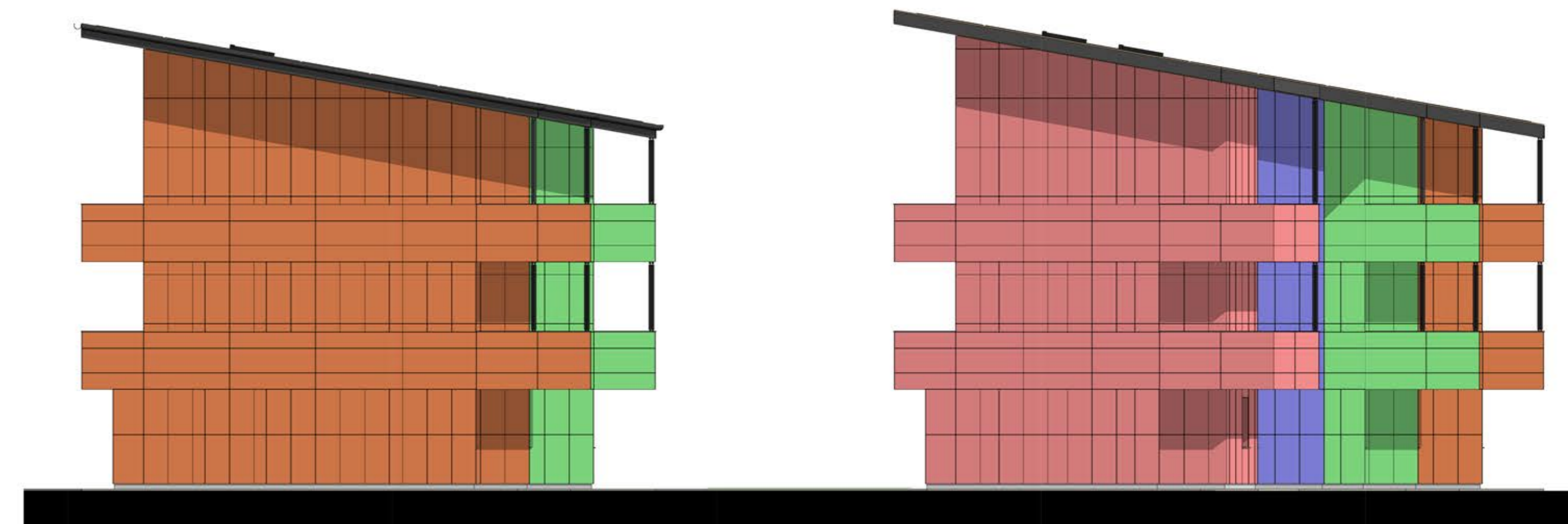
Prospetto nord - Complesso 1  
Scala 1 : 100



Prospetto sud - Complesso 1  
Scala 1 : 100



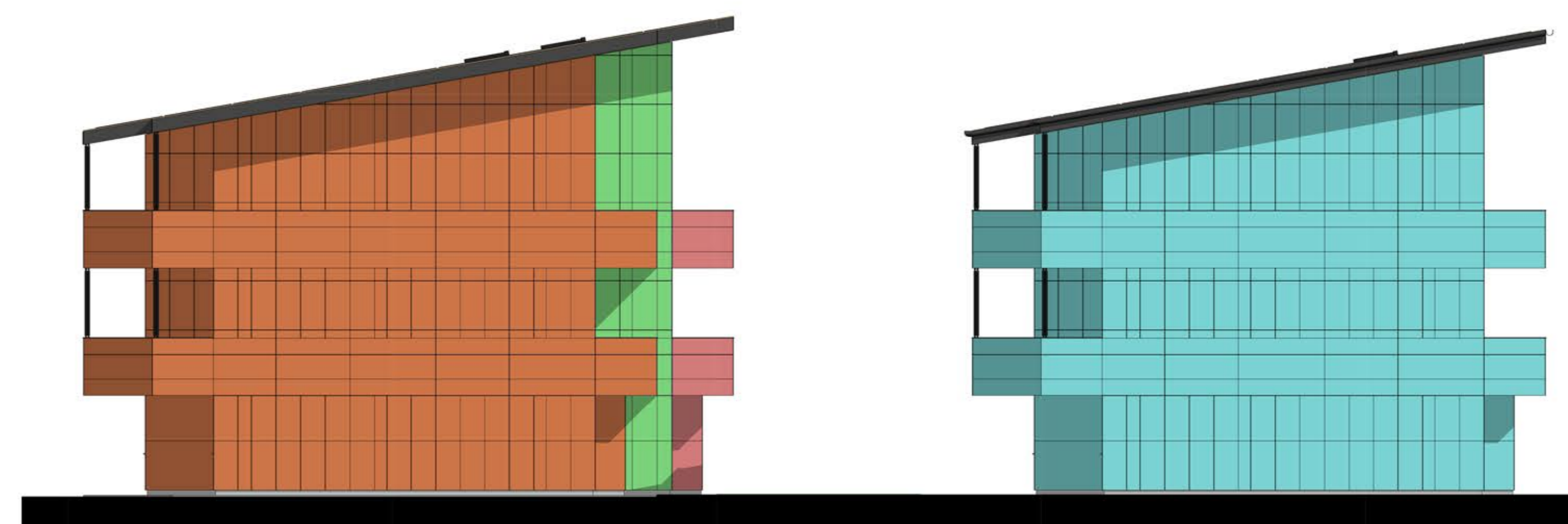
Prospetto nord - Complesso 2  
Scala 1 : 100



Prospetto ovest - Complesso 1 e Complesso 2  
Scala 1 : 100



Prospetto sud - Complesso 2  
Scala 1 : 100



Prospetto est - Complesso 2 e Complesso 1  
Scala 1 : 100

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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
PROSPETTI

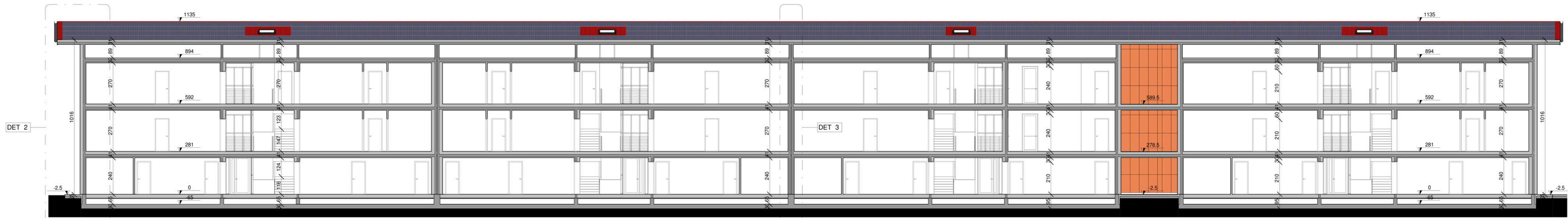
Scala  
1:100

N° tavola  
08

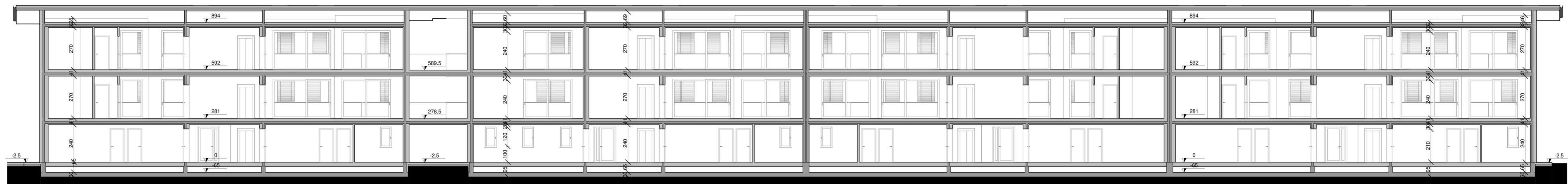
Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

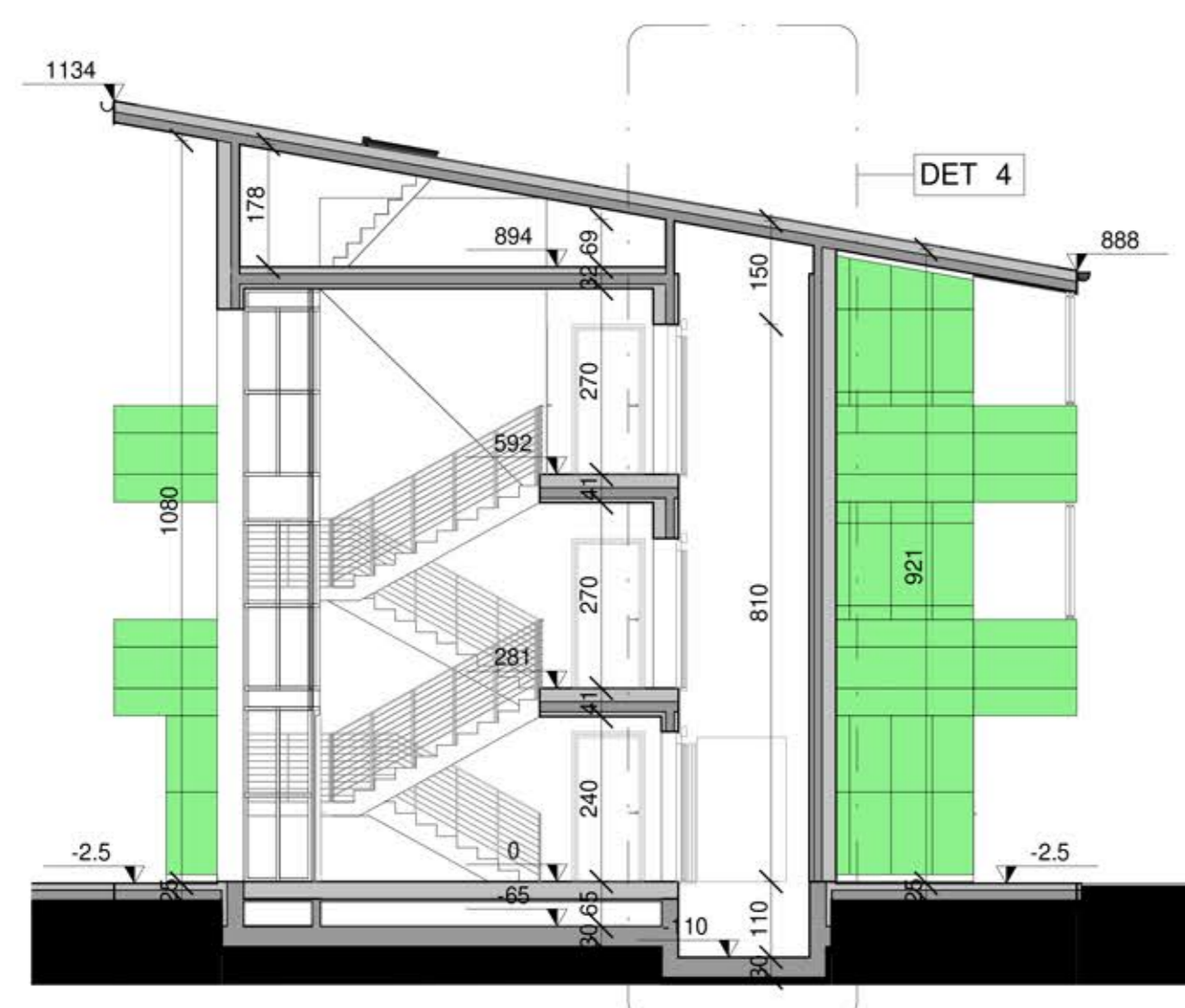
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



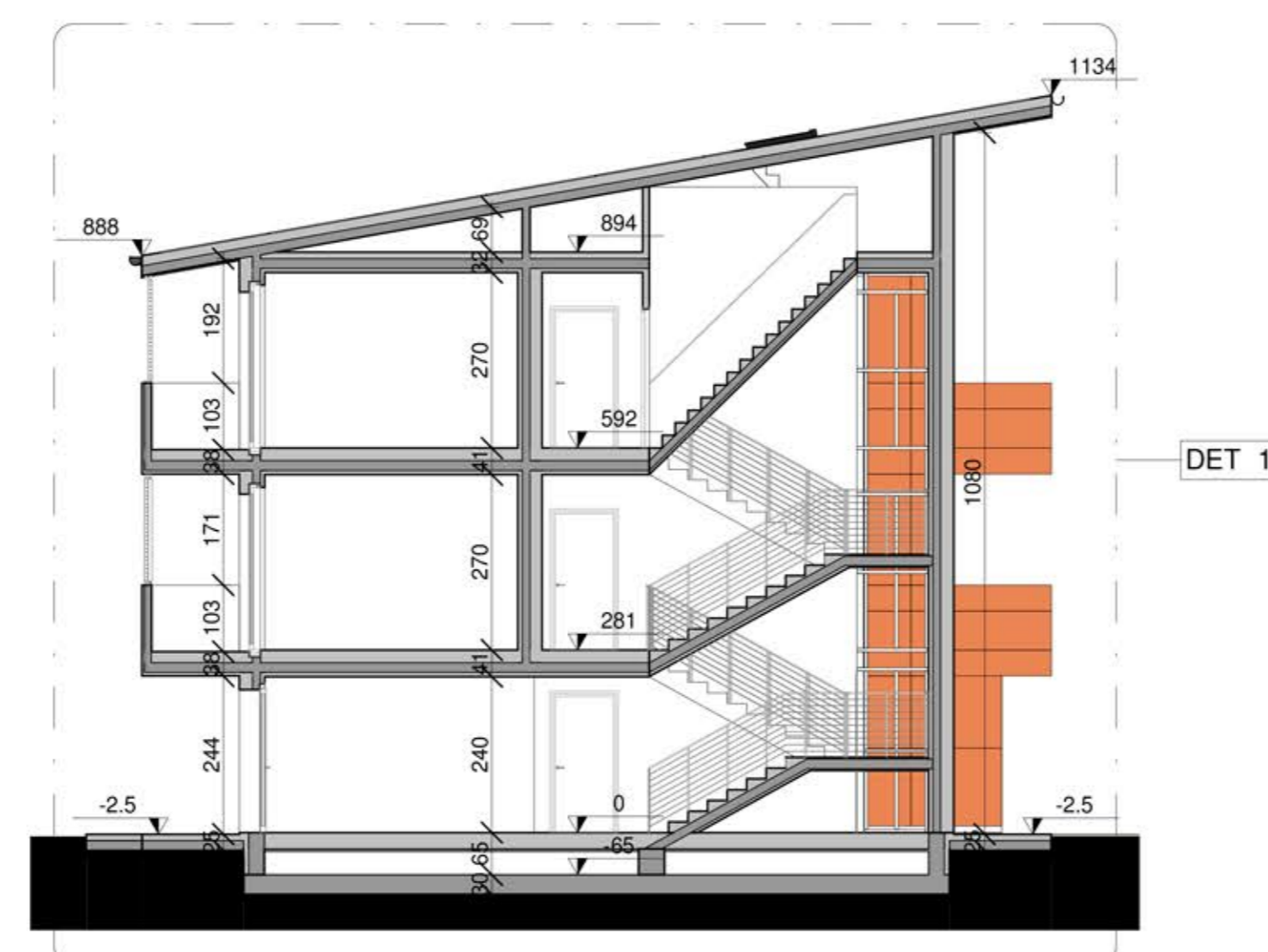
Sezione A-A  
Scala 1 : 100



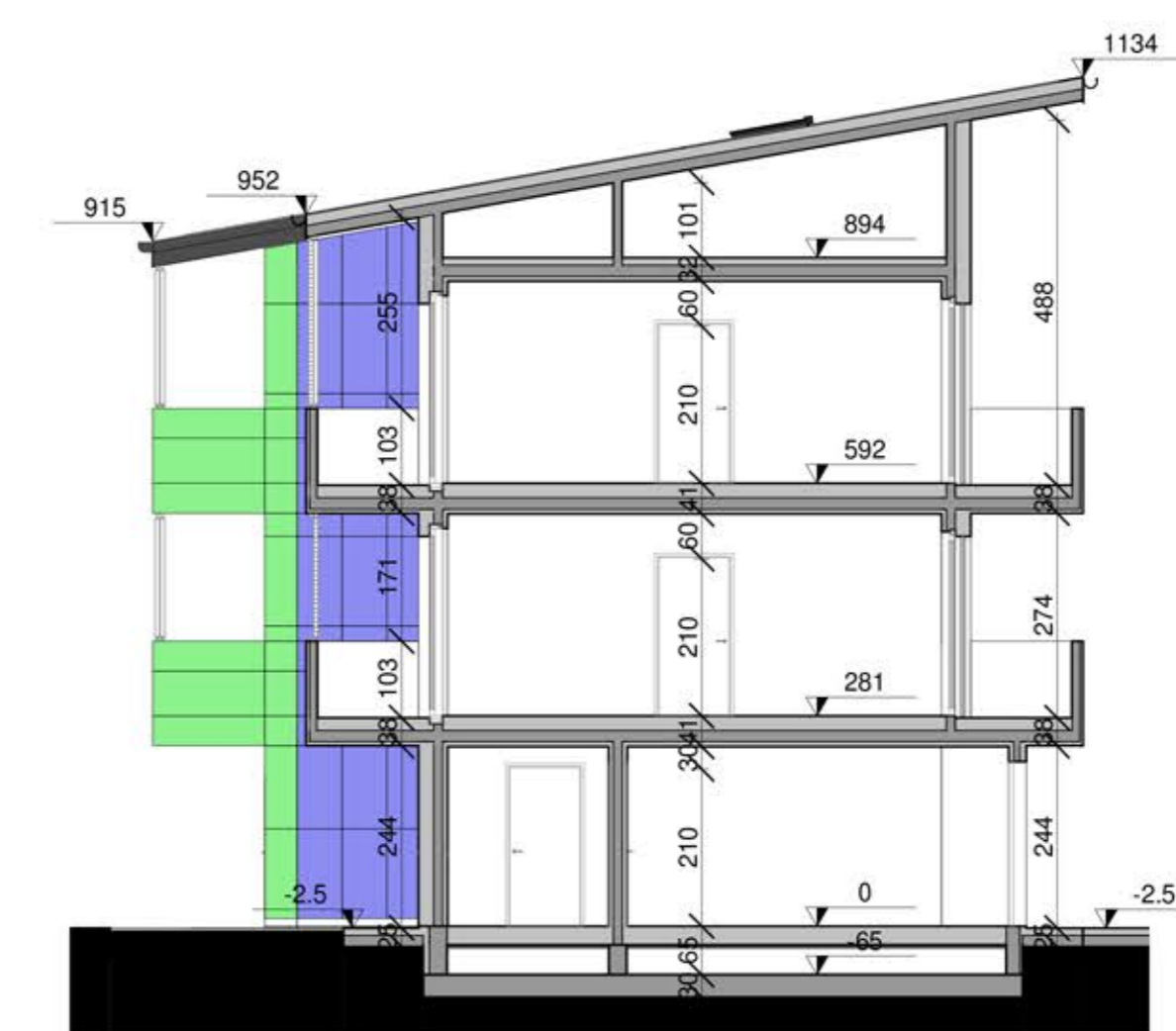
Sezione B-B  
Scala 1 : 100



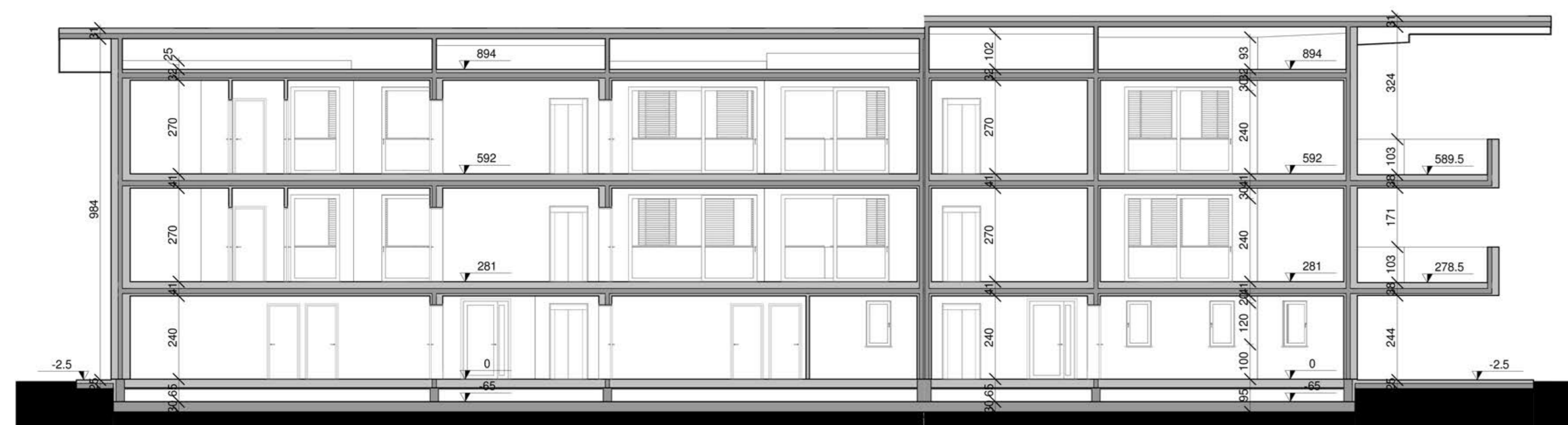
Sezione C-C  
Scala 1 : 100



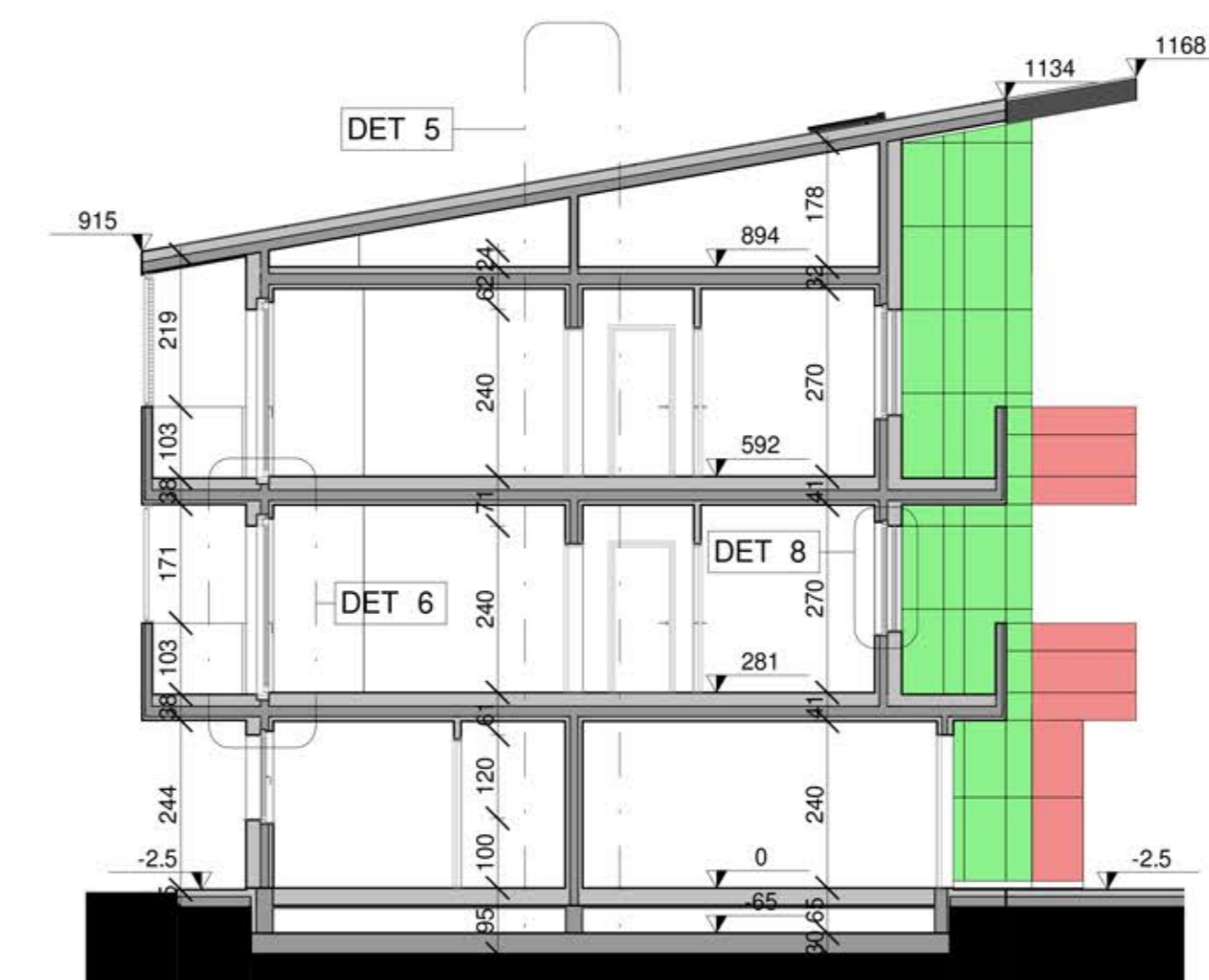
Sezione D-D  
Scala 1 : 100



Sezione E-E  
Scala 1 : 100



Sezione F-F  
Scala 1 : 100



Sezione G-G  
Scala 1 : 100

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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
SEZIONI

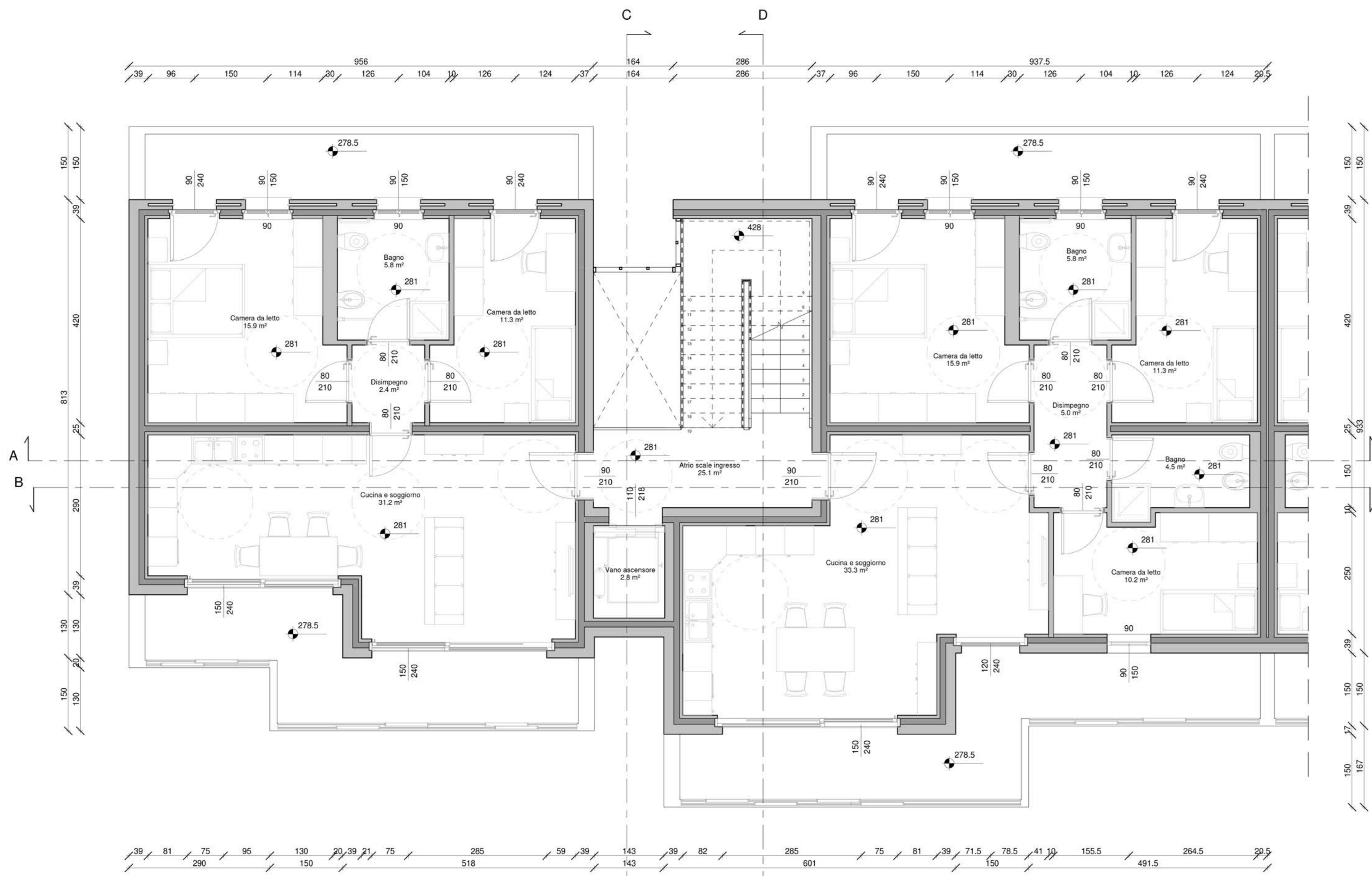
Scala  
1:100

N° tavola  
09

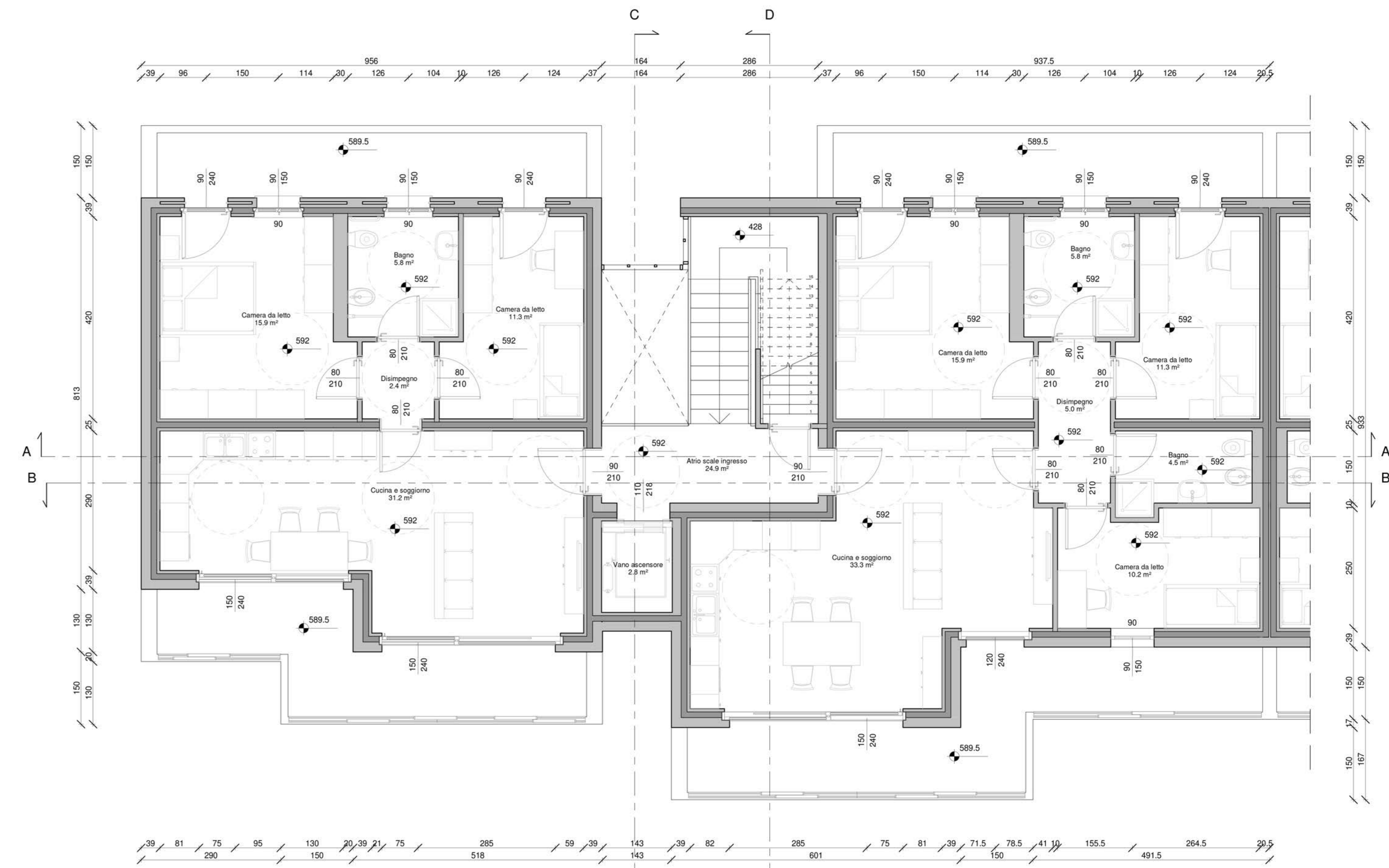
Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

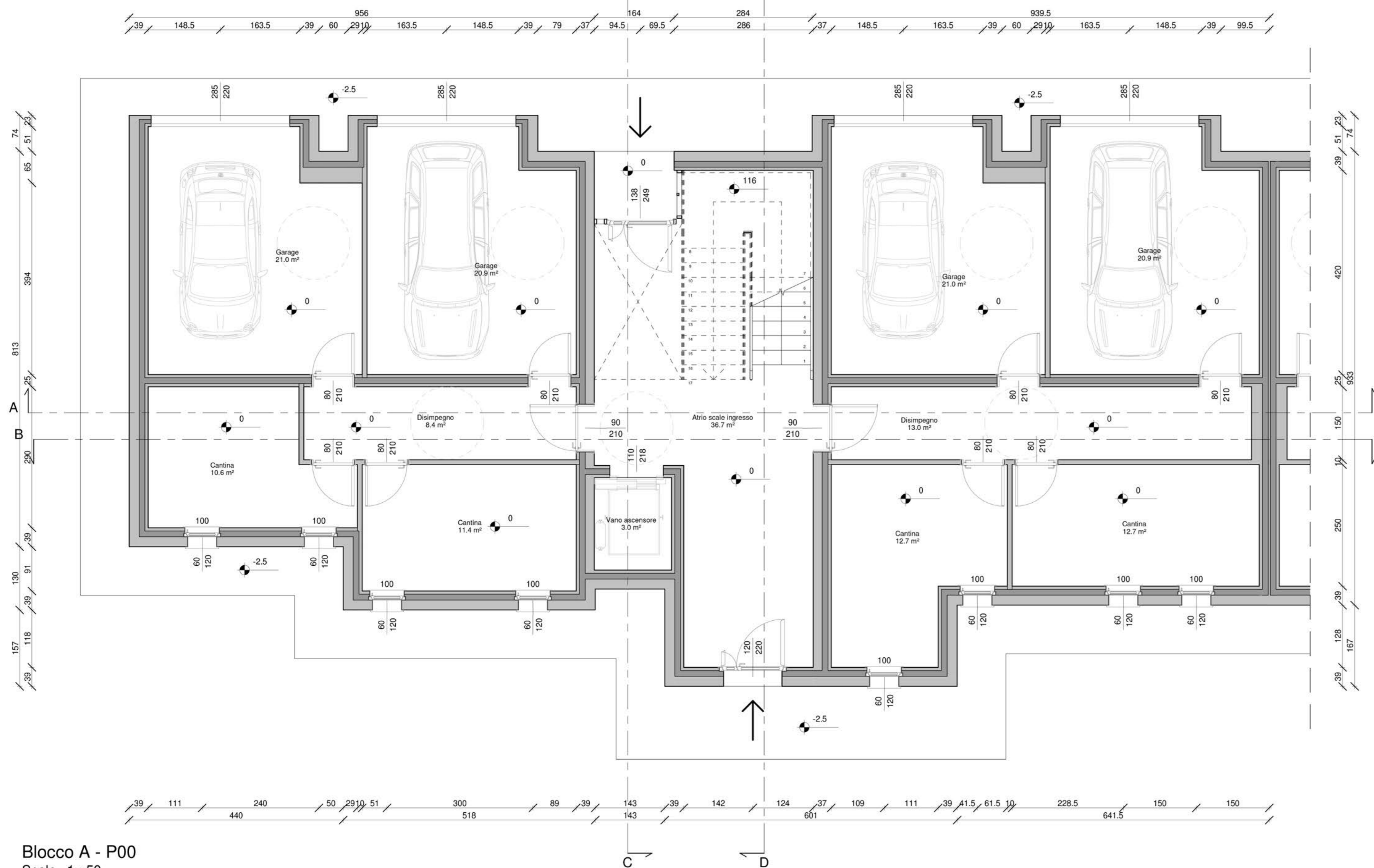
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



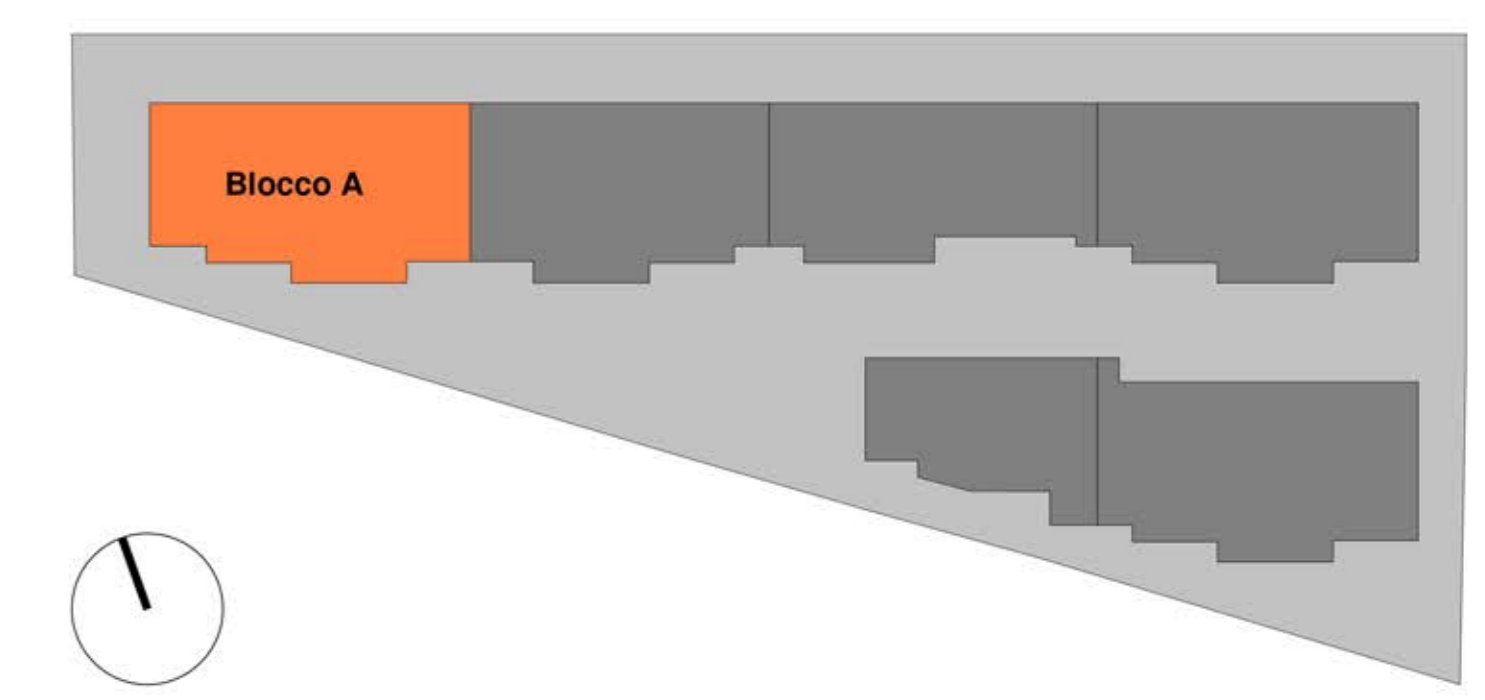
Blocco A - P01  
Scala 1:50




Blocco A - P02  
Scala 1:50



Blocco A - P00  
Scala 1:50



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
 Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering  
 Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



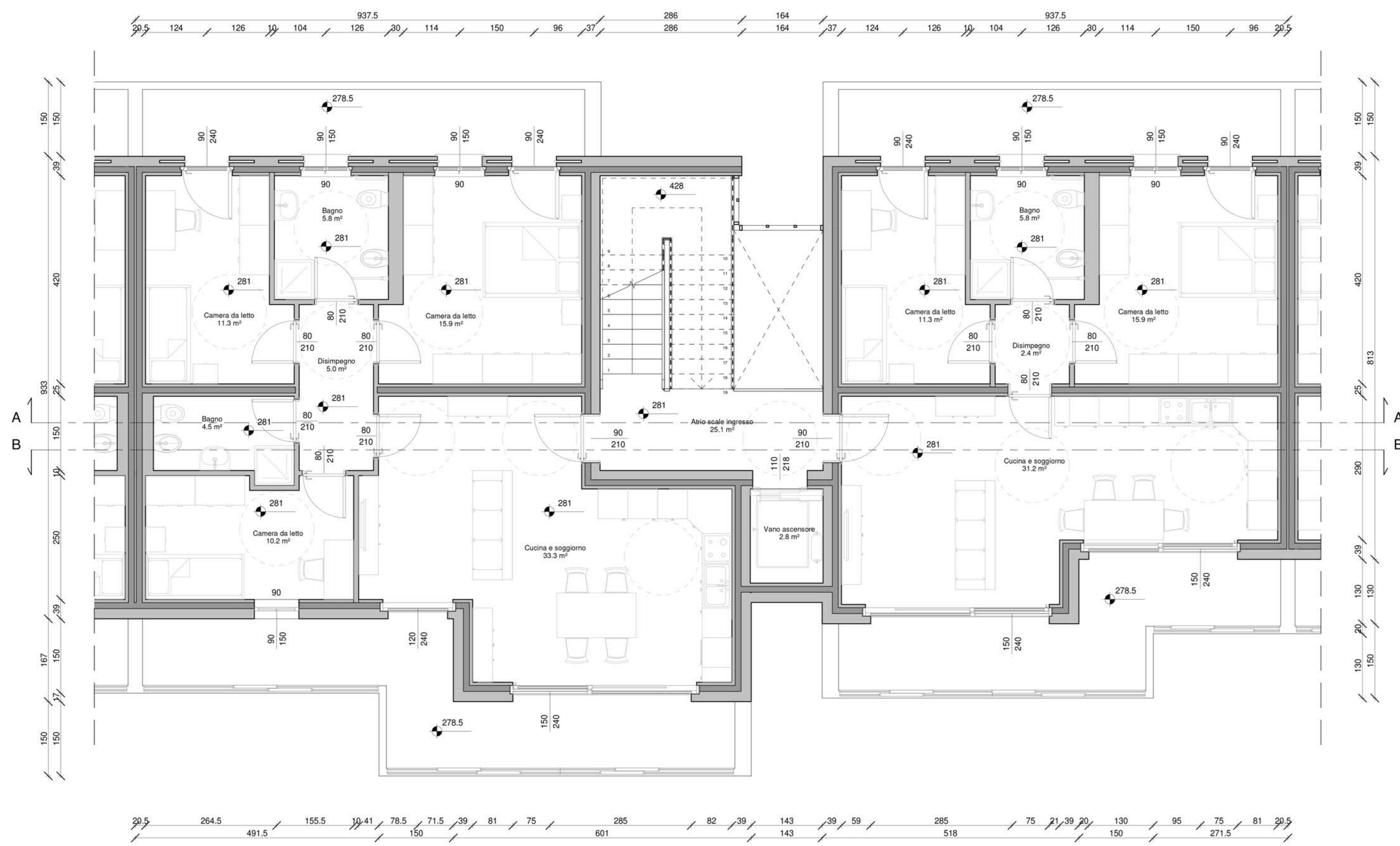
TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
 PIANTE EDIFICIO A

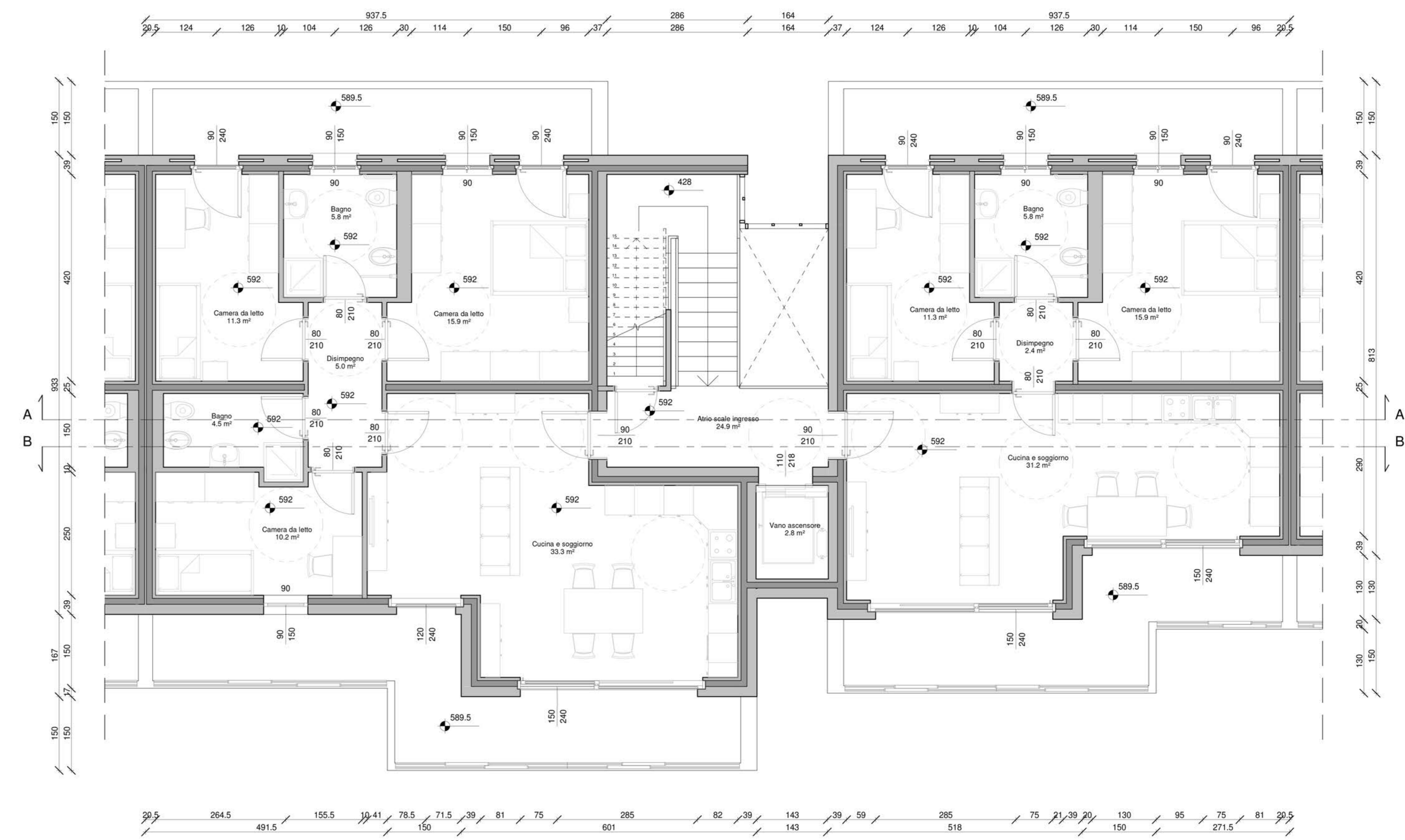
Scala 1:50 N° tavola 10

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
 Laureando: ANDREA TURCO 1151568

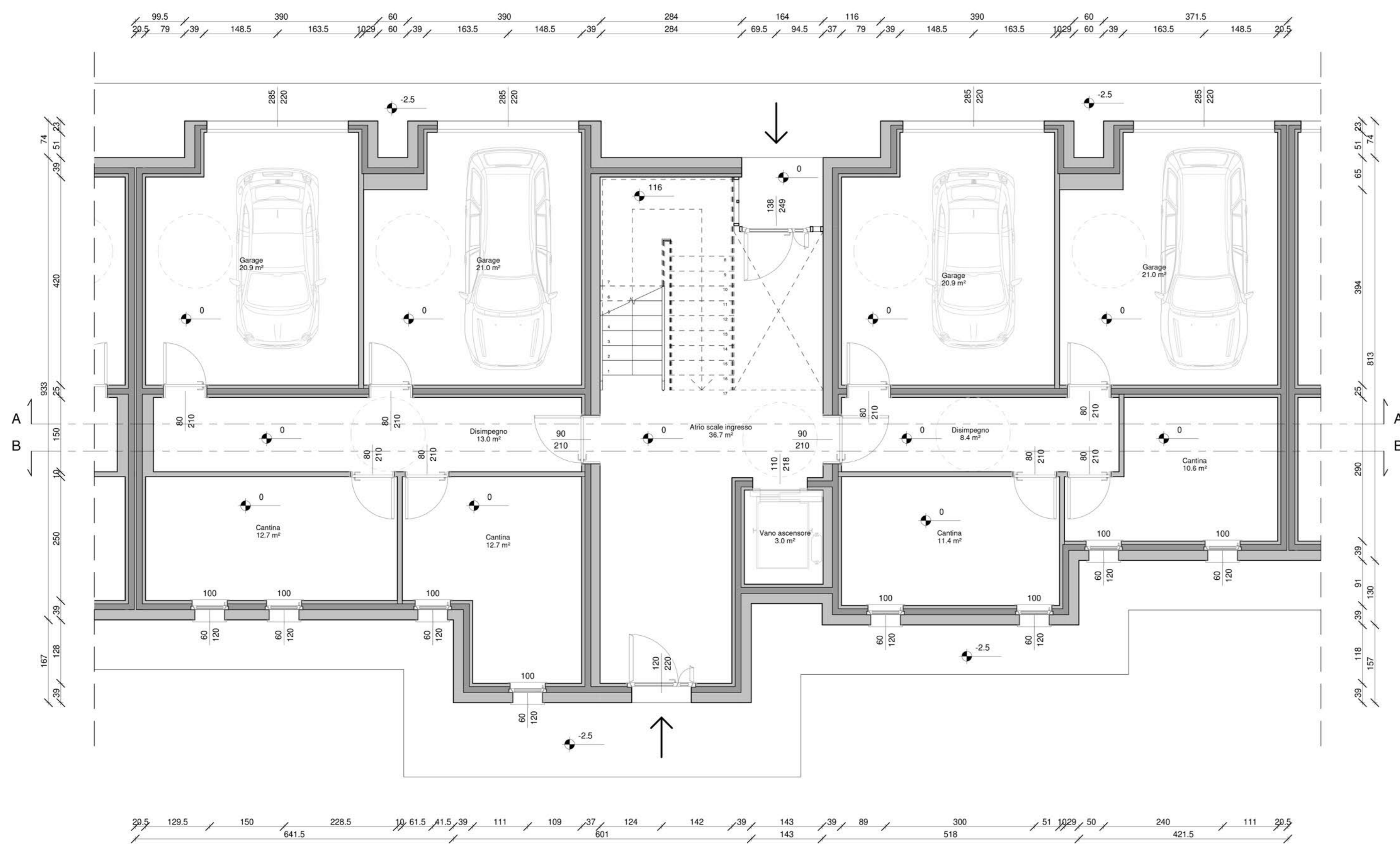
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



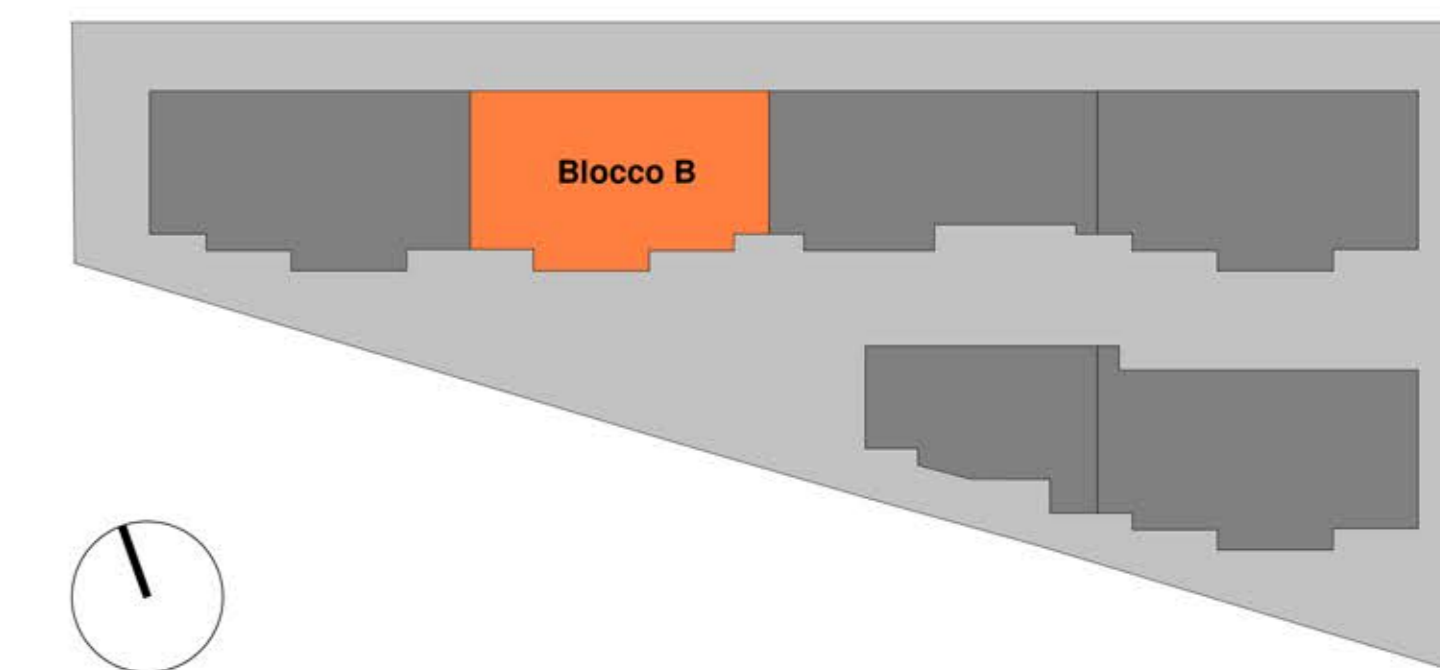
Blocco B - P01  
Scala 1 : 50



Blocco B - P02  
Scala 1 : 50



Blocco B - P00  
Scala 1 : 50



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*  
Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
PIANTE EDIFICIO B

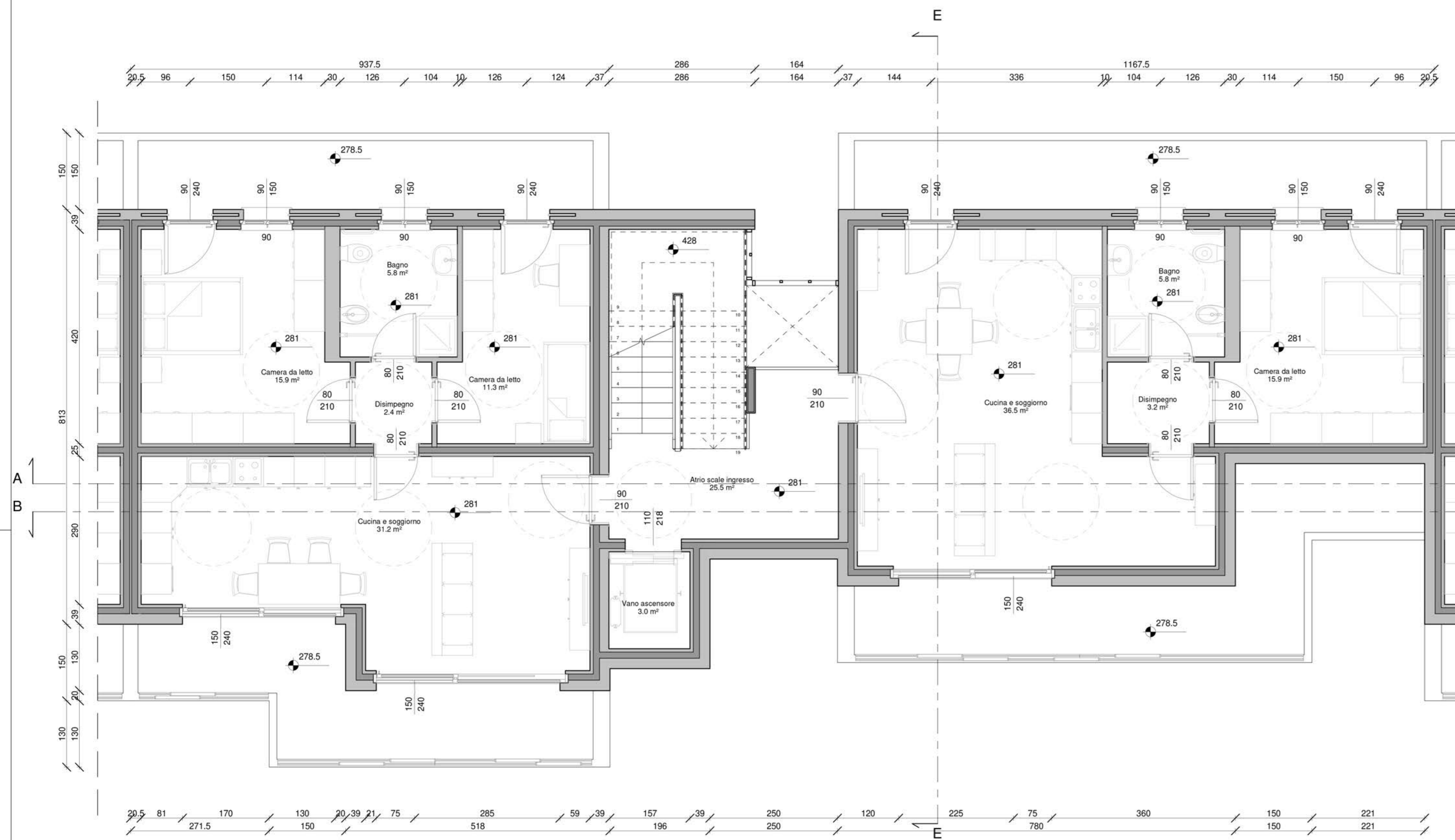
Scala  
1:50

N° tavola  
11

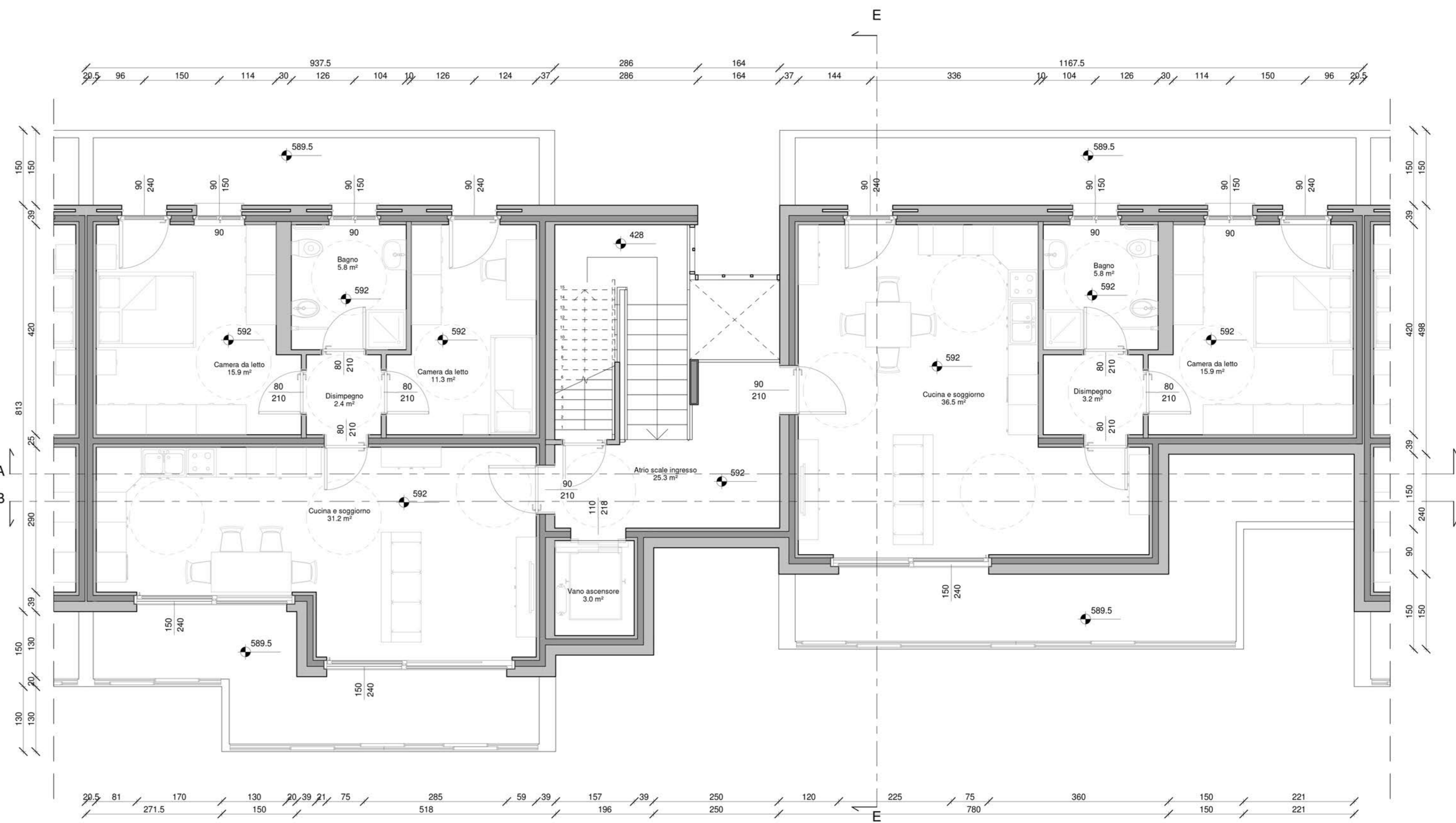
Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

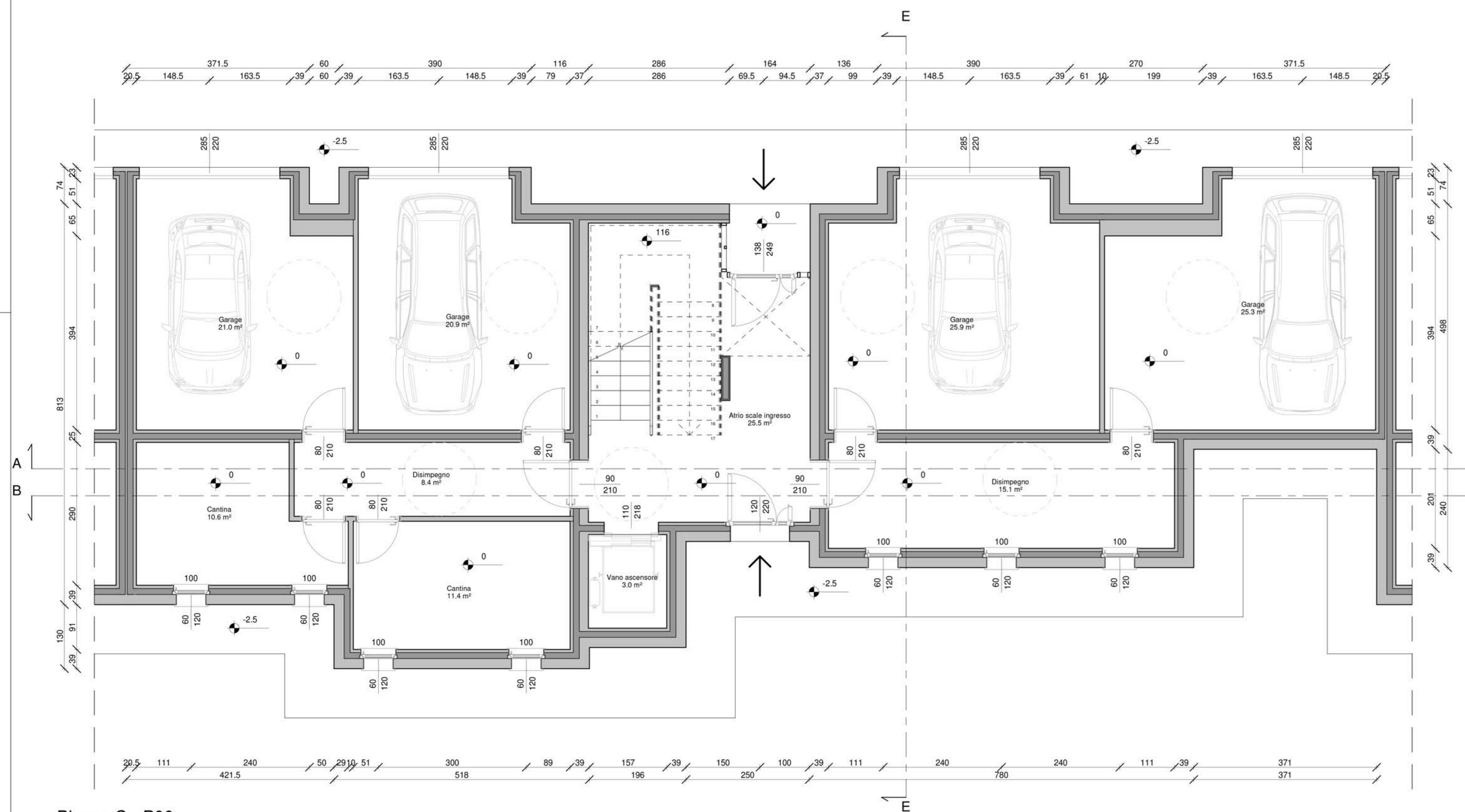
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



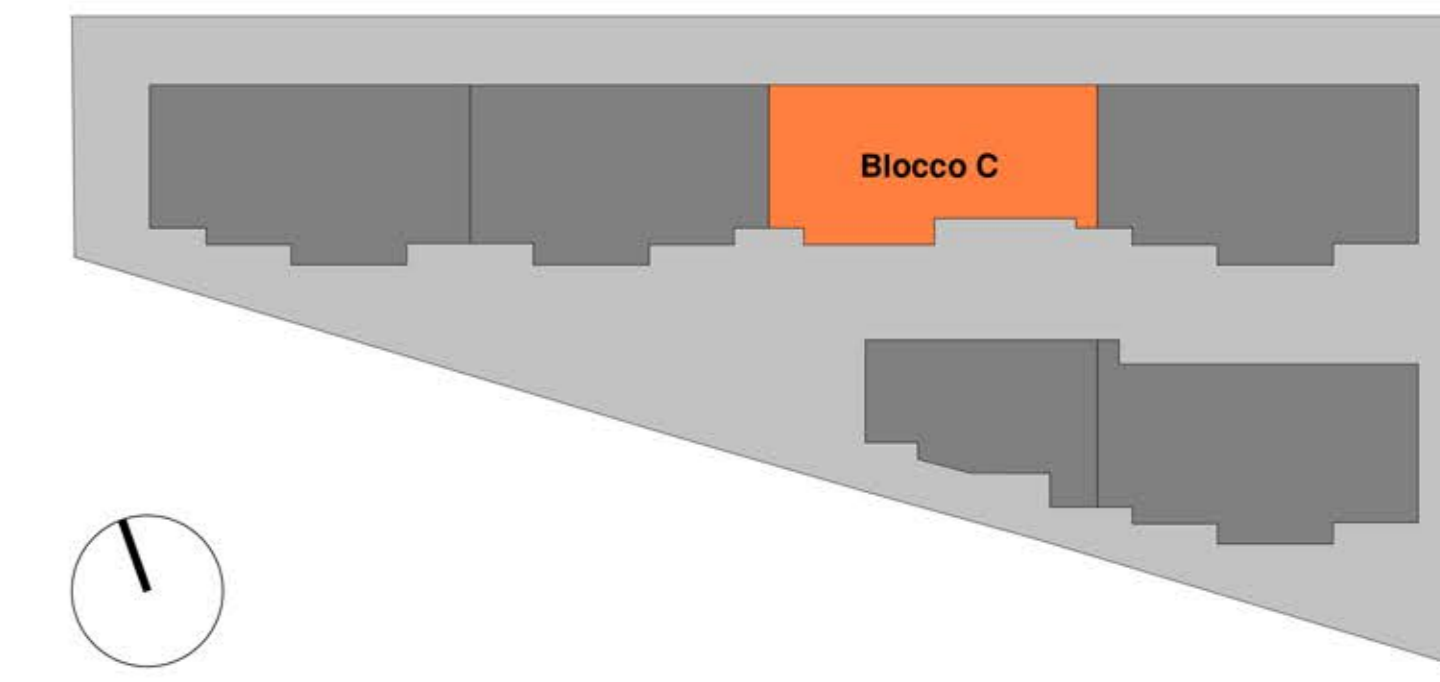
Blocco C - P01  
Scala 1 : 50



Blocco C - P02  
Scala 1 : 50




Blocco C - P00  
Scala 1 : 50



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



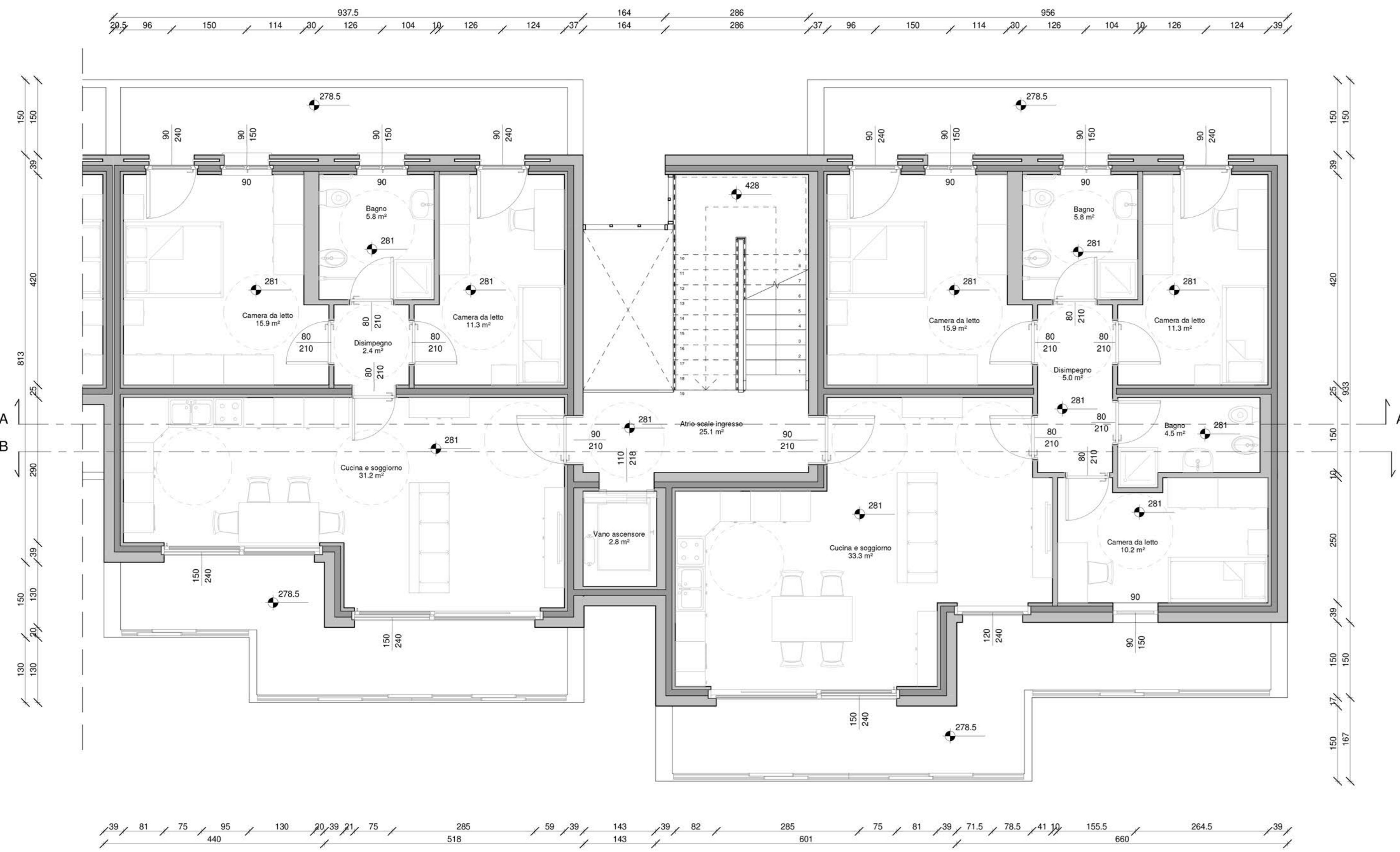
TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
 PIANTE EDIFICIO C

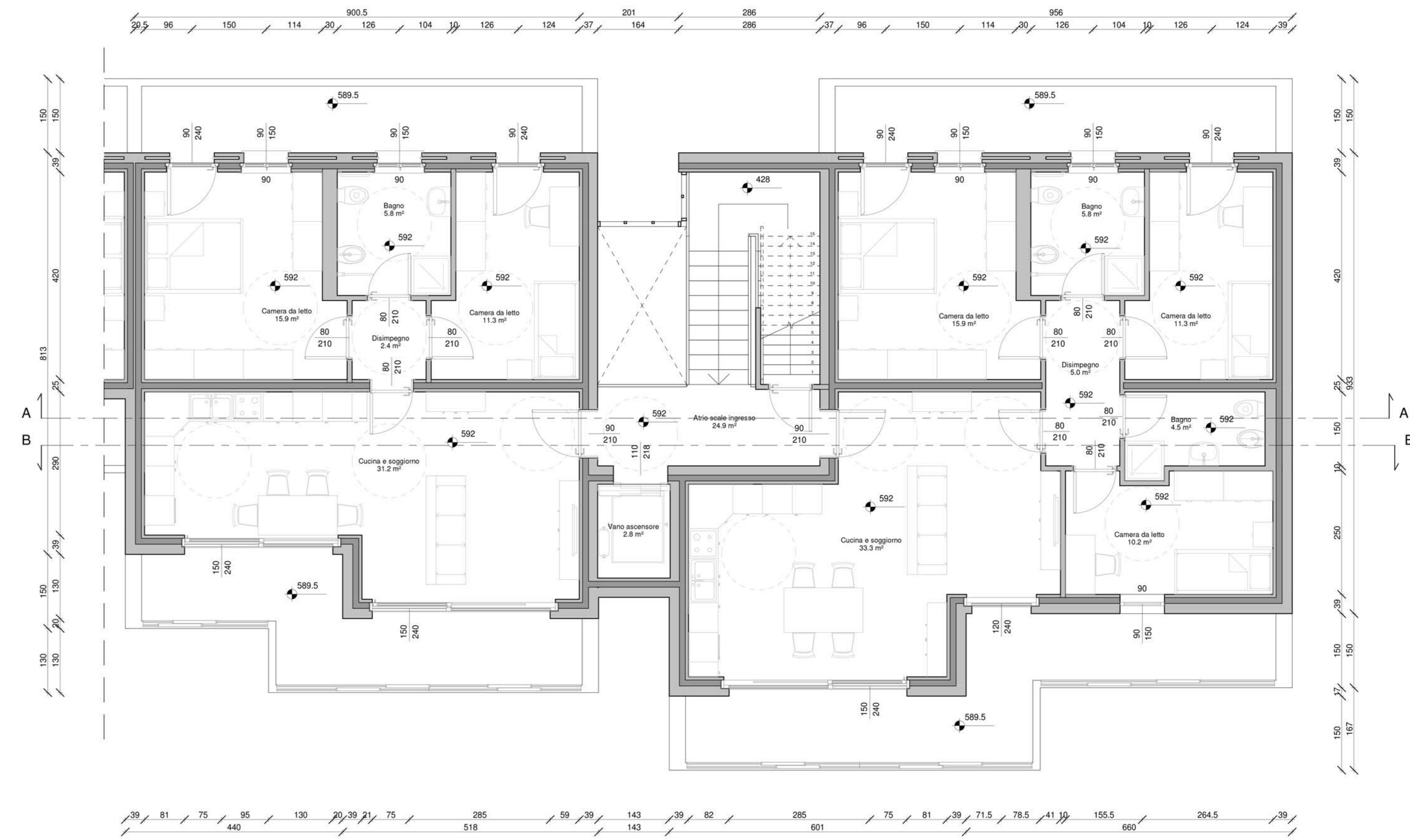
Scala 1:50 N° tavola 12

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
 Laureando: ANDREA TURCO 1151568

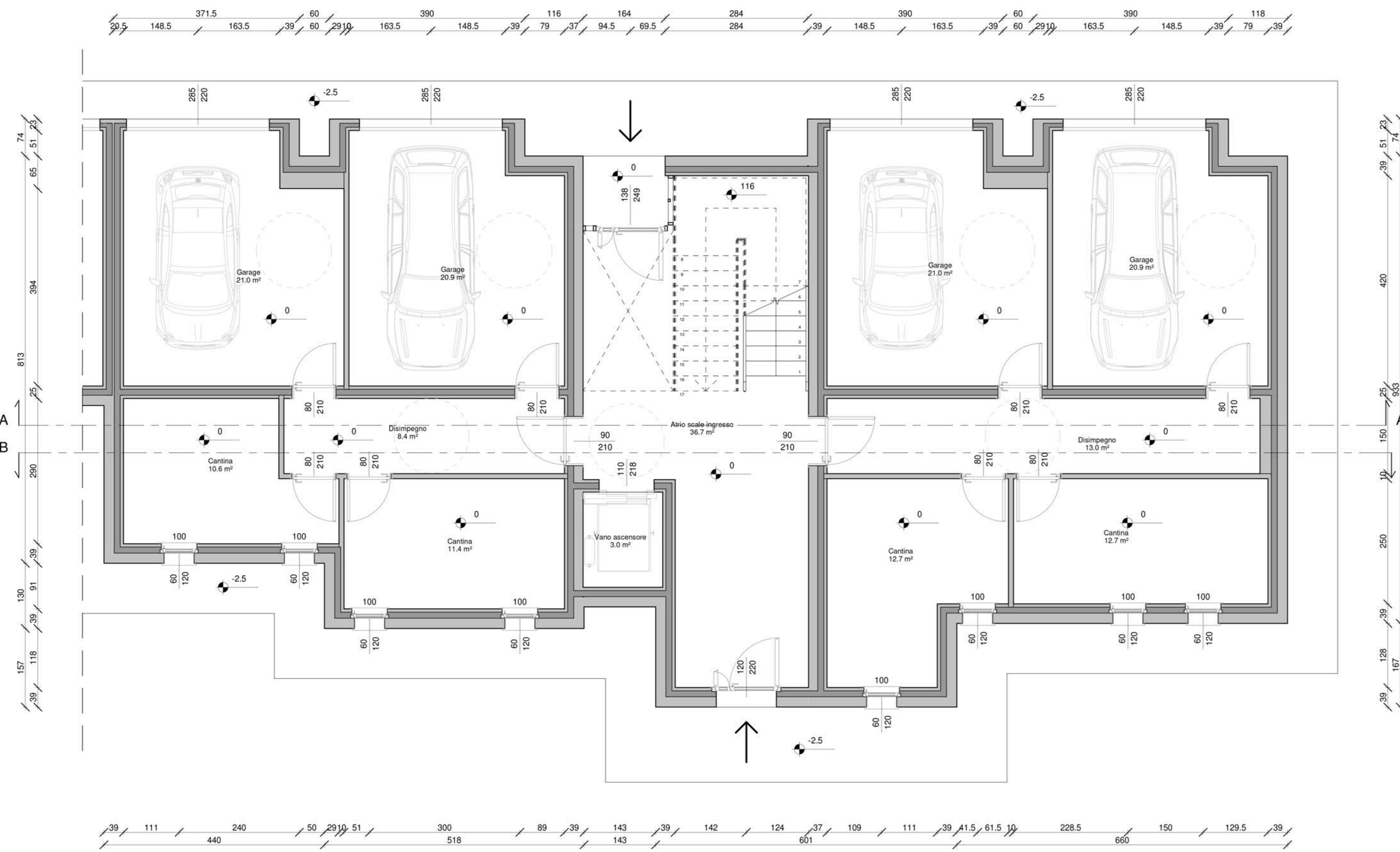
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



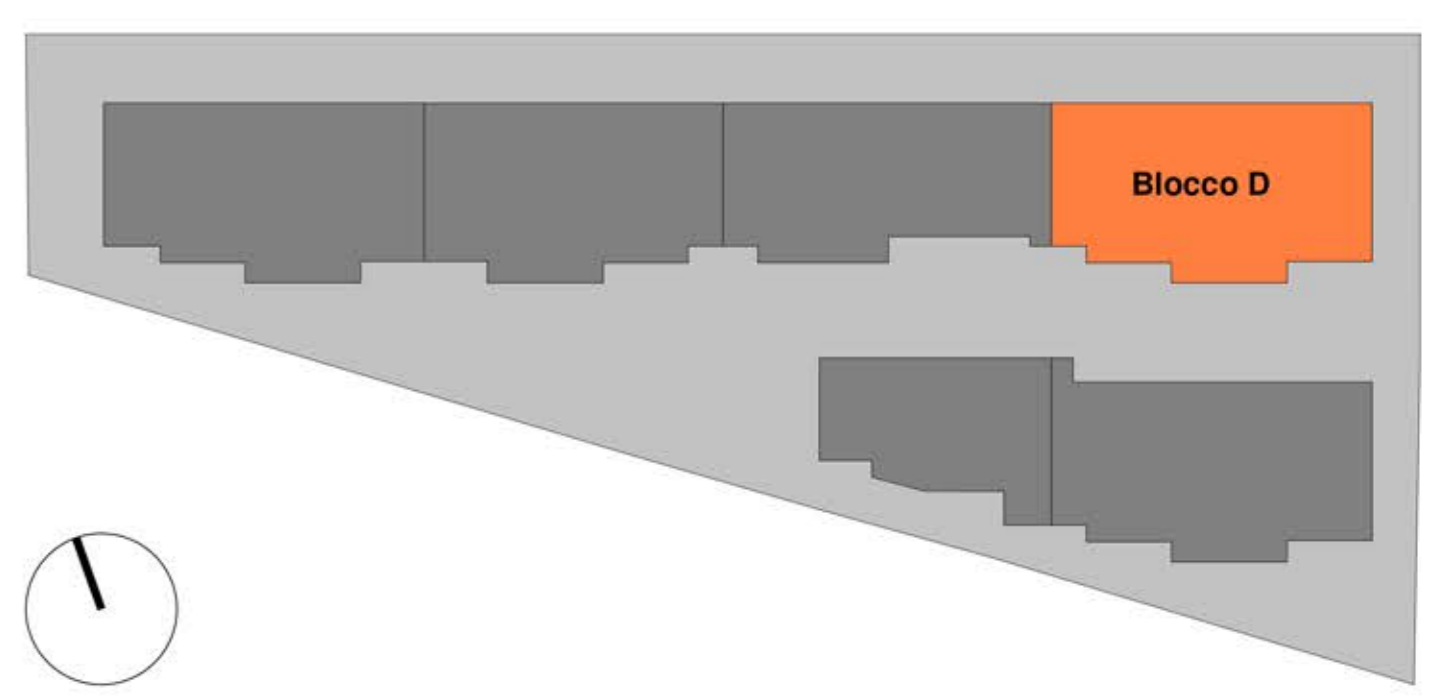
Blocco D - P01  
Scala 1 : 50




Blocco D - P02  
Scala 1 : 50



Blocco D - P00  
Scala 1 : 50



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
 Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering  
 Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



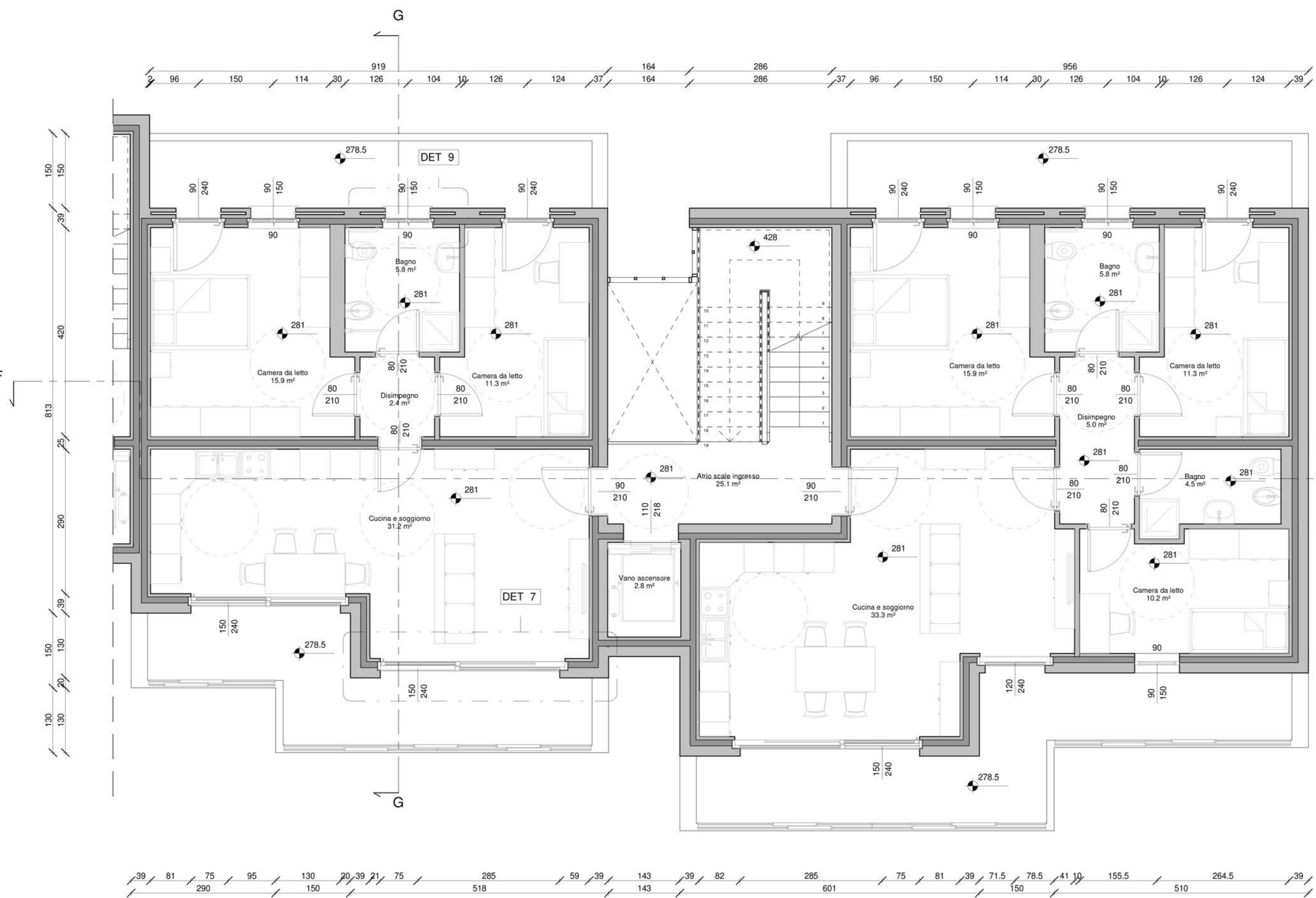
TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
 PIANTE EDIFICIO D

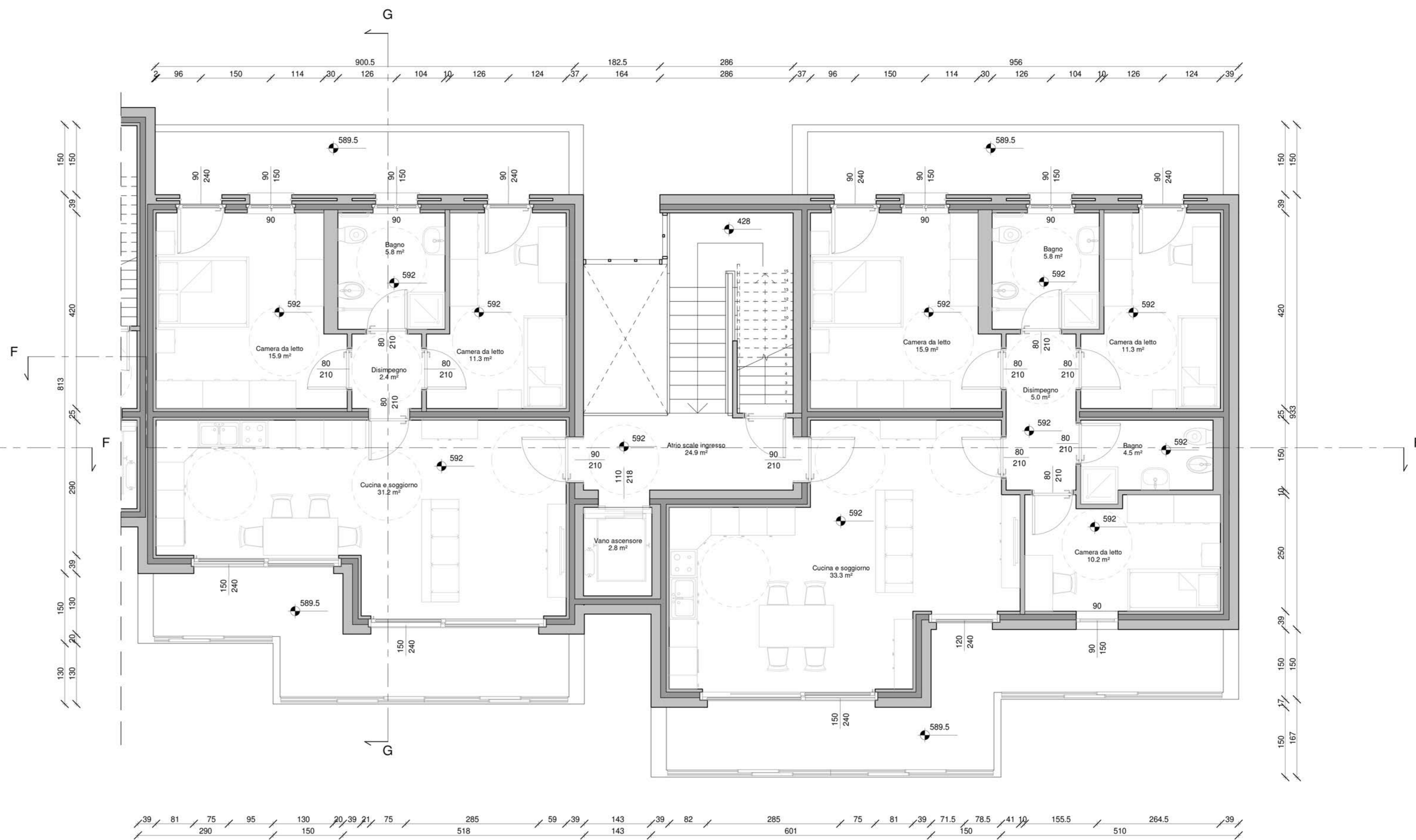
Scala 1:50 N° tavola 13

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA  
 Laureando: ANDREA TURCO 1151568

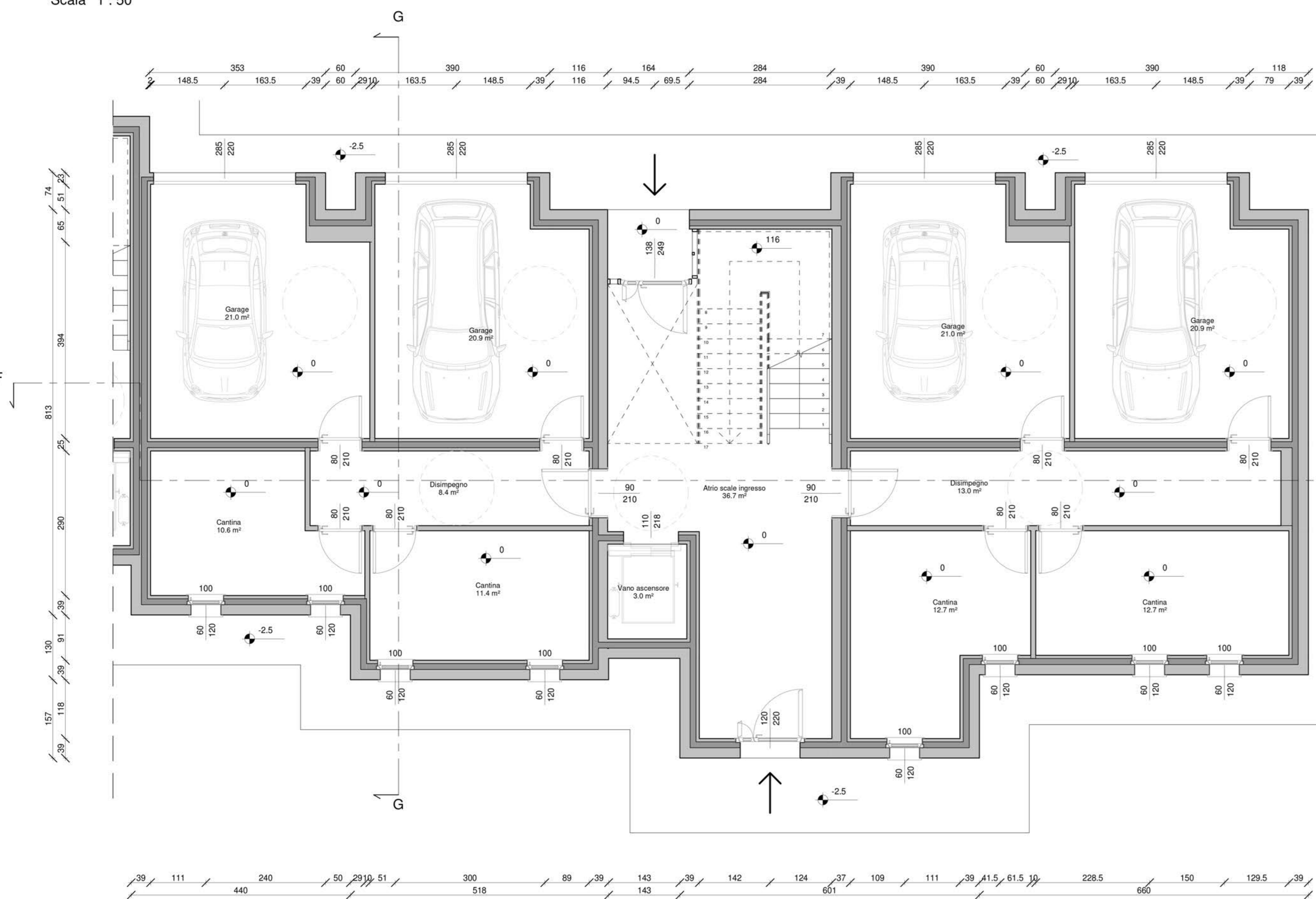
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



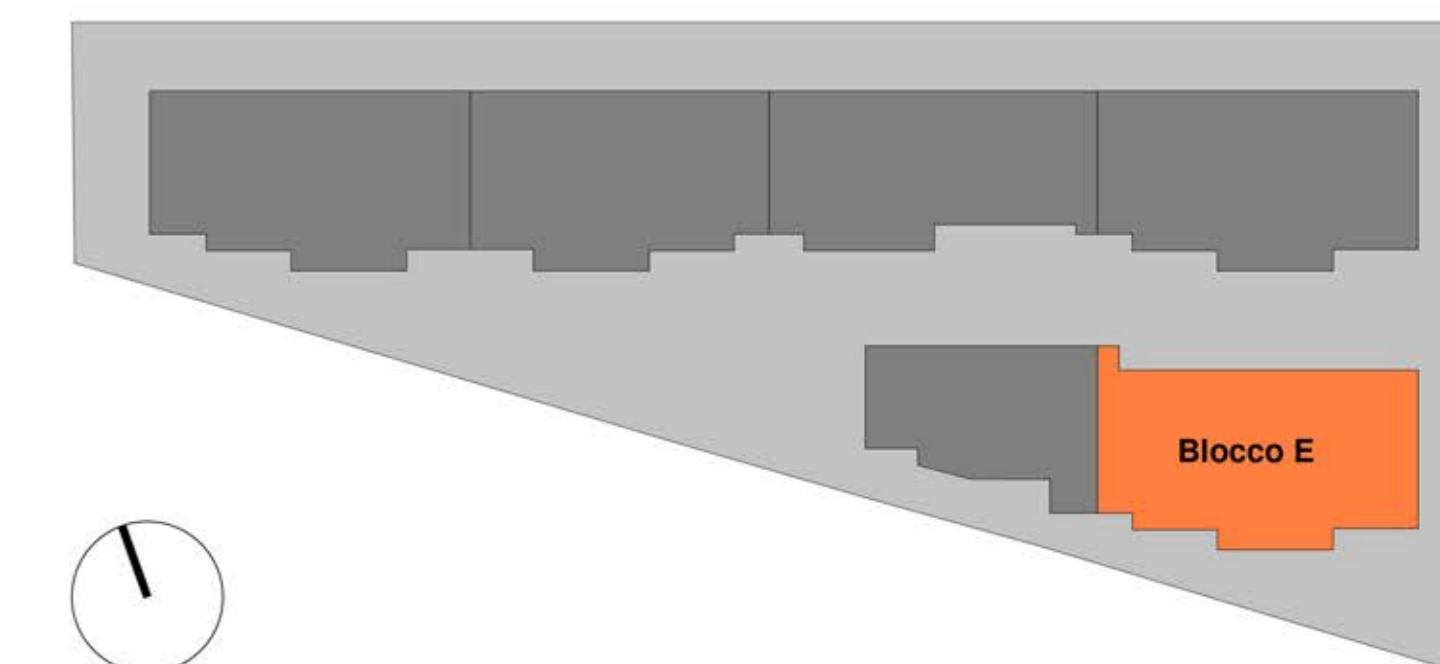
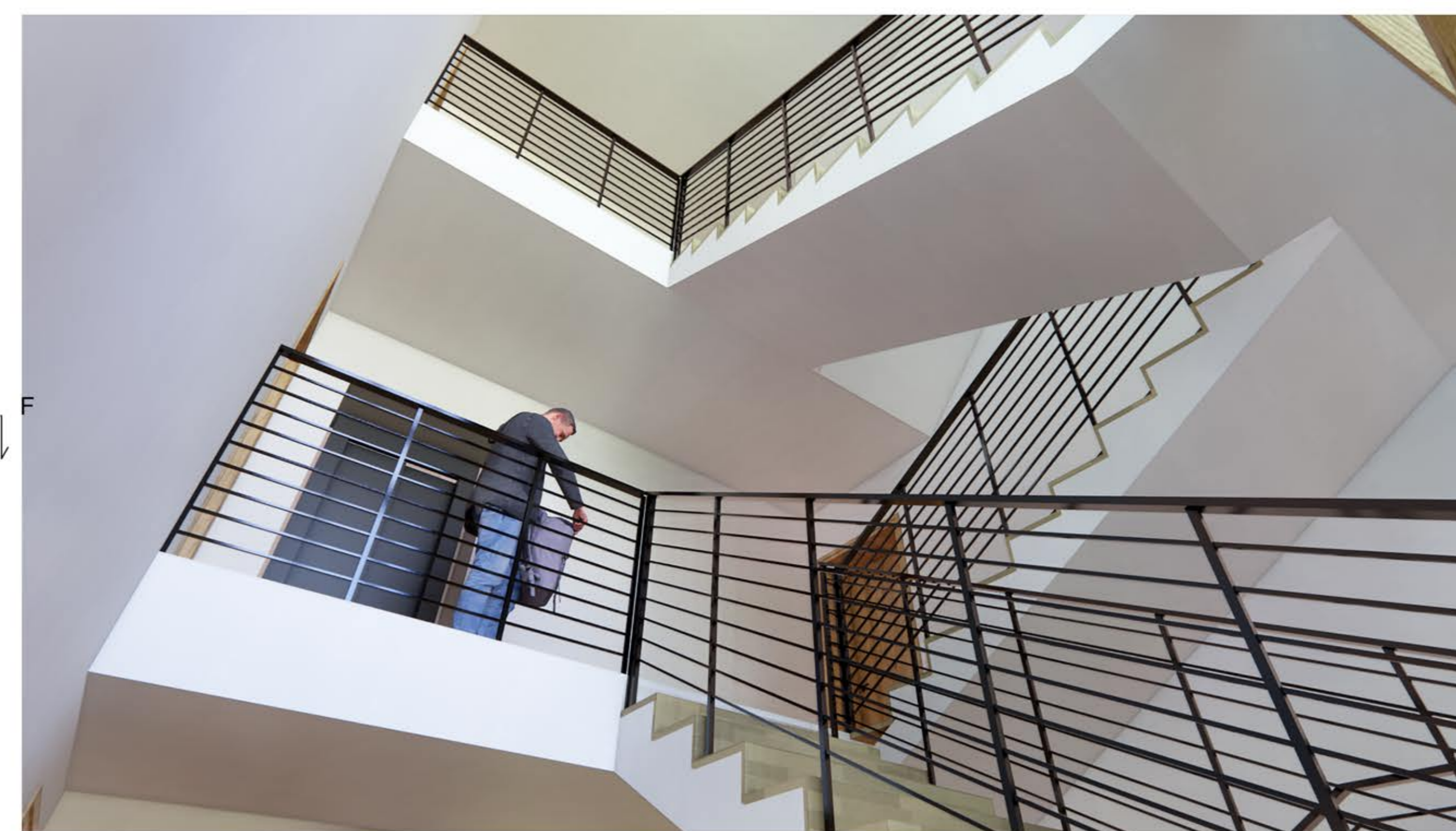
Blocco E - P01  
Scala 1 : 50



Blocco E - P02  
Scala 1 : 50



Blocco E - P00  
Scala 1 : 50



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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



TESI DI LAUREA

PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
PIANTE EDIFICIO E

Scala  
1:50

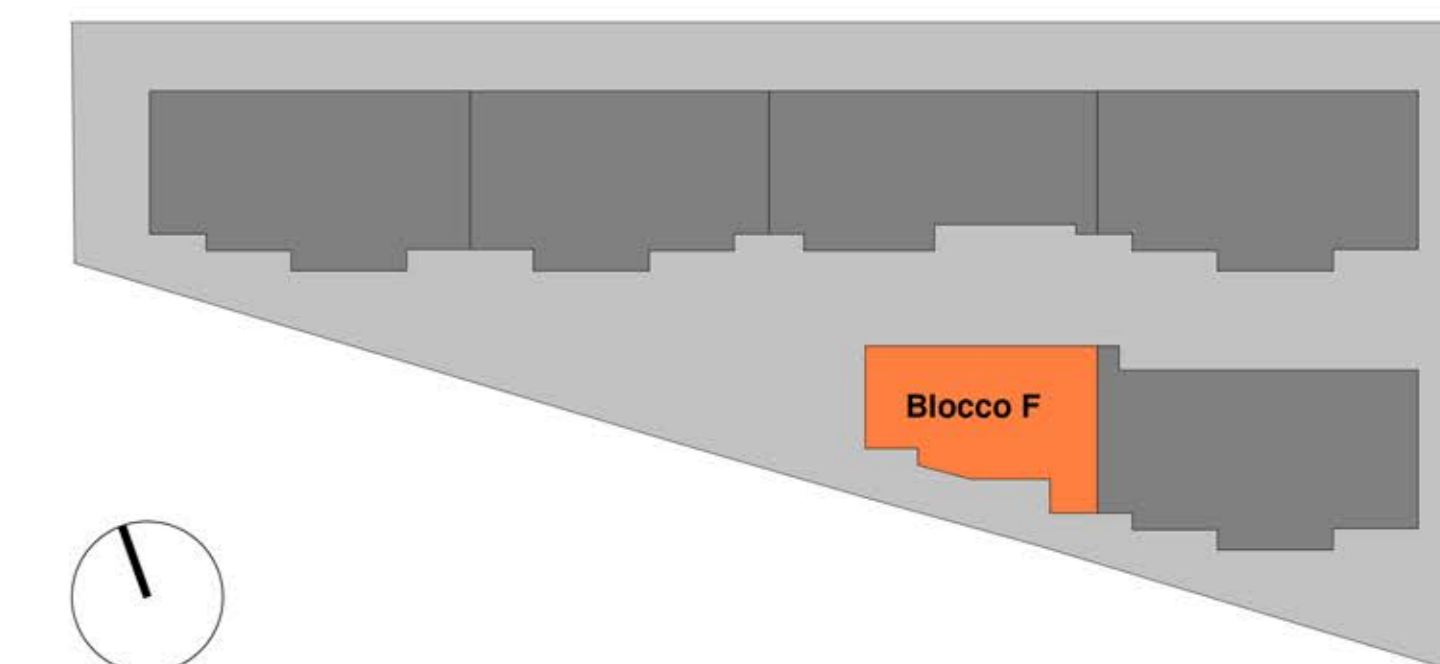
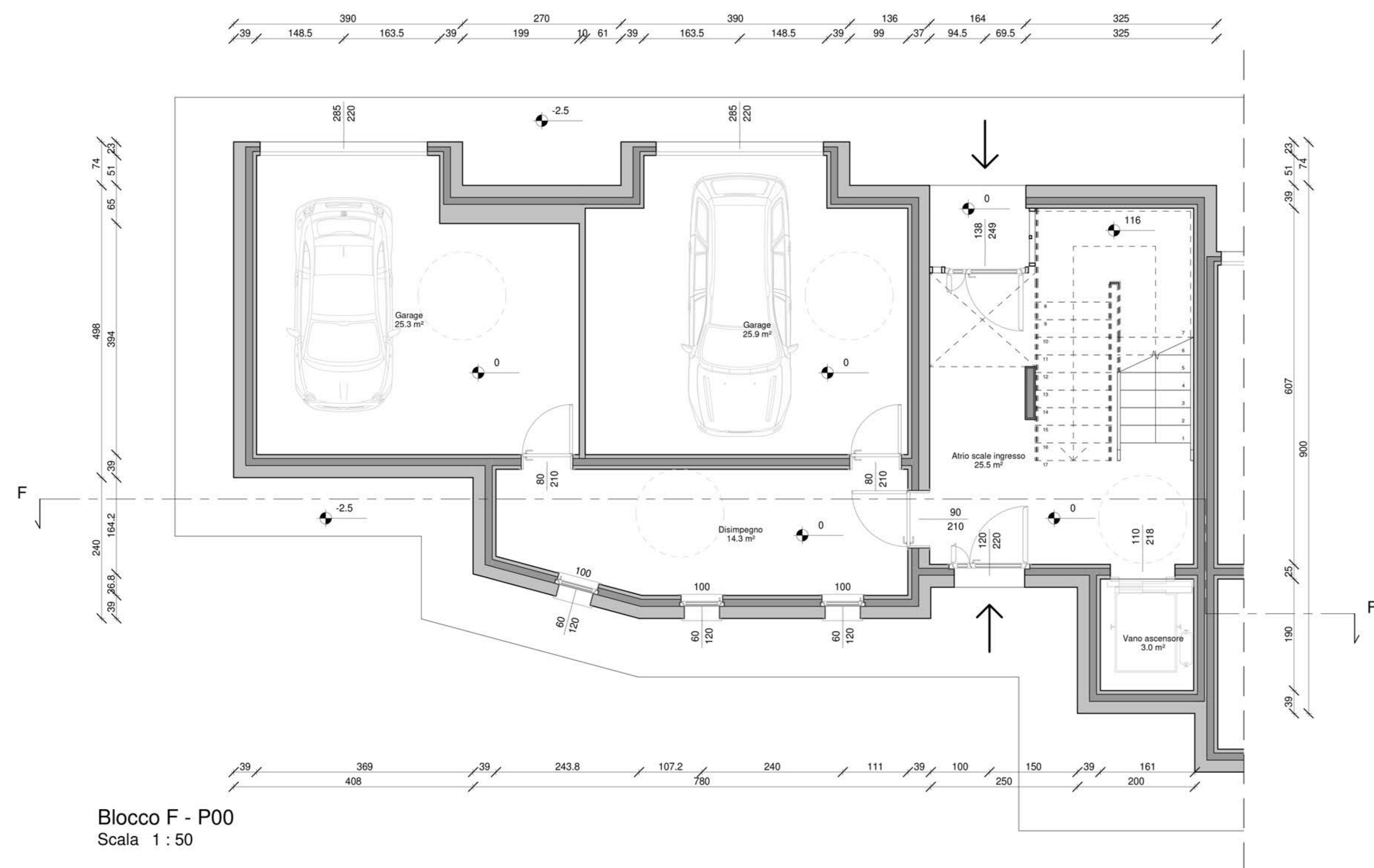
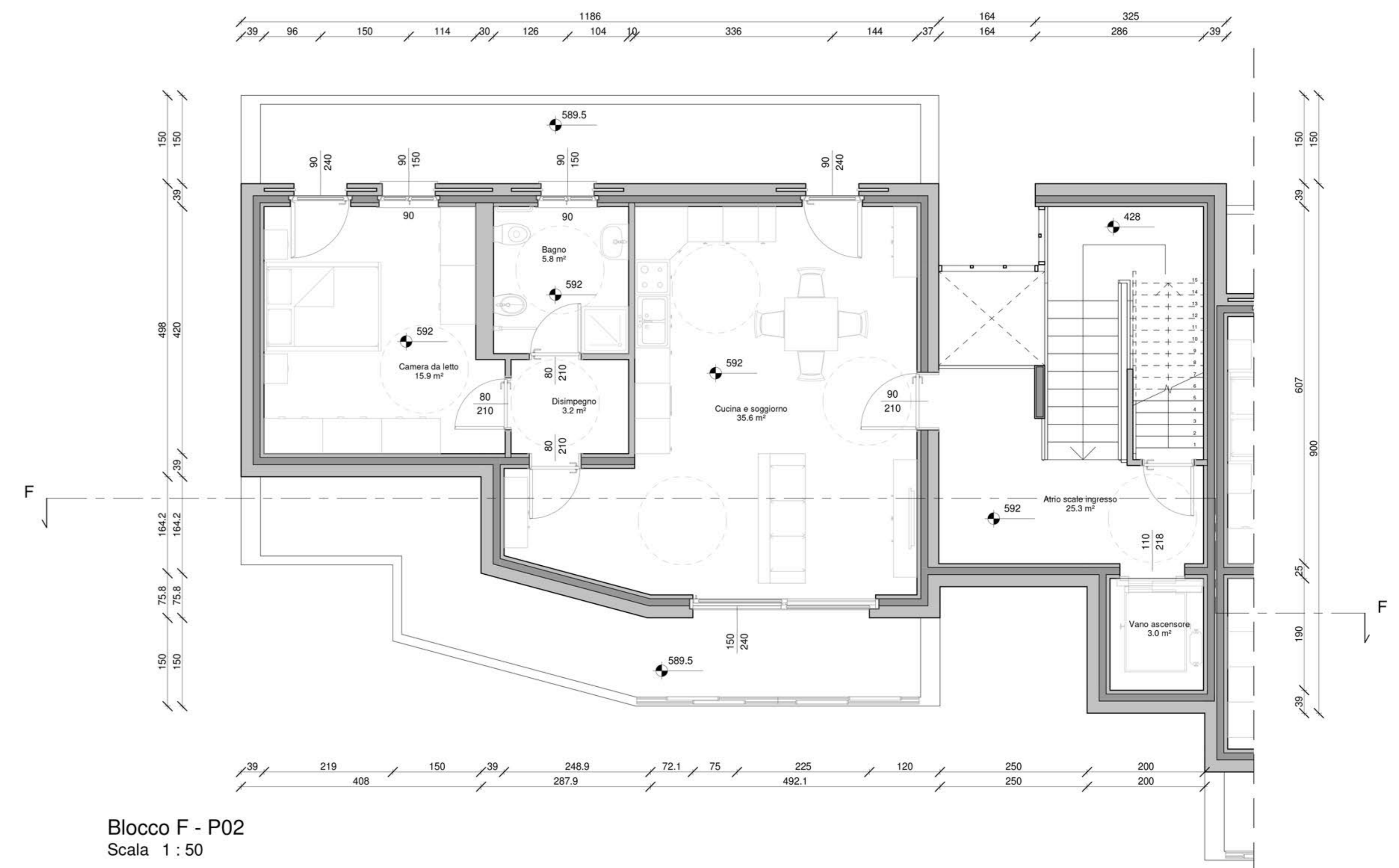
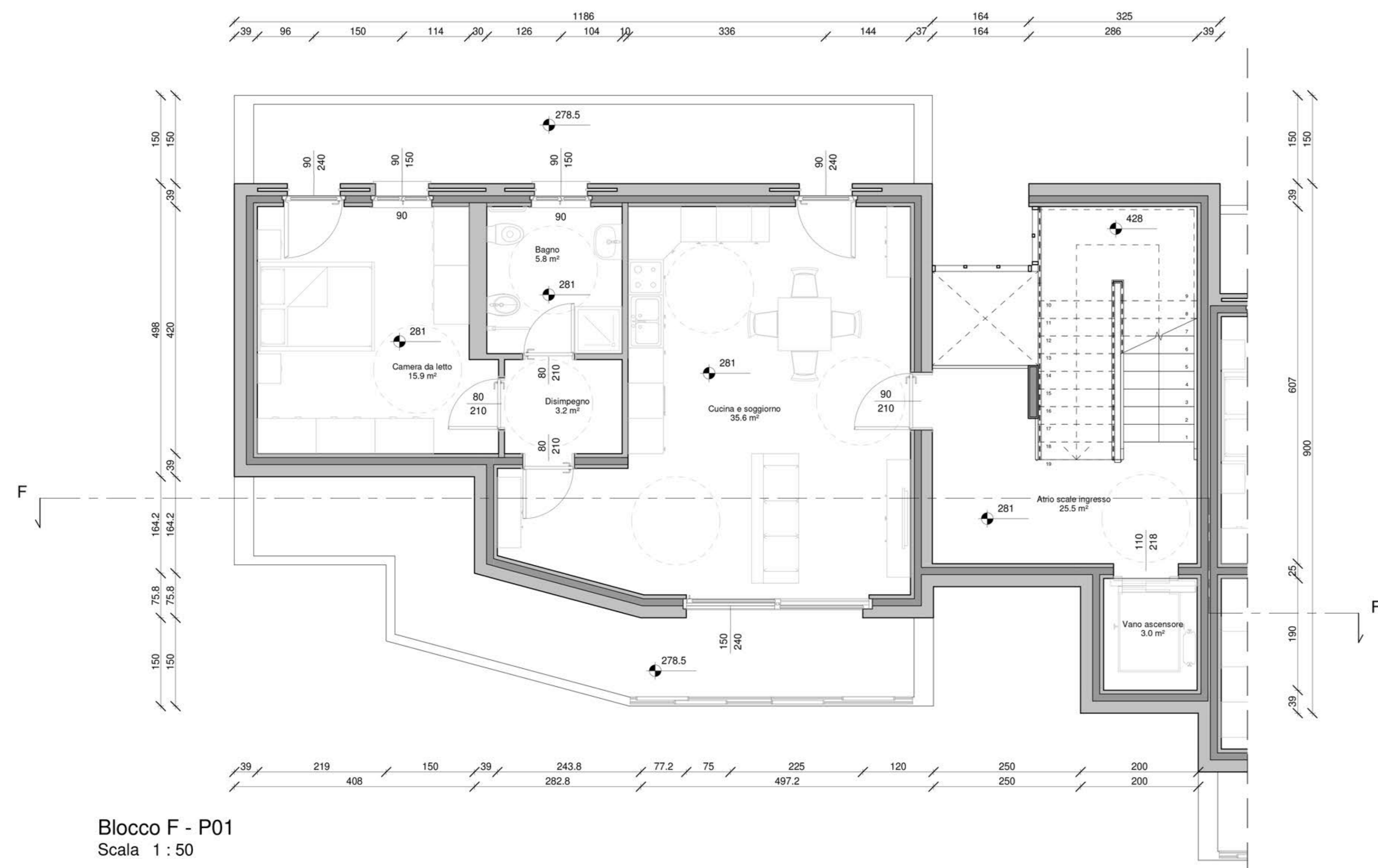
N° tavola  
14

Relatore:  
Prof. Ing. MAURO CAINI  
Correlatrice:  
Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPPARELLA


Laureando: ANDREA TURCO  
1151568

ANNO ACCADEMICO 2022-2023





UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE  
*Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering*  
 Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura



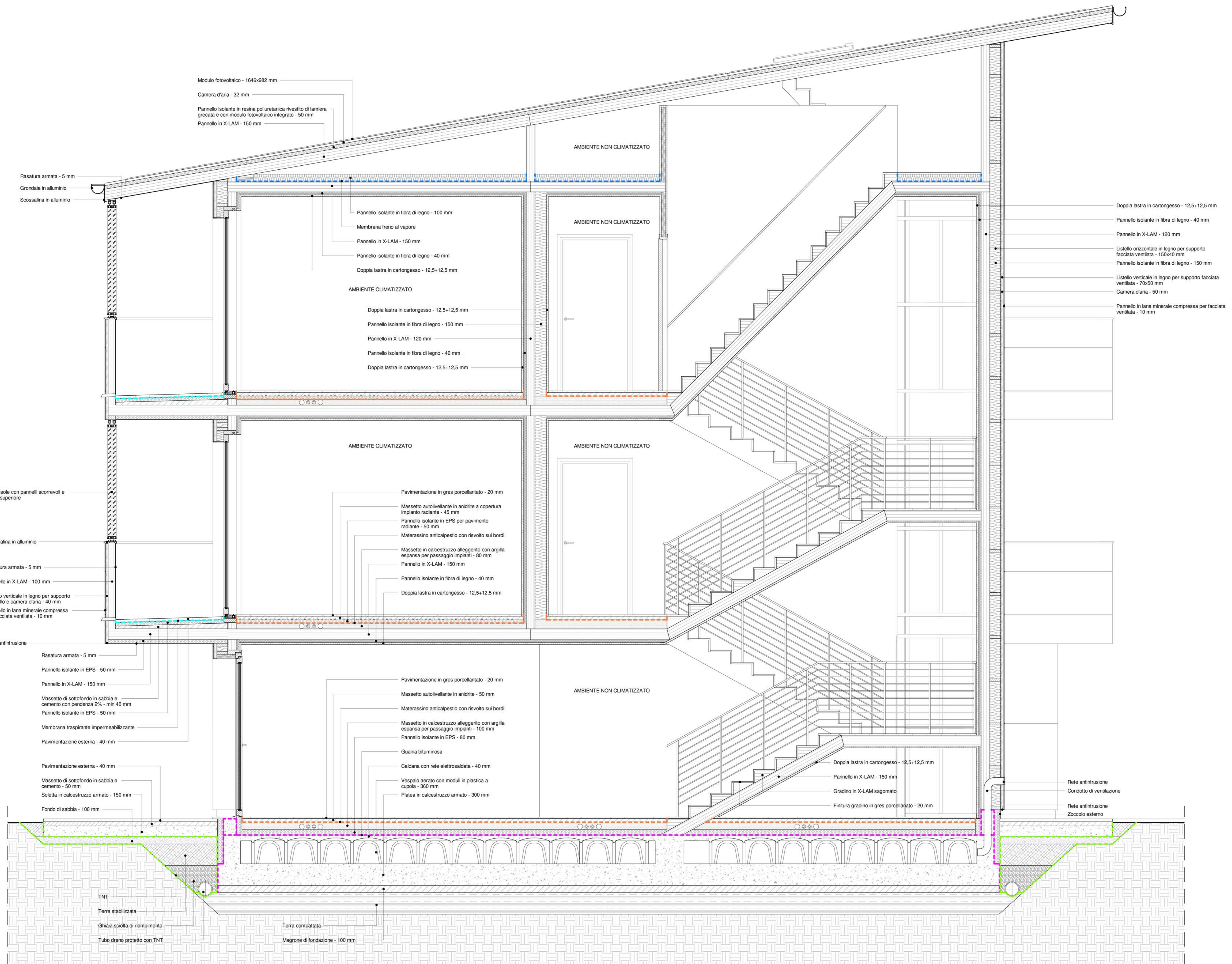
TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
 PIANTE EDIFICIO F

Scala 1:50 N° tavola 15

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI Laureando: ANDREA TURCO 1151568  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

ANNO ACCADEMICO 2022-2023



Dettaglio 1 - Sezione trasversale del Blocco A  
Scala 1 : 20

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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura

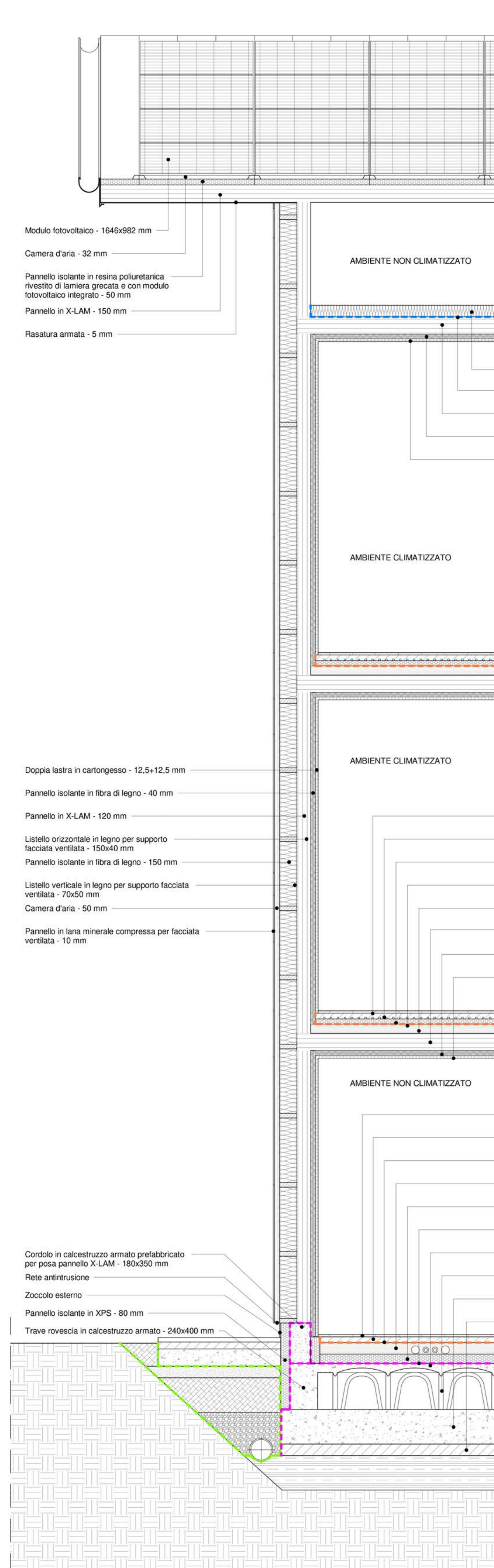
TESI DI LAUREA  
 PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
 COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
 TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
 DETTAGLI COSTRUTTIVI 1

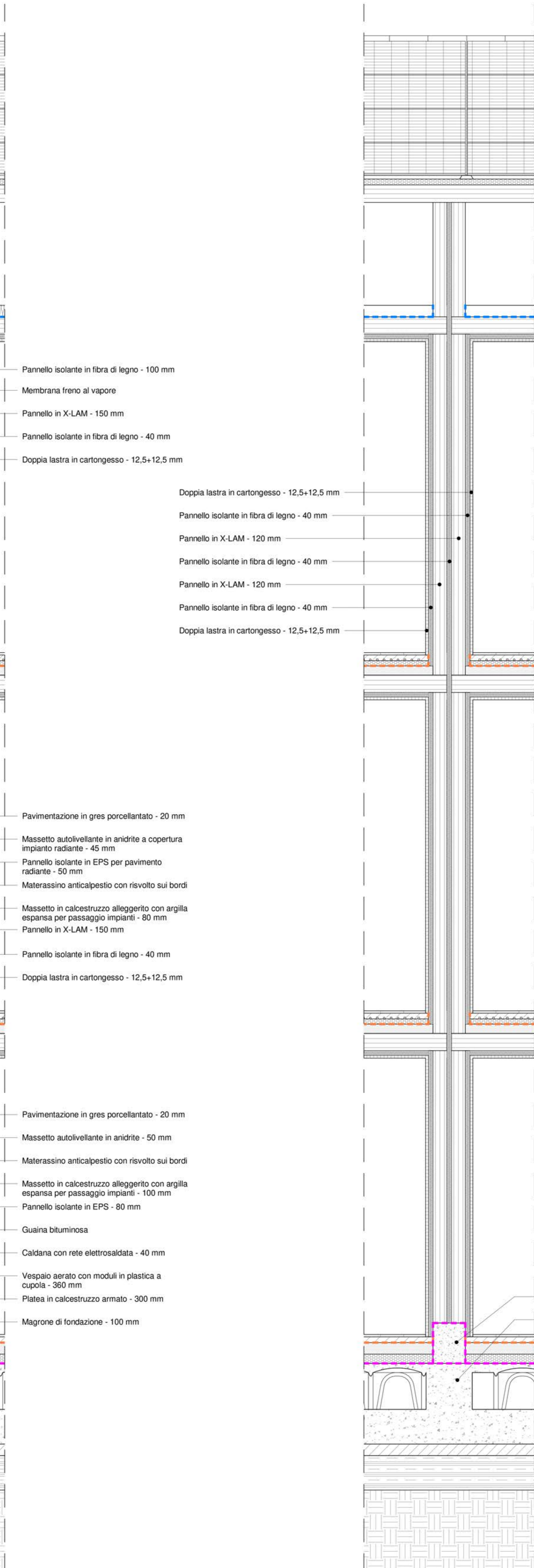
Scala 1:20 N° tavola 16

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI Laureando: ANDREA TURCO 1151568  
 Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPARELLA

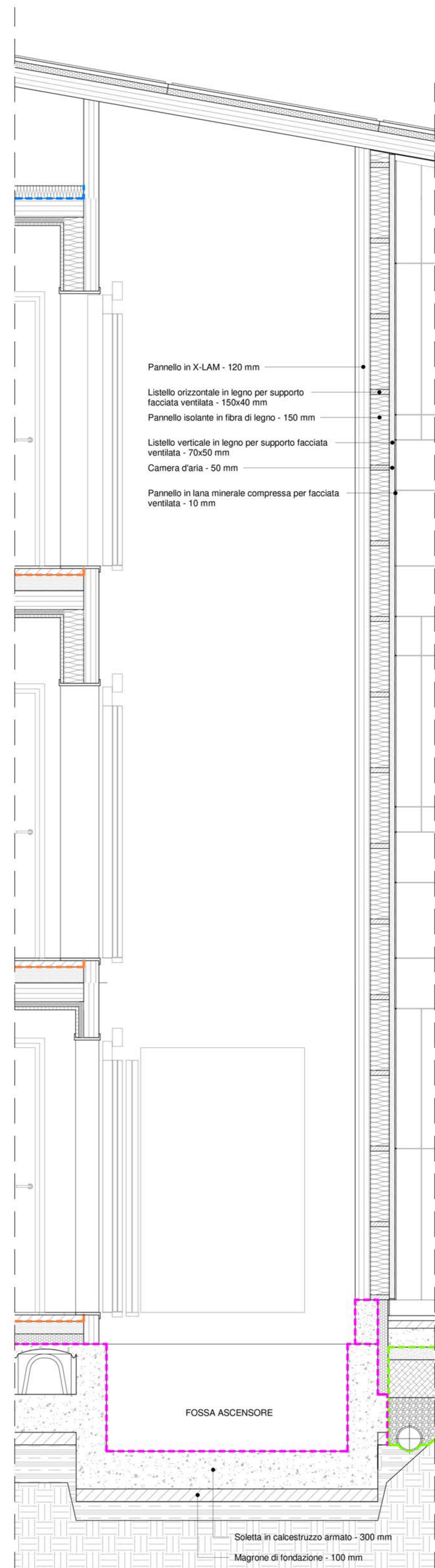
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



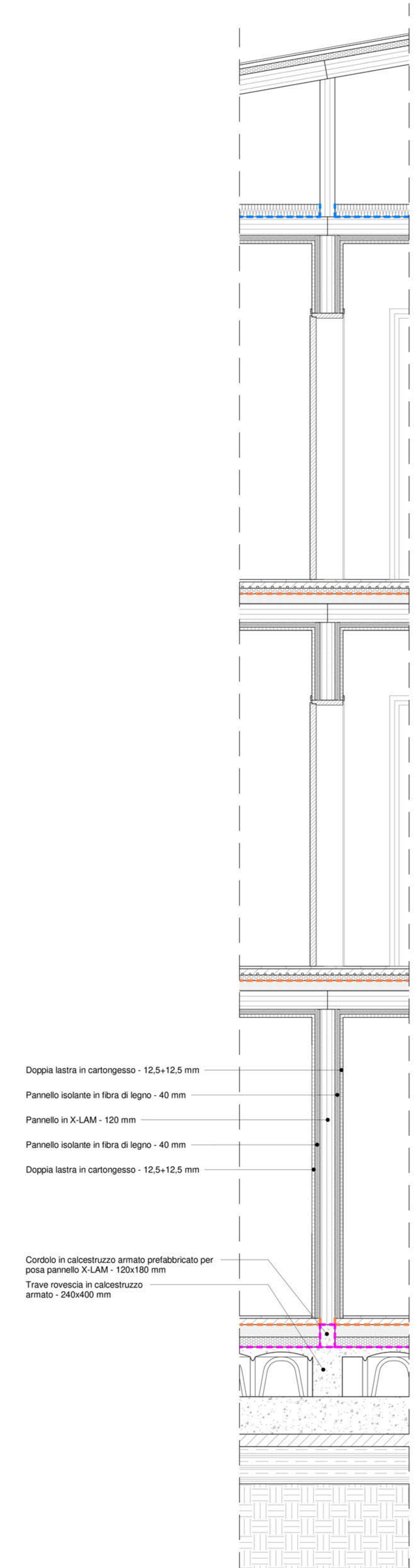
Dettaglio 2 - Parete perimetrale  
Scala 1 : 20



Dettaglio 3 - Parete divisoria appartamenti  
Scala 1 : 20



Dettaglio 4 - Vano ascensore  
Scala 1 : 20



Dettaglio 5 - Parete portante interna  
Scala 1 : 20

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

Corso di Laurea in Ingegneria Edile-Architettura

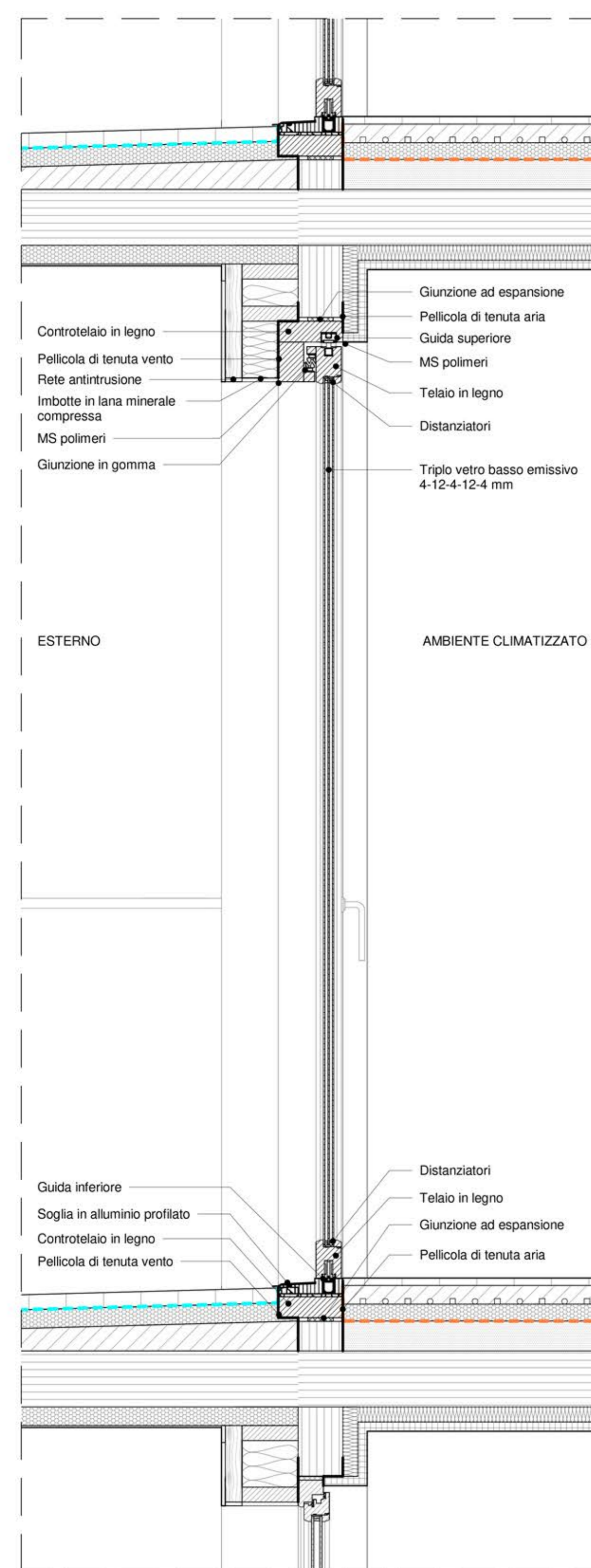
TESI DI LAUREA  
PROGETTAZIONE A ENERGIA QUASI ZERO DEL  
COMPLESSO DI EDILIZIA RESIDENZIALE PUBBLICA IN VIA  
TELESIO A PADOVA

TAVOLA  
DETTAGLI COSTRUTTIVI 2

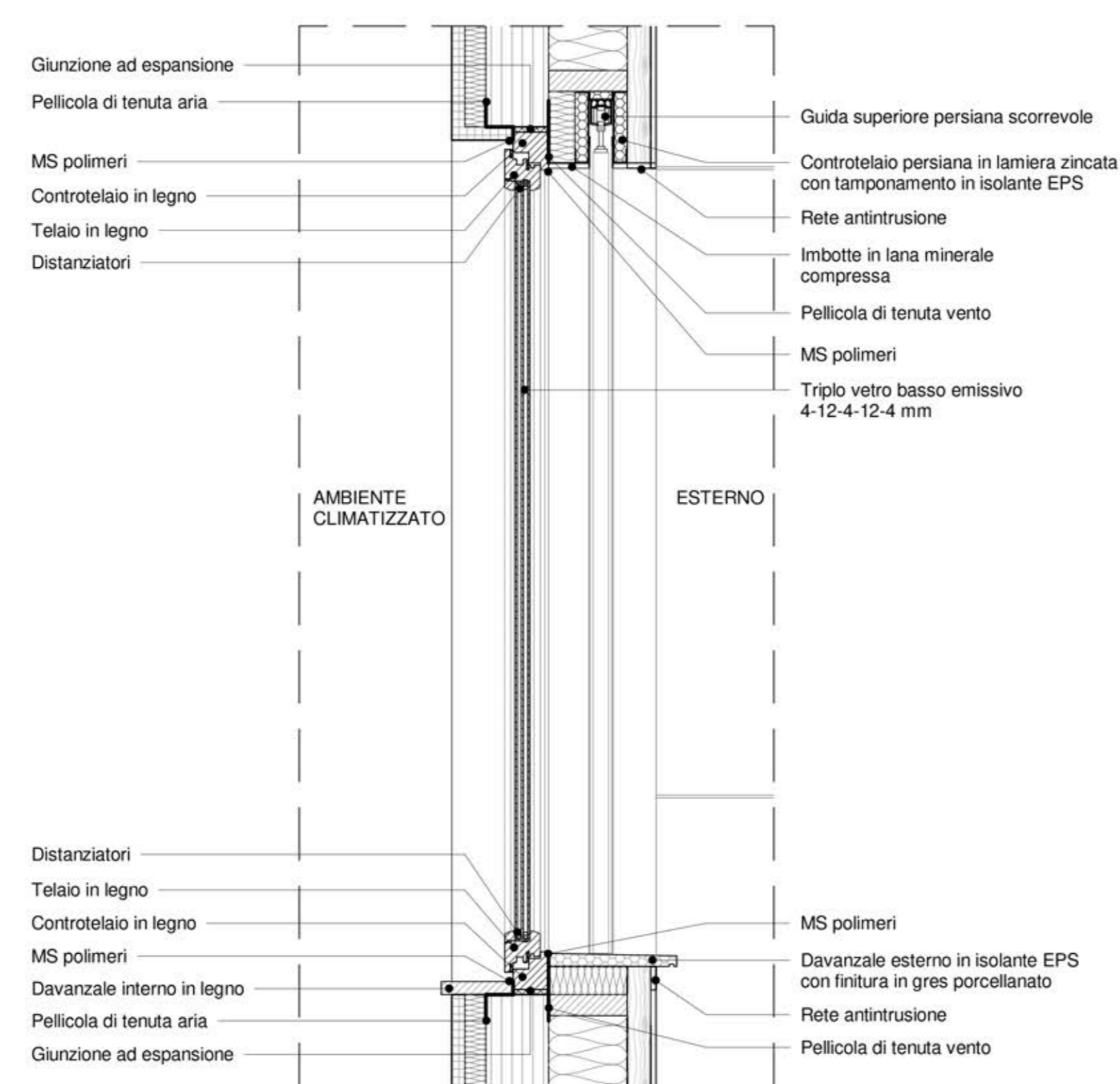
Scala 1:20 N° tavola 17

Relatore: Prof. Ing. MAURO CAINI Laureando: ANDREA TURCO 1151568  
Correlatrice: Prof.ssa Ing. ROSSANA PAPPARELLA

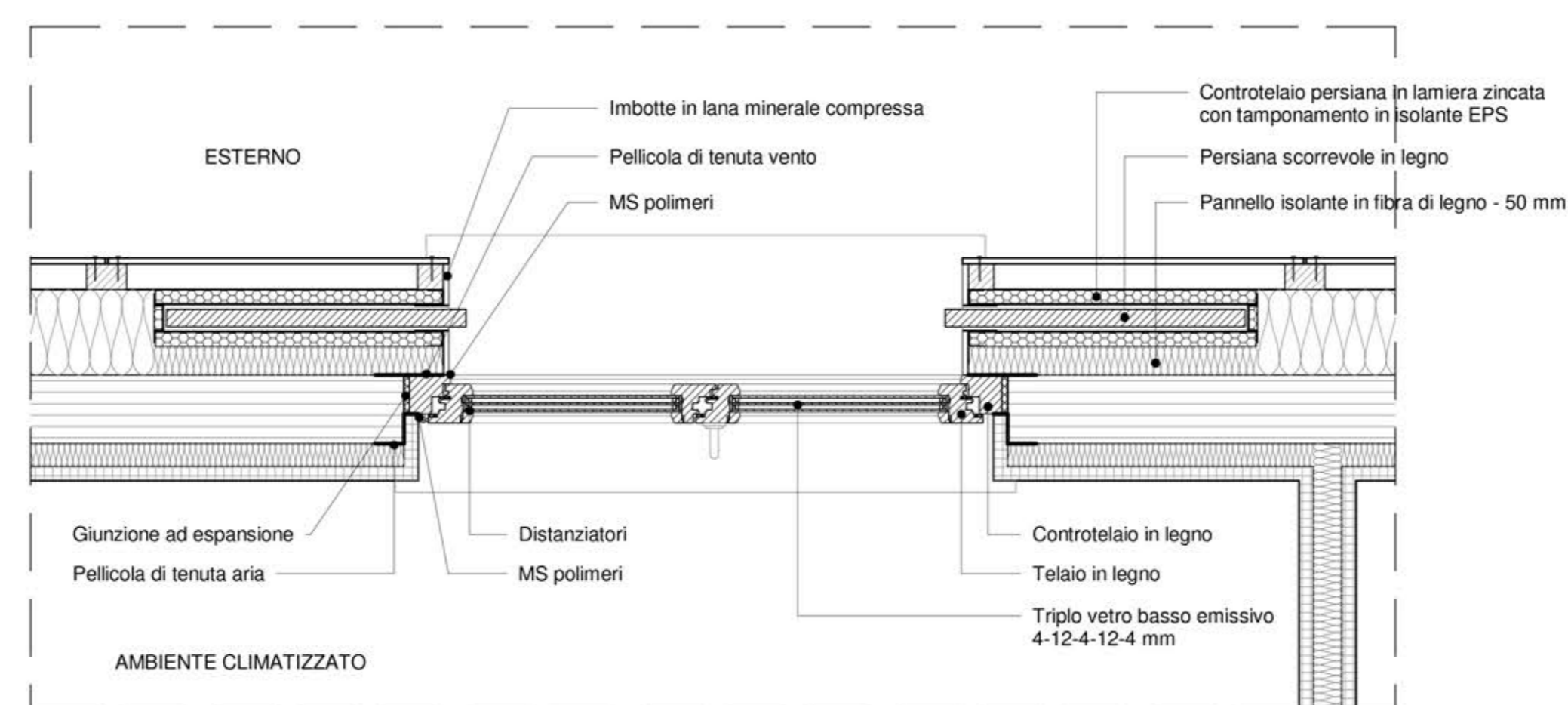
ANNO ACCADEMICO 2022-2023



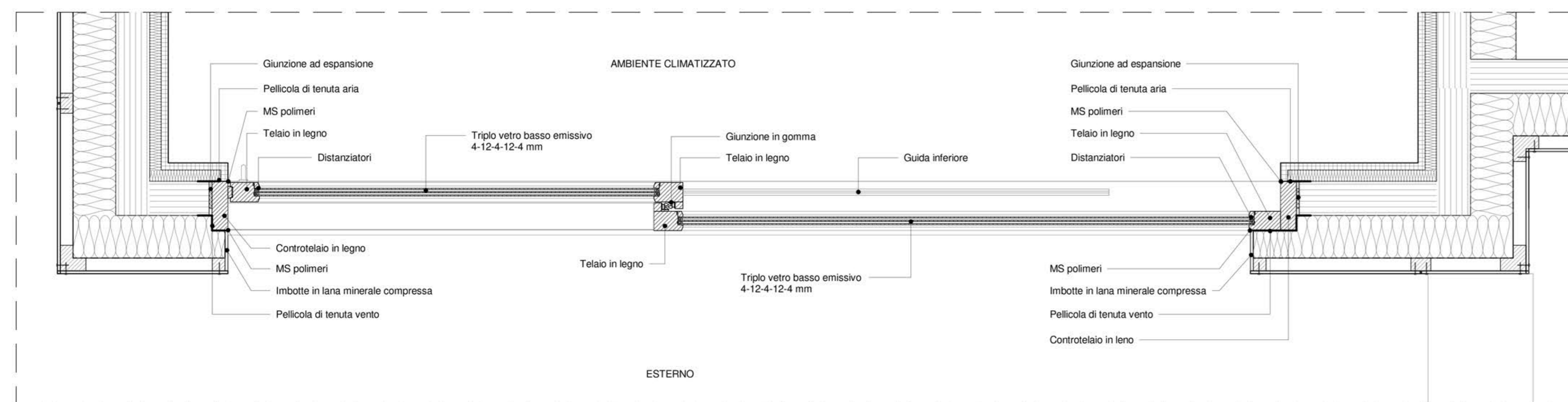
Dettaglio 6 - Sezione vetrata scorrevole  
Scala 1 : 10



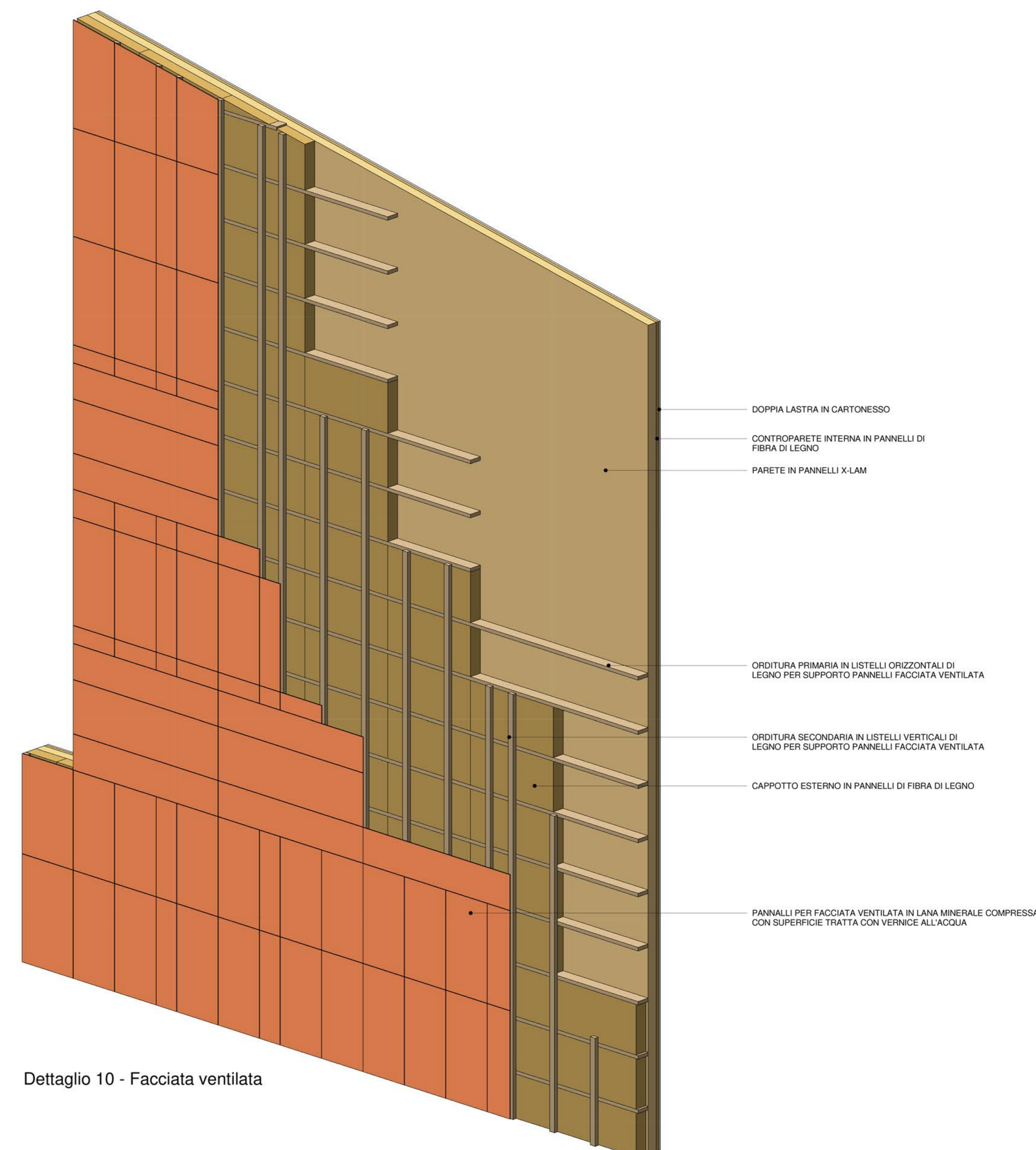
Dettaglio 8 - Sezione finestra con persiana  
Scala 1 : 10



Dettaglio 9 - Pianta finestra con persiana  
Scala 1 : 10



Dettaglio 7 - Pianta vetrata scorrevole  
Scala 1 : 10



Dettaglio 10 - Facciata ventilata

