



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in  
Architettura per il Progetto  
Sostenibile



**UNIVERSIDAD  
DE BELGRANO**

Facultad de  
Arquitectura y Urbanismo

Tesi di Laurea Magistrale  
Double Degree Programme EXTRA-EU

**Requisiti di isolamento termico ed acustico per gli uffici in  
Argentina e Italia: applicazione progettuale e comparazione.**

**Relatrici:**

prof.ssa Arianna Astolfi  
ing. Sara Viazzo  
prof.ssa Liliana Bonvecchi

**Candidata:**

Francesca Mischitelli

a.a. 2019/2020



## Abstract

Negli ultimi anni si è parlato sempre di più di sostenibilità ambientale e benessere dell'uomo, sia per l'edilizia abitativa che negli ambienti di lavoro; e vivendo in un mondo globalizzato si tratta ormai di temi di dibattito internazionale. Sorgono spontanei alcuni quesiti: ciò è stato affrontato in ugual maniera in tutto il mondo? Quanto influisce il contesto legislativo e quanto quello geo-politico? I materiali efficienti sono disponibili per tutti o costituiscono un bene a cui pochi possono accedere?

Il seguente lavoro di ricerca cerca di rispondere a questi interrogativi, prendendo come esempio due Paesi appartenenti a contesti molto diversi, Italia ed Argentina, per analizzare attraverso la normativa e la pratica come si affrontano in ambito architettonico due requisiti fondamentali della sostenibilità, ovvero l'isolamento termico e quello acustico.

Questi concetti si declinano nella pratica in indici di prestazioni termiche ed acustiche, i quali descrivono oggettivamente l'efficienza del manufatto, tenendo conto delle ripercussioni sulla sfera soggettiva. Tali indici ci permettono di effettuare una comparazione tra un edificio di coworking sviluppato in Italia ed uno argentino, seppur partendo dalla stessa base progettuale.

En los últimos años se ha hablado siempre más de desempeño ambiental y bienestar del hombre, tanto en la construcción para viviendas como en los ambientes laborales; y viviendo en un mundo globalizado, estos se volvieron temas de debate internacional. Por lo tanto, surgen espontáneas algunas cuestiones: todo el mundo ha enfrentado de igual manera estos temas? Cuánto influye el contexto legislativo y cuánto el geo-político? Los materiales eficientes están disponibles para todos o son un bien al que pocos pueden acceder?

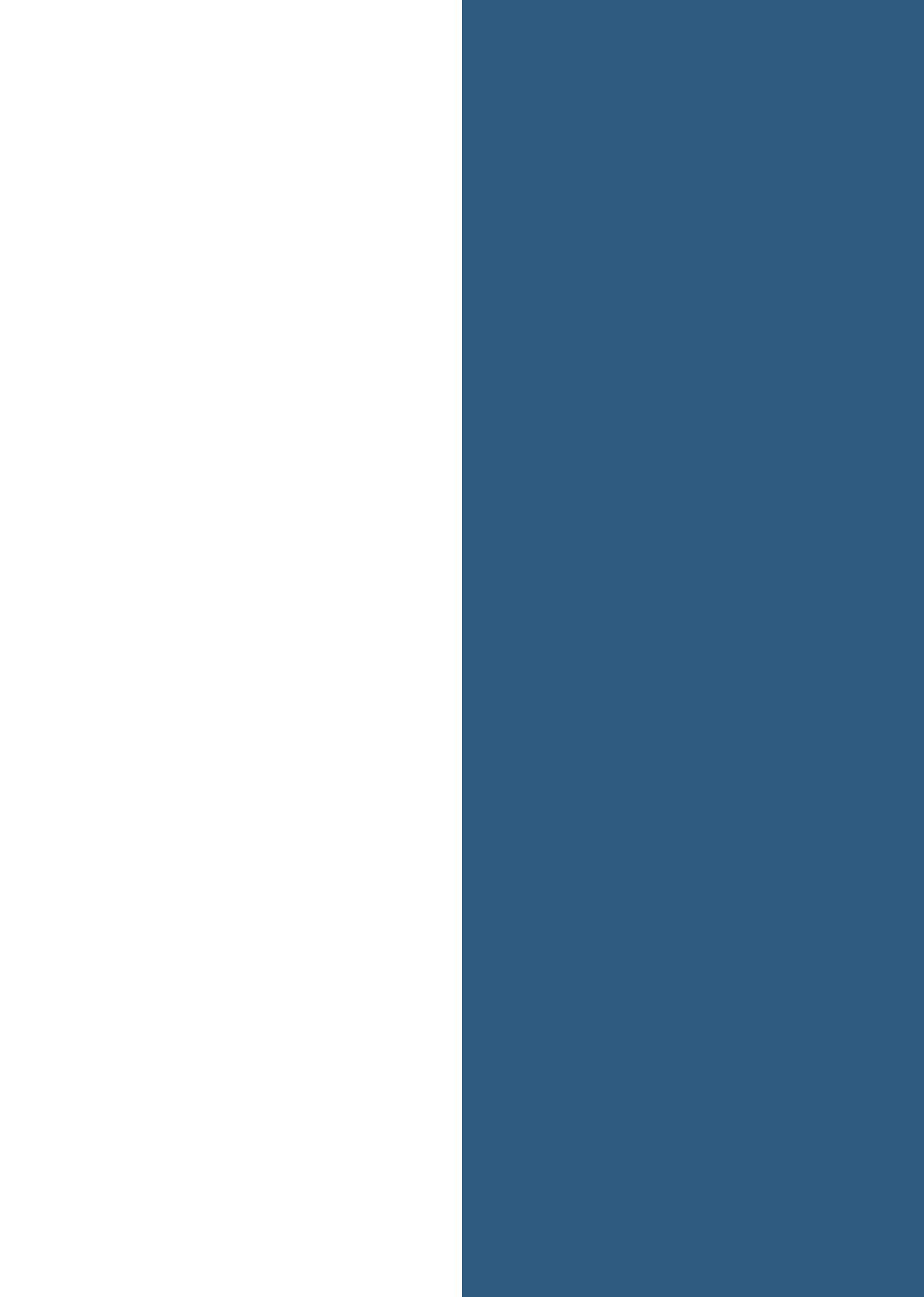
Este trabajo de investigación trata de responder a estas preguntas, tomando como ejemplo dos Países que pertenecen a contextos muy distintos, Italia y Argentina, para analizar, a través de legislación y práctica, como se gestionan en el ámbito arquitectónico dos requisitos fundamentales de la sustentabilidad, el aislamiento térmico y acústico.

Dichos conceptos se articulan en índices de prestaciones térmicas y acústicas, que describen objetivamente la eficiencia del edificio, teniendo en cuenta los efectos en la esfera subjetiva. Estos índices nos permiten realizar una comparación entre un edificio de coworking desarrollado en Italia y uno argentino, si bien partamos de la misma base proyectual.

Over recent years there has been more and more discussions about environmental sustainability and human well-being, both for housing and working environment. As we live in a globalized world, today these are issues of international debate, so we wonder whether this topic has been faced in the same way throughout the world. How much does the legislative and geo-political context affect environmental sustainability and human well-being? Are efficient materials available to everyone or are they goods that few people can access?

The following research work's aim is to answer to these questions, using two countries with different contexts, Italy and Argentina, as model to analyze how their legislation and practice deal with two fundamental requirements of sustainability in architecture: thermal and sound insulation.

These notions are applied in practice in thermal and acoustic performance indices, which objectively describe the efficiency of a building, taking into account the effects on the subjective sphere. These indices allow us to make a comparison between a coworking building projected in Italy and an Argentine one, both developed from the same design base.



## Indice

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'energia.....</b>	<b>9</b>
2.1 Normativa Argentina.....	12
2.1.1 Norma IRAM 11603/1996.....	13
2.1.2 Norma IRAM 11605/1996.....	17
2.1.3 Norma IRAM 11604/2001.....	19
2.1.4 Norma IRAM 11900/2010.....	22
2.2 Normativa Italiana.....	24
2.2.1 D.P.R. n°412/1993.....	25
2.2.2 Dec. Interministeriale 26/05/2015.....	27
2.2.3 Norma UNI/TS 11300.....	30
2.3 Confronto fra le disposizioni argentine ed italiane.....	32
<b>3. Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'acustica.....</b>	<b>33</b>
3.1 Normativa Argentina.....	36
3.1.1 Ley 1540/2004.....	37
3.1.2 Norma IRAM 4044/2015.....	40
3.2 Normativa Italiana.....	49
3.2.1 Legge n°447/1995.....	50
3.2.2 D.P.C.M. 14/11/1997.....	51
3.2.3 D.P.C.M. 05/12/1997.....	54
3.2.4 D.Lgs. n°194/2005.....	56
3.2.5 UNI/TR 11175:2005.....	57
3.3 Confronto fra le disposizioni argentine ed italiane.....	65
<b>4. Presentazione del caso studio.....</b>	<b>67</b>
4.1 Analisi urbana ed individuazione della tematica di progetto.....	70
4.2 Azione puntuale: l'edificio SHLOW.....	74
4.3 Materialità e dettagli tecnologici.....	88
4.4 Ipotesi di partizione interna.....	96
<b>5. Calcolo delle prestazioni dell'edificio.....</b>	<b>98</b>
5.1 Energia.....	100
5.1.1 Modello argentino.....	101
5.1.2 Modello italiano.....	105
5.1.3 Confronto dei risultati.....	107
5.2 Acustica.....	109
5.2.1 Modello argentino.....	110
5.2.2 Modello italiano.....	112
5.2.3 Confronto dei risultati.....	113
<b>6. Conclusioni.....</b>	<b>114</b>
<b>7. Bibliografia.....</b>	<b>117</b>
<b>8. Appendice.....</b>	<b>121</b>

# 1

## Introduzione

## 1. Introduzione

Il presente lavoro di tesi si propone di verificare se il progetto di un edificio sviluppato in Argentina possa costituire una proposta valida anche in Italia, in conformità con i requisiti di sostenibilità condivisi in maniera più o meno integrale a livello internazionale.

L'interesse per questo tema è nato svolgendo il Trabajo Final de Carrera presso la Universidad de Belgrano di Buenos Aires, poiché durante lo sviluppo del progetto è emersa una grande attenzione per gli aspetti compositivi ed impiantistici, affiancata dalla scarsa considerazione degli aspetti di comfort termico ed acustico degli utenti, come forma di sostenibilità: ciò è dettato dal fatto che in Argentina non esistano sempre limiti dettati dalla legge, ma molto spesso solo delle raccomandazioni fornite da norme tecniche.

In Italia, invece, in campo energetico tutte le norme tecniche UNI analizzate sono cogenti, poiché espressamente citate nei testi di legge come riferimento per i procedimenti di calcolo, mentre nel caso dell'acustica, solo leggi e decreti lo sono. Forniscono infatti dei limiti da rispettare obbligatoriamente, di cui le norme tecniche costituiscono un supporto ed integrazione per il calcolo e le misurazioni.

Per quanto riguarda i requisiti termici ed acustici degli edifici, si farà pertanto riferimento al quadro tecnico-normativo che stabilisce alcuni concetti e parametri fondamentali per la valutazione dell'efficienza e del comfort all'interno di una tipologia di ambiente sempre più comune negli ultimi anni: gli uffici di coworking, definibili come *open-spaces* in cui il modo fluido di vivere gli spazi, come se fosse una *comune urbana*<sup>1</sup>, deve andare di pari passo con il benessere individuale dell'utente.

Nei primi capitoli viene illustrata la selezione di leggi e norme tecniche utilizzate per la successiva applicazione pratica sul caso studio: il seguente elaborato non va quindi inteso come un compendio esaustivo di tutta la normativa energetica ed acustica attualmente vigente in Italia e in Argentina.

L'analisi parte dal caso studio sviluppato a Buenos Aires come elaborato finale del corso di studi: sebbene la sua elaborazione sia avvenuta all'interno di un laboratorio di progettazione argentino, i criteri compositivi e tecnologici scelti seguono solo in parte la linea di pensiero locale, a causa della nazionalità dei componenti del gruppo e di un'ottica di sostenibilità di stampo Europeo.

Viene individuata a tale scopo la casistica Italiana meglio confrontabile con Buenos Aires a livello climatico, ovvero la città di Napoli (zona C), e si sviluppano i due modelli costruttivi che si adattano alle due diverse realtà, nonostante si cerchi di mantenere identica la sostanza del progetto.

Si passa infine alla parte di calcolo, per la quale si utilizzano appositi software e fogli di calcolo che contemplano i limiti normativi dei due paesi, per concludere con il confronto tra le prestazioni della proposta progettuale nelle due ipotesi di sviluppo.

---

<sup>1</sup> Iñaki Abalos, (2000). "La buena vida. Visita guiada a las casas de la modernidad". Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

# 2

## **Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'energia**

## **2. Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'energia**

Già dal 1970 la Repubblica Argentina presentava una normativa con indicazioni progettuali in funzione delle zone bioclimatiche del paese, ma solo nel 1990 ha iniziato a prendere provvedimenti per quanto riguarda la regolazione termica degli edifici, definendo strategie di risparmio di energia per il riscaldamento, e aggregando negli anni nuove indicazioni per allinearsi alle politiche mondiali di efficienza nel settore edilizio.

Anche in Italia i primi provvedimenti per il risparmio energetico risalgono agli anni '70, ma bisognerà aspettare altri vent'anni prima di vedere un avanzamento significativo in materia.

Sulle due linee del tempo, nella pagina seguente, vengono individuati i provvedimenti più significativi a partire dagli anni '90 fino ad oggi, molti dei quali verranno approfonditi nei paragrafi che compongono il presente capitolo.

1991	Legge 10/1991 Norme per l'attuazione del Piano energetico nazionale in materia d'uso nazionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia.						
2005	D. Lgs. 192/2005 Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia.	2011	D. Lgs. 28/2011 Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.	2015	D. Interm. 26/06/2015 Adeguamento alla Direttiva 2010/31/UE delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.		
1993	DPR 412/1993 Norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia.	2006	D. Lgs. 311/2006 Disposizioni correttive ed integrative al D. Lgs. 192	2013	Legge 90 Disposizioni urgenti per il recepimento della Direttiva 2010/31/UE sulla prestazione energetica nell'edilizia.		
1996	Norma IRAM 11603 Classificazione bioambientale della Repubblica Argentina.	2001	Norma IRAM 11604 Isolamento termico degli edifici. Verifica delle condizioni igrotermiche. Coefficiente volumetrico "G" delle perdite di calore.	2010	Norma IRAM 11900 Prestazioni energetiche negli edifici residenziali. Metodo di calcolo e criteri per l'Etichetta di Efficienza Energetica.		
	Norma IRAM 11605 Condizionamento termico degli edifici. Condizioni di abitabilità.	2003	Norma IRAM 11658 Isolamento termico degli edifici. Ponti termici.		Norma IRAM 11507-4 Infissi e facciate continue leggere. Finestre esterne. Requisiti complementari e isolamento termico.		
2000	Norma IRAM 11625 e Norma IRAM 11630 Isolamento termico degli edifici. Verifica delle condizioni igrotermiche.	2002	Norma IRAM 11601 Isolamento termico degli edifici. Metodi di calcolo. Proprietà di componenti ed elementi da costruzione in regime stazionario.	2007	Decreto N°140 Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE).	2012	Ley N°4458 Norme di termoregolazione nella costruzione di edifici. Modifiche al Código de Edificación.

## **2.1 Normativa Argentina**

## 2.1.1 Norma IRAM <sup>2</sup> 11603/1996

Acondicionamiento térmico de edificios - Clasificación bioambiental de la República Argentina

Revisione della precedente norma tecnica varata nel 1980, la presente stabilisce una zonizzazione climatica del territorio argentino che, per la sua notevole estensione, è caratterizzato da una grande varietà di microclimi diversi. Vengono forniti inoltre lineamenti guida per la progettazione, dall'orientamento solare più efficiente al soleggiamento minimo previsto per edifici residenziali.

Le zone bioclimatiche vengono definite considerando gli indici di comfort della temperatura effettiva corretta (TEC) <sup>3</sup>, in correlazione con il Predicted Mean Vote (PMV) e l'indice di Bel-din Hatch (HSI) <sup>4</sup>, sviluppati per le zone calde. La valutazione delle zone fredde, invece, non è stata realizzata attraverso gli indici di comfort, ma con i gradi giorno (GG) necessari per il riscaldamento.

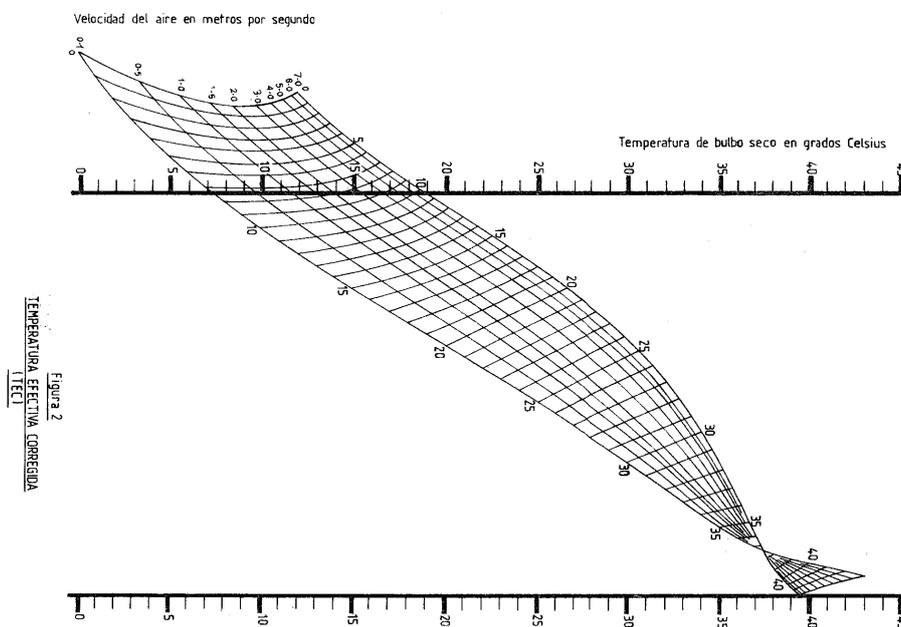


Figura 1: Grafico della Temperatura Effettiva Corretta, dalla Norma IRAM 11603.

<sup>2</sup> La IRAM (Instituto Argentino de Normalización) è un'associazione civile senza fini di lucro che stabilisce norme tecniche, promuovendo le attività di certificazione dei prodotti e dei sistemi di qualità nelle società per la sicurezza del consumatore. Rappresenta inoltre l'Argentina nella International Organization for Standardization (ISO).

<sup>3</sup> La Temperatura Effettiva (TE) è un indice termico dato dalla combinazione di temperatura dell'aria ed umidità relativa in funzione alla velocità dell'aria. Si definisce come la temperatura che in aria satura produrrebbe la stessa sensazione di comfort dell'ambiente in questione. Non contemplando lo scambio di calore radiante per gli ambienti chiusi ed esposti alla radiazione solare, nasce la Temperatura Effettiva Corretta (TEC), che lo incorpora. Per il calcolo si utilizzano gli stessi diagrammi psicrometrici ma, invece di considerare la temperatura di bulbo secco o la temperatura dell'aria, si utilizza la temperatura radiante a globo nero.

[María Eugenia Sosa Griffin, (1999). "Ventilación natural efectiva y cuantificable - Confort térmico en climas cálidos-húmedos", Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela. Gráficas León S.R.L., Caracas, Venezuela,]

<sup>4</sup> L'indice di stress termico (HSI), fu sviluppato da Belding e Hatch (1955) come indice analitico che fornisce un'espressione in una scala da 0 a 110, la quale rappresenta lo stress termico, quindi la tensione di calore e pertanto la quantità di tempo per la quale un lavoratore può essere esposto ad un ambiente caldo.

[Daniel Bethea, Ken Parsons. (2002). "The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry.", UK HSE Research Report 008. Her Majesty's Stationery Office. London.]

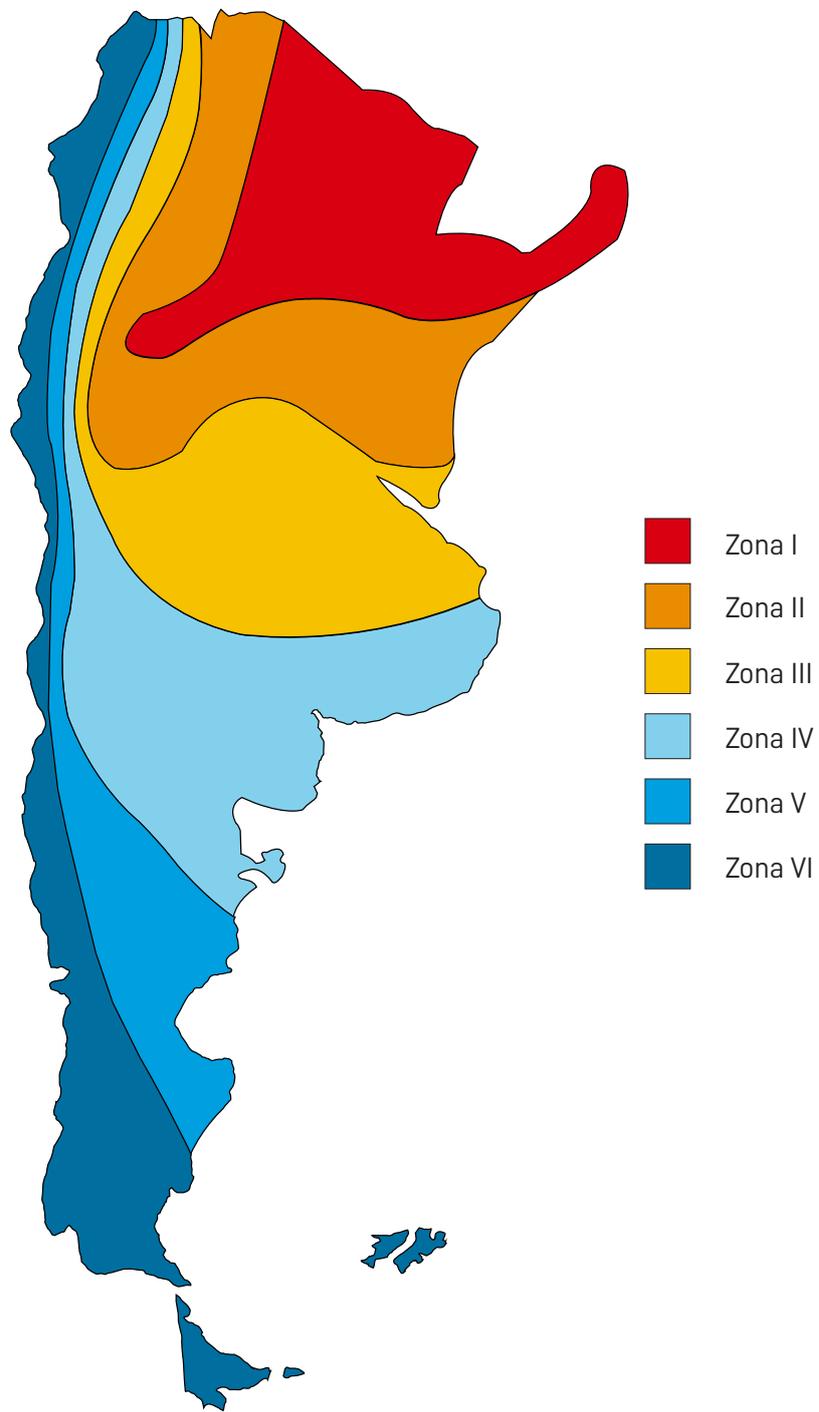


Figura 2: Classificazione bioambientale della Repubblica Argentina, dalla Norma IRAM 11603.

Classificazione		Zona	TEC	Escursione termica
Zona I: Molto calda	A	Centro-est del nord del Paese	Estate: >26.3°C Inverno: >12°C	>14°C
	B			<14°C
Zona II: Calda	A	Fascia est-ovest del nord del Paese	Estate: >24°C Inverno: 8°C<t<12°C	>14°C
	B			<14°C
Zona III: Temperata-Calda	A	Centro del Paese	Estate: 20°C<t<26°C Inverno: 8°C<t<12°C	>14°C
	B			<14°C
Zona IV: Temperata-Fredda	A	Centro-sud del Paese	Estate: 23°C Inverno: 4°C<t<8°C	18°C
	B			17°C
	C			16°C
	D			15°C
Zona V: Fredda		Fascia nord-sud della Cordigliera e regione centrale della Patagonia	Estate: 16°C Inverno: 4°C	
Zona VI: Molto Fredda		Cime alte della Cordigliera delle Ande ed estremo sud della Patagonia	Estate: <12°C Inverno: max 4°C	

Tabella 1: Zonizzazione del territorio argentino, elaborata a partire dalla Norma IRAM 11603.

Vengono successivamente fornite delle indicazioni specifiche per la progettazione efficiente in ogni zona, come mostrato in figura 3, e si riportano i dati climatici invernali ed estivi rilevati nel periodo dal 1960 al 1980 nelle 165 stazioni meteorologiche situate in tutto il paese, per favorire la scelta dei giusti criteri di progettazione e la corretta valutazione del comportamento termico degli edifici.

ESTACION	P	LAT	LONG	ASNM	TMAX	TMED	TMIN	TDMD	TDMX	TEC-MD	TEC-MX	TROC	TVAP	HR	PREC	HELRE
AEROPARQUE	BAC	34,6	58,4	6	27,7	23,2	19,1	22,9	31,2	23,0	25,7	16,5	19,4	68	92	53
BUENOS AIRES	BAC	34,6	58,5	25	29,0	23,5	18,4	23,2	32,5	22,9	26,0	15,7	18,4	64	100	60
ARGERICH	BAP	38,8	62,6	10	30,7	22,5	14,0	21,9	34,2	21,1	25,3	11,1	13,9	52	66	0
AZUL	BAP	36,8	59,8	132	28,2	20,1	12,6	19,9	31,7	19,4	24,0	14,3	16,8	73	94	55
BAHIA BLANCA	BAP	38,7	62,2	83	29,5	21,7	14,7	21,6	33,0	20,8	25,1	9,6	12,6	51	62	64
BALCARCE	BAP	37,8	58,3	130	26,6	19,1	12,9	19,2	30,1	18,9	23,5	13,7	16,3	74	109	0
BARROW	BAP	38,3	60,3	120	28,1	20,1	12,6	19,8	31,6	19,4	24,0	11,5	14,2	62	76	67
BOLIVAR	BAP	36,3	61,1	93	29,8	22,4	14,4	21,6	33,3	21,2	25,1	16,8	19,7	74	95	0
BORDENAVE	BAP	37,9	63,0	212	29,2	21,3	13,7	21,0	32,7	20,4	24,7	10,6	13,4	54	61	71
CASTELAR	BAP	34,7	58,7	22	29,0	22,7	16,5	22,2	32,5	22,0	25,4	15,0	17,6	64	95	69

Tabella 2: Dati climatici estivi, estratto della Norma IRAM 11603.

ESTACION	P	LAT	LONG	ASNM	TMED	TMAX	TMIN	TDMD	TDMN	TROC	TVAP	HR	PREC	HELRE	GD18	GD20	GD22
AEROPARQUE	BAC	34,6	58,4	6	11,3	14,9	8,3	6,8	3,8	7,7	11,0	80	58	43	850	1278	1786
BUENOS AIRES	BAC	34,6	58,5	25	11,4	16,1	7,6	6,9	3,1	7,5	10,9	79	61	44	793	1221	1719
ARGERICH	BAP	38,8	62,6	10	8,6	15,1	2,6	4,1	-1,9	3,3	8,2	71	31	0	1382	1862	2429
AZUL	BAP	36,8	59,8	132	7,7	14,2	2,4	3,2	-2,1	4,7	9,0	84	42	41	1598	2166	2843
BAHIA BLANCA	BAP	38,7	62,2	83	8,4	14,5	3,7	3,9	-0,8	2,5	7,8	70	28	39	1369	1859	2433
BALCARCE	BAP	37,8	58,3	130	8,1	13,1	3,9	3,6	-0,6	5,6	9,4	85	53	0	1669	2225	2947
BARROW	BAP	38,3	60,3	120	7,9	13,5	2,8	3,4	-1,7	4,1	8,6	79	38	44	1690	2262	2942
BOLIVAR	BAP	36,3	61,1	93	9,5	15,1	3,8	5,0	-0,7	6,8	10,4	83	41	0	1284	1765	2337
BORDENAVE	BAP	37,9	63,0	212	7,5	13,8	2,2	3,0	-2,3	2,8	8,0	74	22	48	1571	2098	2708
CASTELAR	BAP	34,7	58,7	22	10,5	15,9	5,9	6,0	1,4	6,8	10,4	78	55	50	1019	1467	2009

Tabella 3: Dati climatici invernali, estratto della Norma IRAM 11603.

Prenderemo in considerazione la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, dove è stato sviluppato il progetto, la quale da indicazioni della normativa si trova nella zona ambientale IIIb.

Nello specifico, la zona III è caratterizzata da estati relativamente calde, con temperature medie che oscillano tra i 20°C e i 26°C, e massime medie che superano i 30°C solo nella fascia Est-Ovest. La pressione parziale di vapore è bassa durante tutto l'anno, con valori massimi in estate che non superano i 1870 Pa (14 mm Hg). L'inverno non è molto freddo e presenta valori medi di temperatura tra gli 8°C e i 12°C, con minime che raramente scendono sotto gli 0°C.

Per la suddetta sotto-zona viene consigliato di raggruppare gli insediamenti e tutto ciò che possa migliorare l'inerzia termica; essendo il clima temperato, le esigenze di orientamento e ventilazione saranno minori, ma trovandoci nell'emisfero australe è raccomandabile favorire l'esposizione a Nord ed evitare quella ad Ovest. Sono inoltre suggeriti i colori chiari per l'edificato e la presenza di sistemi di protezione dalle radiazioni solari.

Inoltre, essendo Buenos Aires una metropoli di 203 km<sup>2</sup> con una densità di 15113,51 ab/km<sup>2</sup>, bisogna tenere in considerazione l'effetto Urban Heat Island, che in inverno può contribuire ad alzare la temperatura anche di 3°C rispetto ai centri abitati con densità inferiore.

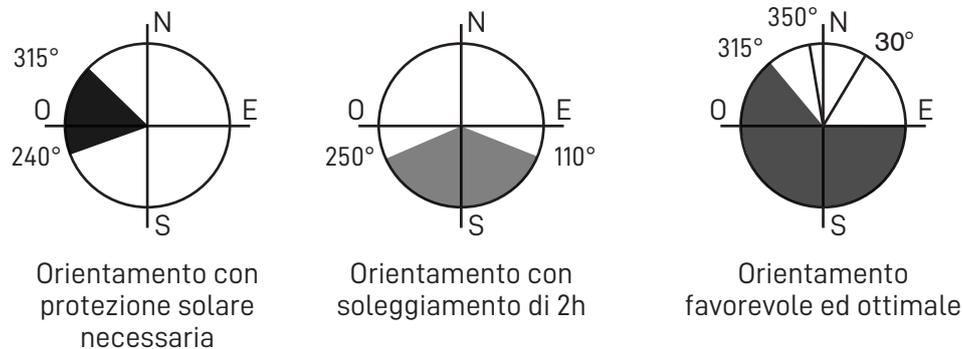


Figura 3: Analisi comparativa dell'orientamento per zona bioambientale III, S 30° Lat Sud. Estratto dalla Norma IRAM 11603.

## 2.1.2 Norma IRAM 11605/1996

Acondicionamiento térmico de edificios - Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos

La successiva norma tecnica a cui viene fatto riferimento, fornisce specificazioni puntuali sulla trasmittanza termica permessa nelle chiusure opache degli edifici ad uso residenziale, nonché sui criteri per la valutazione dei ponti termici.

Innanzitutto vengono stabiliti i tre livelli di comfort igrotermico:<sup>5</sup>

- A: raccomandato
- B: medio
- C: minimo.

Sia per la condizione invernale che estiva si verificano: l'assenza di condensa superficiale, se si considera una temperatura interna di progetto  $t_i = 22^\circ\text{C}$  (livello A),  $t_i = 20^\circ\text{C}$  (livello B) e  $t_i = 18^\circ\text{C}$  (livello C); e le condizioni di comfort, definite attraverso la differenza tra la temperatura interna di progetto e la temperatura superficiale di una chiusura, quindi  $(t_i - t_{pi}) = 1^\circ\text{C}$  per il livello A,  $(t_i - t_{pi}) = 2,5^\circ\text{C}$  per il livello B e  $(t_i - t_{pi}) = 4^\circ\text{C}$  per il livello C.

Temperatura esterna di progetto ( $t_{ed}$ ) [°C]	Livello A		Livello B		Livello C	
	Muri	Coperture	Muri	Coperture	Muri	Coperture
-15	0,23	0,20	0,60	0,52	1,01	1,00
-14	0,23	0,20	0,61	0,53	1,04	1,00
-13	0,24	0,21	0,63	0,55	1,08	1,00
-12	0,25	0,21	0,65	0,56	1,11	1,00
-11	0,25	0,22	0,67	0,58	1,15	1,00
-10	0,26	0,23	0,69	0,60	1,19	1,00
-9	0,27	0,23	0,72	0,61	1,23	1,00
-8	0,28	0,24	0,74	0,63	1,28	1,00
-7	0,29	0,25	0,77	0,65	1,33	1,00
-6	0,30	0,26	0,80	0,67	1,39	1,00
-5	0,31	0,27	0,83	0,69	1,45	1,00
-4	0,32	0,28	0,87	0,72	1,52	1,00
-3	0,33	0,29	0,91	0,74	1,59	1,00
-2	0,35	0,30	0,95	0,77	1,67	1,00
-1	0,36	0,31	0,99	0,80	1,75	1,00
$\geq 0$	0,38	0,32	1,00	0,83	1,85	1,00

Tabella 4: Valori di trasmittanza massima ammessa per elementi opachi in condizioni invernali, dalla Norma IRAM 11605. Si omettono le condizioni estive perché meno restrittive.

<sup>5</sup> Norma IRAM 11605/1996, art. 4, comma 1

Generalmente, anche solo per il dimensionamento degli impianti necessari, si usa come riferimento il valore di  $t_i$  del livello A. Vengono inoltre considerati solo i valori di trasmittanza invernale, poiché prevedono prestazioni migliori e più in linea con quanto previsto in Italia. Come indicato nella IRAM 11603, le temperature invernali di Buenos Aires sono comprese tra gli 8°C e i 12°C, quindi verranno utilizzati i valori di trasmittanza stabiliti per  $t_{ed} \geq 0^\circ\text{C}$ . Per i valori intermedi di  $t_{ed}$ , i valori della trasmittanza si ottengono per interpolazione lineare.

Bisogna precisare che la presente norma argentina non ha ancora subito aggiornamenti e non esistono tutt'oggi accordi tra i Paesi del MERCOSUR <sup>6</sup> per quanto riguarda il tema delle prestazioni energetiche degli edifici, nonostante l'adesione al Protocollo di Kyoto.

Per il calcolo analitico della trasmittanza dei vari elementi, si utilizzano i valori di resistenza termica degli elementi e componenti edilizi indicati nella Norma IRAM 11601/1996, che invece è stata aggiornata nel 2002 ed ulteriormente nel 2004, o si fa riferimento ai produttori locali certificati.

Per i serramenti invece, la norma IRAM 11507-4 stabilisce una classificazione delle prestazioni utile per la redazione dell'Etichetta di Efficienza Energetica.<sup>7</sup>

Inoltre, può essere esigibile una determinata categoria per rispettare le prestazioni termiche richieste in base alla zona climatica di riferimento.

Categoria di isolamento	Trasmittanza termica K (in W/m <sup>2</sup> K)
K <sub>1</sub>	K < 1,0
K <sub>2</sub>	1,0 ≤ K ≤ 1,5
K <sub>3</sub>	1,5 < K ≤ 2,0
K <sub>4</sub>	2,0 < K ≤ 3,0
K <sub>5</sub>	3,0 < K ≤ 4,0
Non classificabile	K > 4,0

Tabella 5: Categorie di isolamento termico delle finestre, dalla norma IRAM 11507-4.

<sup>6</sup> Il MERCOSUR, *Mercado Común del Sur*, è un'organizzazione internazionale istituita da Argentina, Brasile, Paraguay e Uruguay con il Trattato di Asunción (1991). Successivamente ne sono entrati a far parte, come partner economici, il Cile e la Bolivia (1996), il Perù (2003), la Colombia e l'Ecuador (2004). Il Venezuela è passato nel giugno 2006 dallo status di associato a quello di membro a pieno titolo; il Messico è stato ammesso nel 2004 in qualità di osservatore. L'organizzazione persegue una politica di integrazione economica degli Stati membri attraverso non solo la liberalizzazione degli scambi, ma anche l'adozione di normative comuni in materie quali l'ambiente, la disciplina della concorrenza, la tutela della proprietà intellettuale, i trasporti e il turismo. Nel giugno 2019, dopo oltre vent'anni di negoziati, è stato concluso un accordo di libero scambio tra il MERCOSUR e l'Unione europea, che prevede un abbassamento dei dazi doganali per favorire la circolazione di beni e merci tra le due aree. [da Treccani Enciclopedia Online, "<http://www.treccani.it/enciclopedia/mercosur/>", consultato in data 27/03/2020]

<sup>7</sup> Norma IRAM 11900/2010, versione aggiornata al 2017

### 2.1.3 Norma IRAM 11604/2001

Aislamiento térmico de edificios - Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límite.

L'obiettivo di questa norma è stabilire il metodo di calcolo ed i valori massimi del coefficiente volumetrico di perdita di calore  $G_{cal}$ , che permette di valutare il risparmio di energia per il riscaldamento di edifici per differenti destinazioni d'uso (residenza, ufficio, commercio, industria, istruzione, salute, ecc), applicabile solo per le zone bioclimatiche III, IV, V e VI.

Il coefficiente  $G_{cal}$  considera le perdite di calore attraverso i serramenti che compongono l'involucro (opaco, non opaco ed a contatto con il terreno) più le perdite per il ricambio d'aria nei locali dell'edificio residenziale riscaldato. Per il calcolo si usa la formula:

$$G_{cal} = \frac{\sum K_m S_m + \sum K_v S_v + \sum \gamma K_r S_r + Per P_p}{V} + 0,35n [W/m^3K]$$

Dove:

- $K_m$  è la trasmittanza termica di ciascun elemento dell'involucro opaco a contatto con l'ambiente esterno [ $W/m^2K$ ];
- $S_m$  è la superficie interna dei suddetti serramenti opachi [ $m^2$ ];
- $K_v$  è la trasmittanza termica dei serramenti non opachi a contatto con l'ambiente esterno [ $W/m^2K$ ];
- $S_v$  è la superficie interna dei suddetti serramenti non opachi [ $m^2$ ];
- $\gamma K_r$  è la trasmittanza termica corretta di ogni serramento opaco e non, a contatto con ambienti interni non riscaldati [ $W/m^2K$ ];
- $S_r$  è la superficie interna dei suddetti serramenti opachi e non [ $m^2$ ];
- $Per$  è il perimetro del solaio a contatto con l'esterno [m];
- $P_p$  sono le perdite attraverso il solaio a contatto con il terreno [ $W/m$ ];
- $V$  è il volume interno dell'edificio riscaldato [ $m^3$ ];
- $0,35$  è la capacità specifica presunta dell'aria [ $Wh/m^3K$ ];
- $n$  è il numero di ricambi d'aria medi per ora dell'edificio riscaldato.

I valori di trasmittanza  $K_m$ ,  $K_v$  e  $K_r$  sono stabiliti nella norma IRAM 11601 e calcolati con il metodo indicato nella 11605. Viene comunque riportata una tabella con i valori ammissibili di  $G_{cal}$  nel caso in cui l'involucro edilizio sia vetrato per meno del 20%. Superata questa percentuale, il coefficiente  $G_{adm}$  va corretto nella seguente maniera:

$$G_{adm\ correjido} = G_{adm} + \left( 1,75 \frac{S_v}{S_E} - 0,347 \right)$$

Il rapporto  $\frac{S_v}{S_E}$  tra la superficie vetrata e la superficie totale dell'involucro deve compiere con la relazione  $0,2 < \frac{S_v}{S_E} \leq 1$ .

Nel caso studio selezionato, considerando un volume totale edificato di 55717 m<sup>3</sup>, avremo un  $G_{adm} = 1,033$  [W/m<sup>3</sup> °D], che dovrà essere corretto per un involucro edilizio quasi per metà trasparente ( $\frac{S_V}{S_E} = 0,45$ ). Pertanto  $G_{adm\ correjido} = 1,474$  [W/m<sup>3</sup> °D].

Per quanto riguarda invece il fattore correttivo  $\gamma$ , si utilizzerà la seguente formula

$$\gamma = \frac{\sum K_i S_i}{\sum K_i S_i + \sum K_r S_r}$$

Nella quale:

- $K_i$  rappresenta la trasmittanza termica dei serramenti dell'ambiente non riscaldato e non appartenenti all'involucro edilizio [W/m<sup>2</sup>K];
- $S_i$  è la superficie interna dei serramenti precedentemente citati [m<sup>2</sup>];
- $K_r$  rappresenta la trasmittanza termica dei serramenti dell'ambiente non riscaldato che appartengono all'involucro edilizio [W/m<sup>2</sup>K];
- $S_r$  è la superficie interna dei serramenti precedentemente citati [m<sup>2</sup>].

In alternativa si può considerare  $\gamma = 0,5$  per serramenti confinanti con ambienti appartenenti a edifici riscaldati contigui, e  $\gamma = 1$  in tutti gli altri casi.

Le perdite attraverso il solaio  $P_p$  rappresentano gli scambi di aria interna a contatto con il solaio verso il suolo e l'aria esterna. La tabella 6 fornisce i valori in W/m previsti dalla normativa: a titolo informativo include anche le zone bioambientali I e II, per le quali invece non si applica la IRAM 11604.

Zona bioclimatica	Solaio non isolato (W/m)	Solaio isolato perimetralmente (W/m)	Solaio totalmente isolato (W/m)
I e II	1,28	1,00	0,85
III e IV	1,38	1,08	0,93
V e VI	1,48	1,17	1,00

Tabella 6: Perdite attraverso i solai a contatto con il terreno, dalla norma IRAM 11604.

Viene inoltre contemplato l'uso di software di calcolo che considerino anche la verifica della condensazione superficiale, secondo quanto stabilito dalle norme IRAM 11625 e IRAM 11630. Il numero di ricambi d'aria  $n$  si calcola, invece, mediante l'uso della formula

$$n = \frac{\sum 0,0464 l_i q_i [0,516 (c_i v_i)^2]^{0,67}}{V}$$

Essendo:

- $l_i$  la lunghezza dei giunti raccordatori dei diversi tipi di serramento [m];

- $qi$  il flusso di infiltrazione d'aria per unità di lunghezza del giunto di ciascun serramento dell'involucro dell'edificio [ $m^2/h$ ];
- $ci$  il coefficiente correttivo (vedi tabella 7);
- $vi$  la velocità del vento nella località considerata [ $m/s$ ];
- $V$  il volume dell'unità che si verifica [ $m^3$ ].

Altezza h (m)	Rugosità del terreno <sup>8</sup>		
	Urbana	Suburbana	Rurale
≤10	0,6	1,0	1,4
15	0,7	1,2	1,7
20	0,9	1,5	2,0
30	1,1	1,8	2,3
45	1,4	2,1	2,6
70	1,7	2,4	2,9

Tabella 7: Coefficiente correttivo ( $ci$ ) della velocità media del vento in base all'altezza dell'edificio e la rugosità del terreno, dalla norma IRAM 11604.

Essendo l'altezza dell'edificio di 41m e la zona urbana, avremo per interpolazione lineare il valore di  $ci=1,25$ .

Il calcolo del carico termico annuale per il riscaldamento si determina attraverso la seguente formula

$$Q = \frac{24 \text{ } ^\circ D G_{cal} V}{1000} \text{ [kWh]}$$

In cui:

- 24 è il tempo di riscaldamento diario [h];
- $^\circ D$  sono i gradi giorno annuali di riscaldamento, ottenuti dalla norma IRAM 11603 [ $^\circ C$ ];
- $G_{cal}$  è il coefficiente volumetrico di perdite di calore [ $W/m^3K$ ];
- $V$  è il volume interno dell'edificio riscaldato [ $m^3$ ].

La norma, dopo le formule e gli esempi analitici di calcolo dei fattori citati, specifica i propri limiti, ovvero il non considerare negli scambi termici dell'edificio con l'ambiente esterno l'umidità relativa, la formazione di condensa superficiale ed interstiziale <sup>9</sup>, l'inerzia termica di pareti e coperture, gli apporti solari e degli impianti di illuminazione artificiale, il calore generato dagli utenti, le exfiltrazioni e le variazioni generate dal UHI.

<sup>8</sup> I valori del coefficiente di rugosità del terreno della tabella equivalgono ai valori minimi di portata d'aria passante per rugosità fino a 1,2 ed ai valori massimi per rugosità superiori a 1,2. Suddetti valori possono essere interpolati in caso di altezze intermedie.

<sup>9</sup> La verifica igrotermica degli elementi costruttivi viene regolata dalle norme IRAM 11625/2000 e 11630/2000, che sono strettamente correlate tra di loro e forniscono la verifica del rischio di condensa superficiale ed interstiziale di diversi punti della struttura. L'obiettivo di queste due norme è però favorire condizioni salubri nell'edificio, non tanto raggiungere un determinato livello di comfort.

## 2.1.4 Norma IRAM 11900/2010

Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética.

La successiva norma in analisi fornisce una classificazione della capacità isolante dell'involucro edilizio. La prima versione non contemplava la richiesta di energia per il raffrescamento estivo, né il fattore di forma. Sono state effettuate modifiche nel 2017, che permettono di stabilire l'Indice di Prestazione Energetica dell'edificio adibito ad uso residenziale. Esso rappresenta la richiesta teorica di energia per soddisfare le necessità di riscaldamento invernale, raffrescamento estivo, riscaldamento di acqua calda sanitaria ed illuminazione [kWh/m<sup>2</sup> anno].

Questo indicatore è indipendente dalla destinazione d'uso e permette di quantificare le prestazioni energetiche dei manufatti edilizi, per effettuare una comparazione a criteri unificati e da lì costruire una linea di base che serva da riferimento per elaborare politiche pubbliche e finanziamenti.

Vengono quindi stabiliti 8 livelli di efficienza, mediante il calcolo della variazione media ponderata di temperatura, tra quella della superficie interna di ogni componente dell'involucro e la temperatura interna di progetto.

$$\tau_m = \frac{\sum(\tau_i \cdot S_i)}{\sum S_i}$$

$$\tau_i = R_{si} \cdot K_t \cdot \Delta t$$

- $R_{si}$  = resistenza termica della superficie interna [m<sup>2</sup> K/W];
- $K_t$  = trasmittanza termica [W/m<sup>2</sup> K];
- $\Delta t$  = differenza tra la temperatura interna ed esterna [°K].

La tabella 8 mostra i criteri di valutazione dei livelli di efficienza, che nella norma viene rappresentata seguendo il formato della certificazione di efficienza degli elettrodomestici.

Etichetta	Condizioni
A	$\tau_m = 1^\circ\text{C}$
B	$1^\circ\text{C} < \tau_m = 1,5^\circ\text{C}$
C	$1,5^\circ\text{C} < \tau_m = 2^\circ\text{C}$
D	$2^\circ\text{C} < \tau_m = 2,5^\circ\text{C}$
E	$2,5^\circ\text{C} < \tau_m = 3^\circ\text{C}$
F	$3^\circ\text{C} < \tau_m = 3,5^\circ\text{C}$
G	$3,5^\circ\text{C} < \tau_m = 4^\circ\text{C}$
H	$\tau_m > 4^\circ\text{C}$

Tabella 8: Efficienza termica dell'involucro, dalla norma IRAM 11900/2010.

Per il calcolo dell'Etichetta corrispondente già durante la fase di progettazione, si può fare riferimento al software online fornito dal Governo della Città, il quale verrà utilizzato nella fase di calcolo.

Per concludere la prima parte, è importante chiarire che attraverso la Ley CABA n°4458/2012, il Governo della Città di Buenos Aires ha reso obbligatorie le norme IRAM analizzate nei paragrafi precedenti, incorporandole al Código de la Edificación.

## **2.2 Normativa Italiana**

## 2.2.1 D.P.R. n°412/1993

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.

Il decreto in questione presenta la suddivisione del territorio italiano in zone climatiche in funzione dei gradi giorno, quindi indipendentemente dalla ubicazione geografica.

Facendo riferimento ai dati climatici indicati dalla norma IRAM 11603 per Buenos Aires, potremmo assimilare il nostro caso alla Zona C italiana, che raggruppa i comuni che presentano un numero di gradi-giorno maggiore di 900 e non superiore a 1400 (vedi tabella 9), poiché per una temperatura interna di riferimento pari a 20°C i gradi giorno registrati sono 1278 nella stazione di Aeroparque Jorge Newbery e 1221 nell'altra stazione di Capital.

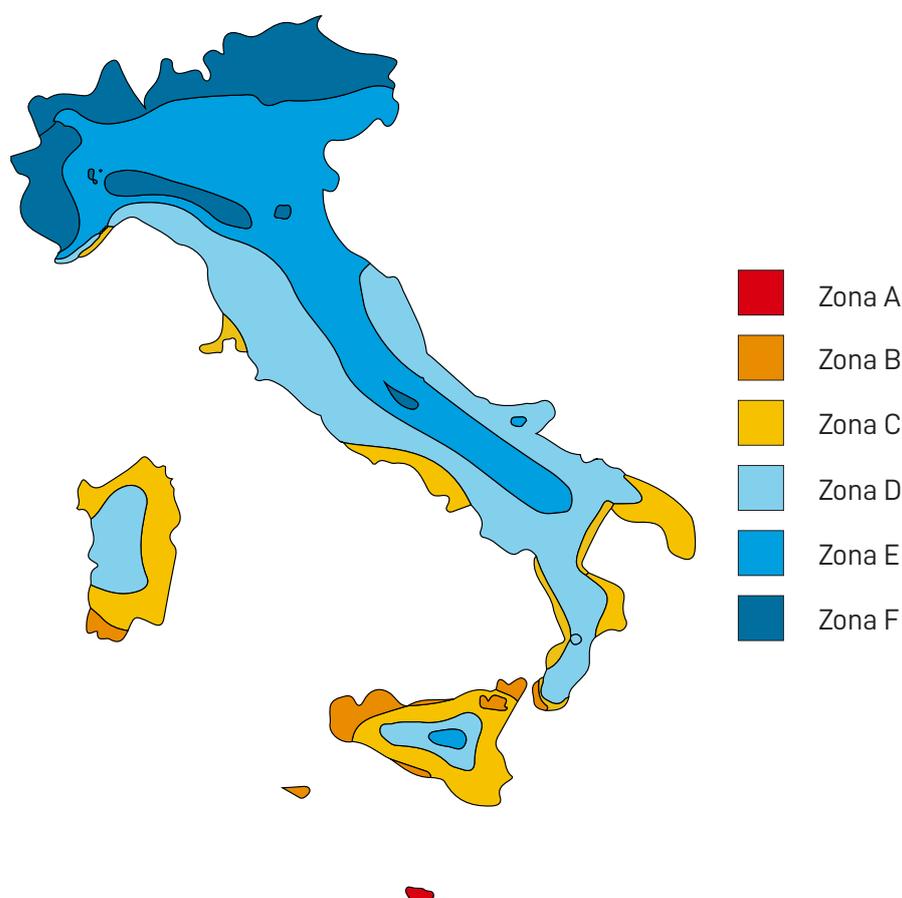


Figura 4: Zone climatiche del territorio italiano, dal D.P.R. n°412/1993.

ZONA CLIMATICA	GRADI GIORNO (GG)
A	$GG \leq 600$
B	$601 \leq GG \leq 900$
C	$901 \leq GG \leq 1400$
D	$1401 \leq GG \leq 2100$
E	$2101 \leq GG \leq 3000$
F	$GG \geq 3001$

Tabella 9: Individuazione zone climatiche, dal D.P.R. n°412/1993.

Si passa dunque alla classificazione degli edifici per categorie (tabella 10).

CATEGORIA	DESTINAZIONE D'USO
E.1	edifici adibiti a residenza e assimilabili
E.2	edifici adibiti a uffici e assimilabili
E.3	edifici adibiti a ospedali, cliniche, o case di cura e assimilabili, ricovero o cura di minori o anziani, strutture protette per l'assistenza ed il recupero dei tossico-dipendenti e di altri soggetti affidati a servizi sociali pubblici
E.4	edifici adibiti ad attività ricreative o di culto e assimilabili
E.5	edifici adibiti ad attività commerciali e assimilabili
E.6	edifici adibiti ad 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

Tabella 10: Classificazione generale degli edifici per categorie, dal D.P.R. n°412/1993.

Facendo riferimento a quest'ultima, l'oggetto dello studio è scomponibile in parti individuali che appartengono a diverse categorie, in base alle destinazioni d'uso:

- *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.4 - Edifici adibiti ad attività ricreative, associative o di culto e assimilabili: (1) quali cinema e teatri, sale di riunione per congressi; (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.*<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Dec. n°412/1993, Art. 3.

## 2.2.2 Dec. Interministeriale 26/05/2015

Adeguamento alla Direttiva 2010/31/UE delle linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Il decreto definisce le modalità di applicazione della metodologia di calcolo delle prestazioni energetiche degli edifici e per l'utilizzo di fonti rinnovabili, prescrivendo i requisiti minimi di prestazioni energetiche che le unità immobiliari devono avere, siano esse pubbliche o private, nuove o di ristrutturazione. Viene inoltre stabilito che la UNI 11300, nelle sue differenti parti, rappresenta la norma tecnica di riferimento per il calcolo degli indici richiesti.

Come indicato nell'Allegato 1 del decreto, l'intervento effettuato nel caso studio è classificabile come Ristrutturazione importante di primo livello, in quanto *oltre a interessare l'involucro edilizio con un'incidenza superiore al 50 per cento 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.*<sup>11</sup>

Pertanto i requisiti devono essere determinati con l'utilizzo dell'edificio di riferimento, seguendo le indicazioni dell'Allegato A.

A seguito si riportano i valori dei parametri caratteristici del fabbricato dell'edificio di riferimento, evidenziando i dati che verranno in seguito applicati al caso studio.

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015	2019/2021
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

Tabella 11: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m <sup>2</sup> K)	
	2015	2019/2021
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

Tabella 12: Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati.

<sup>11</sup> Dec. Interministeriale 26/05/2015, Allegato 1, paragrafo 1.4.1.

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015	2019/2021
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

Tabella 13: Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra.

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015	2019/2021
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

Tabella 14: Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati.

Zona climatica	U (W/m²K)	
	2015	2019/2021
Tutte le zone	0,8	0,8

Tabella 15: Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti.

I valori selezionati verranno applicati al progetto poiché sviluppato nel 2019, ipotizzando un periodo minimo di 14 mesi per la costruzione: si prevede pertanto di rispettare le indicazioni stabilite a partire da gennaio 2021 per qualsiasi edificio privato.

Nell'Appendice A dell'Allegato 1 viene stabilito anche il valore del fattore di trasmissione solare totale  $g_{gl+sh} = 0,35$  per tutte le zone, per componenti finestrati con orientamento Est-Ovest passando per Sud, e il coefficiente medio globale di scambio termico  $H'_T$

$$H'_T = \frac{H_{tr,adj}}{\sum_k A_k} [W/m^2K]$$

Per il calcolo di  $H_{tr,adj}$  si fa ricorso alla UNI 11300-1, mentre  $A_k$  è la superficie del k-esimo componente, opaco o trasparente, dell'involucro. I valori di suddetto coefficiente devono rispettare quanto riportato in Tabella 16, in funzione della zona climatica e del rapporto S/V, che nel caso studio equivale a 0,13.

Rapporto di forma S/V	Zona climatica				
	A e B	C	D	E	F
$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70
Tipologia di intervento					
Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

Tabella 16: Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico  $H'_T$  in  $W/m^2K$ .

Per quanto riguarda l'area solare equivalente estiva, il decreto stabilisce un limite del rapporto tra quest'ultima e l'area della superficie utile  $A_{sol,est} / A_{sup\ utile} \leq 0,040$  con

$$A_{sol,est} = \sum_k F_{sh,ob} \cdot g_{gl+sh} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p} \cdot F_{sol,est} \quad [m^2]$$

dove:

- $F_{sh,ob}$  è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad elementi esterni per l'area di captazione solare effettiva della superficie vetrata k-esima, riferito al mese di luglio;
- $g_{gl+sh}$  è la trasmittanza di energia solare totale della finestra calcolata nel mese di luglio, quando la schermatura solare è utilizzata;
- $F_F$  è la frazione di area relativa al telaio, rapporto tra l'area proiettata del telaio e l'area proiettata totale del componente finestrato;
- $A_{w,p}$  è l'area proiettata totale del componente vetrato (area del vano finestra);
- $F_{sol,est}$  è il fattore di correzione per l'irraggiamento incidente, ricavato come rapporto tra l'irradianza media nel mese di luglio, nella località e sull'esposizione considerata, e l'irradianza media annuale di Roma, sul piano orizzontale.

### 2.2.3 Norma UNI/TS 11300

La norma UNI/TS 11300 stabilisce i criteri di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici, come articolato di seguito:

- Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale (2014);
- Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali (2019);
- Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva (2010);
- Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria (2016);
- Parte 5: Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili (2016);
- Parte 6: Determinazione del fabbisogno di energia per ascensori, scale mobili e marciapiedi mobili (2016).

Per stabilire suddette prestazioni vengono calcolati il fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento ( $Q_{H,nd}$ ) e per il raffrescamento ( $Q_{C,nd}$ ), per ogni mese e zona dell'edificio, i quali dipendono dagli scambi di energia per trasmissione e ventilazione e dagli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne e radiazioni solari.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{gn} = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - \eta_{H,gn} \cdot (Q_{int} + Q_{sol,w})$$

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol,w}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

Dove:

- $Q_{H,ht}$  è lo scambio di energia termica totale nel caso di riscaldamento [MJ];
- $Q_{C,ht}$  è lo scambio di energia termica totale nel caso di raffrescamento [MJ];
- $Q_{H,tr}$  è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di riscaldamento [MJ];
- $Q_{C,tr}$  è lo scambio di energia termica per trasmissione nel caso di raffrescamento [MJ];
- $Q_{H,ve}$  è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di riscaldamento [MJ];
- $Q_{C,ve}$  è lo scambio di energia termica per ventilazione nel caso di raffrescamento [MJ];
- $Q_{gn}$  sono gli apporti totali di energia termica [MJ];
- $Q_{int}$  sono gli apporti di energia termica dovuti a sorgenti interne [MJ];
- $Q_{sol,w}$  sono gli apporti di energia termica dovuti alla radiazione solare incidente sui componenti vetrati [MJ];
- $\eta_{H,gn}$  è il fattore di utilizzazione degli apporti di energia termica;
- $\eta_{C,ls}$  è il fattore di utilizzazione delle dispersioni di energia termica.

Bisogna considerare un'ulteriore fattore, ovvero l'energia termica richiesta per soddisfare il fabbisogno di acqua calda sanitaria di un edificio in funzione del volume di acqua richiesto e della differenza fra le temperature di erogazione e dell'acqua fredda in ingresso, ovvero

$$Q_w = \rho_w \cdot c_w \cdot \sum_i [V_{w,i} \cdot (\theta_{er,i} - \theta_0)] \cdot G \quad [kWh]$$

dove:

- $\rho_w$  è la massa volumica dell'acqua, ipotizzabile pari a 1000 [kg/m<sup>3</sup>];
- $c_w$  è il calore specifico dell'acqua, pari a 1,162 · 10<sup>-3</sup> [kWh/(kg · K)];
- $V_{w,i}$  è il volume di acqua giornaliero per l'i-esima attività o servizio richiesto, espresso in m<sup>3</sup> al giorno;
- $\theta_{er,i}$  è la temperatura di erogazione dell'acqua per l'i-esima attività o servizio richiesto [°C];
- $\theta_0$  è la temperatura dell'acqua fredda in ingresso [°C];
- $G$  è il numero di giorni del periodo di calcolo considerato [d].

Nel caso di edifici non residenziali, i fabbisogni di acqua calda e le relative temperature di utilizzo possono essere relativi a più attività.

I fabbisogni appena menzionati sono però valori riferiti al solo involucro, costituendo pertanto solo energia termica e non primaria.

Risulta opportuno innanzitutto fornire una definizione: la norma denomina fabbisogno annuale globale di energia primaria *la 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*<sup>12</sup>.

I due indici che quantificano la prestazione energetica dell'edificio sono l'indice di energia primaria globale totale e l'indice di energia primaria globale non rinnovabile, definiti come

$$EP_{tot} = E_{Pgl,tot} / A \quad [kWh]$$

$$EP_{nren} = E_{Pgl,nren} / A \quad [kWh]$$

dove:

- $E_{Pgl,tot}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria totale dell'edificio, in kWh/m<sup>2</sup>;
- $E_{Pgl,nren}$  è il fabbisogno annuale globale di energia primaria non rinnovabile dell'edificio, in kWh/m<sup>2</sup>;
- $A$  è l'area della superficie utile climatizzata dell'edificio, in m<sup>2</sup>.

Sia per il fabbisogno globale che dei singoli servizi è verificato che il fabbisogno annuale di energia primaria totale è dato dalla somma del fabbisogno annuale di energia primaria rinnovabile e non rinnovabile. Ciò si può riassumere nella formula

$$E_{Pgl,tot} = \sum_k (E_{Pk,tot}) = E_{PH,tot} + E_{PC,tot} + E_{PW,tot} + E_{PV,tot} + E_{PL,tot} + E_{PT,tot} \quad [kWh]$$

<sup>12</sup> Norma UNI/TR 11300-5:2016, Paragrafo 3.3.

## 2.3 Confronto fra le disposizioni argentine ed italiane

Definendo quindi unicamente i parametri che verranno utilizzati per la valutazione del caso studio, si possono notare alcune divergenze tra gli standard argentini e quelli italiani.

Innanzitutto, i valori di trasmittanza massima ammessi in Argentina, essendo stabiliti secondo livelli di efficienza, e non univocamente come accade in Italia, sono stati scelti in modo da ottenere il massimo livello contemplato.

Un'ulteriore differenza è data dal fatto che la legislatura italiana preveda una caratterizzazione molto più dettagliata degli edifici e dei requisiti che essi devono rispettare in base alla destinazione d'uso.

Una certa corrispondenza è invece individuabile con il carico termico annuale per il riscaldamento  $Q$  (vedi paragrafo 2.3), che può essere comparato con il fabbisogno ideale di energia termica per riscaldamento  $Q_{H,nd}$  (paragrafo 2.7), senza però tener conto dell'apporto solare e delle sorgenti interne: per il calcolo si utilizza infatti il  $G_{cal}$  che rappresenta la potenza termica volumica dispersa per trasmissione e ventilazione.

Gli altri limiti della normativa argentina sono già stati indicati nei paragrafi ad essa dedicati (vedi paragrafo 2.1.3).

Parametro	Argentina	Italia
Temperatura interna di progetto, in °C	$t_i = 22^*$	$t_i = 20$ (inverno)
		$t_i = 26$ (estate)
Trasmittanza massima serramenti opachi, in $W/m^2K$	$K_{MAX,MUROS} = 0,38$	$U_{op} = 0,34$
		$U_{solai} = 0,38$
Trasmittanza massima coperture, in $W/m^2K$	$K_{MAX,TECHOS} = 0,32$	$U_{copertura} = 0,33$
Trasmittanza massima componenti vetrate, in $W/m^2K$	$1,50 < K_{3,VENTANAS} \leq 2,00$	$U_w = 2,20$

Tabella 17: Prospetto riassuntivo delle principali differenze tra requisiti richiesti in Argentina ed in Italia.

\*Tale temperatura viene utilizzata solo per la verifica dell'assenza di condensa superficiale in condizioni invernali.

# 3

## **Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'acustica**

### **3. Evoluzione del quadro legislativo e normativo argentino ed italiano per l'acustica**

Per quanto riguarda l'acustica, il Governo della Città di Buenos Aires ha sempre dedicato la propria attenzione ai disturbi creati dai mezzi di trasporto (sia su strada che aerei <sup>13</sup>) e dalle industrie, oltre che alla protezione dei lavoratori. Solo a partire dagli anni '80 si può notare un interesse all'aspetto del comfort negli spazi interni degli edifici.

Al contrario in Italia, «la problematica della protezione acustica degli edifici residenziali è presente fin dagli anni '50 in varie disposizioni legislative nazionali e regionali, raccomandazioni costruttive per i piani di fabbricazione dell'edilizia popolare, e regolamenti edilizi e d'igiene dei fabbricati.» <sup>14</sup>

Verranno quindi prese in considerazione le leggi e le norme tecniche correlate, selezionando quelle che forniscono concetti e valori indispensabili per l'analisi successiva.

---

<sup>13</sup> La Ciudad Autónoma de Buenos Aires ha due aeroporti, uno nella vicina città di Ezeiza (il più grande dell'Argentina) e l'altro, solo per tratte locali, nazionali ed internazionali di corto raggio, nel quartiere di Palermo.

<sup>14</sup> Luciano Rocco, Carlo Baistrocchi, Gianfranco Cellai, Solange Sauro, Simone Secchi, (2016). "L'evoluzione della protezione acustica negli edifici in Italia: norme, metodi e soluzioni", Associazione Italiana di Acustica, 43° Convegno Nazionale, Alghero

Circ. Min. LL.PP. n°1769	1966	1995	1997	2005	2017	2018	2019
DM 11/01/2017							
Adozione dei criteri ambientali minimi per gli arredi interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili.							
UNI TR 11175							
Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici.							
DPCM 5/12/97							
Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.							
Legge n° 447/95							
Legge quadro sull'inquinamento acustico.							
UNI EN ISO 12354							
Stima delle prestazioni acustiche degli edifici a partire dalle prestazioni dei componenti.							
UNI 11367							
Classificazione acustica delle unità immobiliari. Procedura di valutazione e verifica in opera.							
UNI 11532							
Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati. Metodi di progettazione e tecniche di valutazione. Parte 1: Requisiti generali.							
Decreto N°740							
Applicazione della Ley 1540. Limiti di emissione ed immissione.							
Norma IRAM 4044							
Isolamento acustico minimo per muri e tramezzi.							
Norma IRAM 4063							
Misurazioni dell'isolamento acustico degli edifici e degli elementi costruttivi.							
Norma IRAM 4043							
Classificazione dell'isolamento del suono negli edifici e negli elementi costruttivi.							
Ley N° 1540 CABA							
Controllo dell'inquinamento acustico nella Città Autonoma di Buenos Aires.							
Nuevo Código Urbanístico							
Indicazioni per la progettazione sostenibile.							

### **3.1 Normativa Argentina**

### 3.1.1 Ley 1540/2004

Control de la Contaminación Acústica en la Ciudad de Buenos Aires.

Le direttive sul controllo dell'inquinamento acustico e la prevenzione sia dell'ambiente che delle persone, hanno in Argentina carattere provinciale, o per meglio dire "giurisdizionale": pertanto la seguente legge ha valore soltanto nella Città Autonoma di Buenos Aires.

Con la Ley 1540 del 2004 viene dichiarata per la prima volta la necessità di redigere un piano di azione a lungo termine, in materia di provvedimenti normativi ma anche di sensibilizzazione della popolazione.

Si stabiliscono le caratteristiche ed i criteri per la Mappa Strategica del Rumore di tutta la città, consultabile dall'apposita pagina del Governo, la quale si basa su due descrittori acustici, L<sub>day</sub> e L<sub>night</sub>, relativi rispettivamente al periodo diurno e notturno.

Suddetta Mappa è stata sviluppata inizialmente tramite un software di simulazione, per coprire un'area di 203 km<sup>2</sup>, e successivamente verificata attraverso una serie di misurazioni a lungo termine, grazie alle 5 stazioni di monitoraggio di cui dispone la città, le quali permettono di effettuare misurazioni e registrare contemporaneamente i dati di 162 punti geografici dell'area metropolitana.

In base alla zonizzazione prevista dalla presente Legge, sulla mappa è possibile delimitare le aree corrispondenti alla classificazione delle aree di sensibilità acustica, per le quali dovranno essere rispettati diversi livelli di emissione ed immissione, oltre ad una serie di raccomandazioni previste sia dalla legge che dai differenti regolamenti edilizi.

	Tipo	Zona	Campo di applicazione
ESTERNO	I: area di silenzio	alta sensibilità	settori che richiedono una protezione speciale (ospedaliero, educativo, aree naturali)
	II: area lievemente rumorosa	considerevole sensibilità	settori che richiedono una protezione alta, prevalentemente residenziale
	III: area tollerabilmente rumorosa	moderata sensibilità	settori che richiedono una protezione media, prevalentemente commerciale
	IV: area rumorosa	bassa sensibilità	settori che richiedono una protezione bassa, prevalentemente industriale
	V: area particolarmente rumorosa	bassissima sensibilità	settori dedicati alle infrastrutture per il trasporto e spettacoli all'aperto
INTERNO	VI: area di lavoro		sanità, educazione, cultura, uffici, commercio e industria
	VII: area residenziale		edilizia abitativa o con funzione equivalente

Tabella 18: Classificazione delle Aree di Sensibilità Acustica, dalla Ley 1540/04 GCABA.

Viene quindi stabilita la durata dei due periodi di misurazione:

- periodo diurno dalle 07:01 alle 22:00 (15 ore);
- periodo notturno dalle 22:01 alle 07:00 (9 ore).

ASA	Valori limite espressi come $L_{eq}$ in dB(A)	
	Periodo diurno	Periodo notturno
Tipo I	60	50
Tipo II	65	50
Tipo III	70	60
Tipo IV	75	70
Tipo V	80	75

Tabella 19: Valori Limite di Emissione, dalla Ley 1540/04 GCABA.

ASA	Destinazione d'uso	Valori limite espressi come $L_{eq}$ in dB(A)	
		Periodo diurno	Periodo notturno
Tipo VI	Sanità	50	40
Tipo VI	Educazione	50	50
Tipo VI	Cultura	50	50
Tipo VI	Uffici	55	55
Tipo VI	Commercio	60	60
Tipo VI	Industria	60	60
Tipo VII	Residenza	50 - 60 *	40 - 50 *
Tipo VII	Servizi	55 - 65 *	45 - 55 *

Tabella 20: Valori Limite di Immissione, dalla Ley 1540/04 GCABA.

\* in questi casi il primo valore è da rispettare nelle zone ad uso prevalentemente residenziale, mentre il secondo vale per le zone ad uso misto (residenziale, commerciale ed industriale).

I valori limite vengono qui definiti come il valore massimo dell'indice acustico, che non deve essere superato in un determinato periodo di tempo, seguendo un protocollo di misura stabilito.

Si considera livello di emissione il livello di pressione sonora che caratterizza l'emissione di una determinata sorgente sonora, mentre il livello di immissione è il livello di pressione sonora prodotto da una o più sorgenti misurato nella posizione del ricettore esposto alle stesse.

Il Decreto n°740 del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires fornisce le indicazioni per le misure di suddetti livelli.

Le misure dei livelli di emissione vengono effettuate su strada pubblica, posizionando il microfono ad una distanza  $d \geq 1,5m$  rispetto alla facciata, ad un'altezza  $h > 1,2m$  rispetto al livello del suolo e nel punto in cui si considera che il rumore emesso sia più alto.

Per quanto riguarda invece i livelli di immissione di sorgenti sonore fisse nell'ambiente interno, il microfono per le misure deve essere posizionato a  $d \geq 1\text{m}$  dalle pareti, ad un'altezza rispetto al pavimento  $1,2 \leq h \leq 1,5\text{m}$  e nel punto in cui il valore di immissione risulti il più alto, considerando la condizione meno favorevole di apertura/chiusura di porte e finestre.

Entrambe le misure devono essere realizzate nell'orario diurno in cui le attività svolte producano l'intensità di emissione ed immissione maggiore.

Nel caso in cui in un'area non vengano rispettati i valori stabiliti, il Governo si riserva la facoltà di assegnare la dicitura di Zona con Situazione Acustica Speciale, con valore temporaneo nel momento in cui la presenza dell'elemento disturbante è limitata nel tempo, ad esempio per la presenza di un cantiere.

### 3.1.2 Norma IRAM 4044/2015

Acústica. Protección contra el ruido en edificios. Requisitos de aislamiento acústico mínimo. Método de medición y clasificación. Cerramientos y aberturas, verticales y horizontales.

La norma che verrà analizzata in questo paragrafo fissa le condizioni minime di protezione acustica affinché le attività effettuate all'interno di ambienti confinati non abbiano incidenza negativa su chi occupa o abita negli ambienti adiacenti. È importante precisare che tale norma non ha carattere precettivo<sup>15</sup>, pertanto riporta delle raccomandazioni per il progettista, il quale dovrebbe effettuare le sue scelte in funzione della finalità dell'edificio e del tipo di efficienza che vuole ottenere.

Vengono stabilite due scale di protezione acustica, tanto per i rumori trasmessi per via aerea quanto per via strutturale, le quali corrispondono a due gradi di esigenze minime:

- Scala I di protezione acustica: i valori minimi sono stabiliti al fine di proteggere la salute degli utenti, nelle zone abitate, da disturbi per la trasmissione del suono. Nei casi riconducibili a questa scala, non si può garantire che non vengano percepiti i rumori provenienti dall'esterno e/o da ambienti contigui. I requisiti richiesti implicano che in suddetti ambienti non si producano ulteriori rumori rispetto a quelli previsti per l'attività svolta al suo interno.
- Scala II di protezione acustica: i valori di protezione stabiliti per questa scala permettono che gli abitanti od occupanti delle differenti unità raggiungano un livello adatto all'attività intellettuale, di riposo o svago, ma anche di mantenere la propria privacy nelle zone abitate anche nel momento in cui il tono di voce utilizzato è maggiore rispetto al parlato.

I concetti ed i valori stabiliti in questa norma possono essere applicati a tutte le destinazioni d'uso, tranne quelle che prevedono attività che possono potenzialmente produrre rumori o vibrazioni moleste, come edifici pubblici per spettacoli, edifici religiosi, sale da ballo e industrie.

Viene quindi definito il potere fonoisolante apparente delle partizioni fra ambienti interni:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ [dB]}$$

Essendo:

- $L_1$  il livello di pressione sonora misurato nell'ambiente "disturbante" [dB];
- $L_2$  il livello di pressione sonora misurato nell'ambiente "disturbato" [dB];
- $S$  l'area del serramento [ $m^2$ ];
- $A$  l'area di assorbimento acustico dell'ambiente ricevente [ $m^2$ ].

---

<sup>15</sup> Nel linguaggio giuridico una norma precettiva è quella che contiene di per sé un precetto, ossia un principio o regola tassativi, e non necessita di ulteriori norme per la sua applicabilità. [da Treccani Enciclopedia Online, "<http://www.treccani.it/vocabolario/precettivo/>", consultato in data 04/06/2020]

<sup>16</sup> La norma IRAM 4063, "Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.", nelle sue 14 parti, fornisce formule, definizioni e indicazioni per effettuare le misure in laboratorio e in opera dei differenti parametri acustici. Si rifà alla ISO 140-4:1998, ormai sostituita dalla UNI EN ISO 16283-1:2018, la quale specifica le procedure per determinare l'isolamento acustico per via aerea tra due ambienti in un edificio utilizzando misurazioni della pressione sonora. Il potere fonoisolante misurato dipende dalla frequenza e può essere convertito in un numero unico per caratterizzare le prestazioni acustiche utilizzando le procedure della UNI EN ISO 717-1.

Per la determinazione in opera del valore di  $R'_w$  si fa riferimento alla norma IRAM 4063-4<sup>16</sup>. Il metodo di calcolo utilizzato in Argentina si adegua alle indicazioni stabilite dalla ISO 717-1<sup>17</sup>, ed è pertanto equiparabile all'indice che verrà considerato successivamente nella normativa italiana.

Si denomina indice di valutazione dell'isolamento acustico per via aerea il valore, in decibel, della curva di riferimento a 500 Hz dopo lo spostamento della curva, seguendo il metodo che a breve verrà esposto. È inoltre fondamentale calcolare il termine di adattamento allo spettro, come valore in decibel da aggiungere all'indice di valutazione per tenere conto delle caratteristiche degli spettri sonori particolari, considerando il campo da 100 Hz a 3150 Hz per le bande di terzo di ottava, e quello da 125 Hz a 2000 Hz per le bande di ottava. Gli spettri sono ponderati A e il livello globale degli spettri è normalizzato a 0 dB.

Per valutare i risultati di una misurazione eseguita in bande di ottava, i risultati devono essere espressi con una cifra decimale. Bisogna poi far slittare, con incrementi di 1dB, la curva di riferimento appropriata verso la curva ottenuta dalle misurazioni fino a quando la somma degli scarti favorevoli diventa quanto più grave possibile, ma non maggiore di 32,0 dB (se si misura in 16 bande di terzo di ottava), o 10,0 dB (5 bande di ottava).

Uno scarto sfavorevole, per una determinata frequenza, si produce quando il risultato delle misurazioni è minore al valore di riferimento. Si devono prendere in considerazione solo gli scarti sfavorevoli. Per il confronto con le misurazioni in opera effettuate in bande di ottava devono essere utilizzati solo i valori di riferimento per bande di ottava.

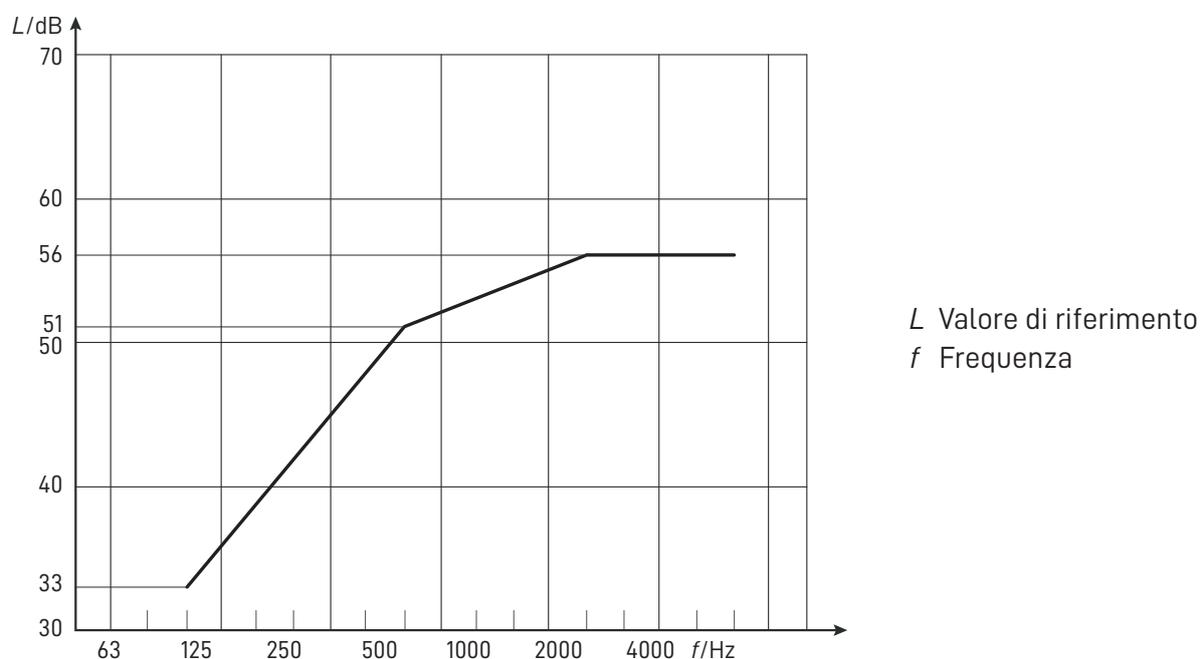


Figura 5: Curva dei valori di riferimento per il rumore per via aerea, per bande di terzo di ottava. Dalla UNI EN ISO 717-1:2013.

<sup>17</sup> La norma ISO 717-1:2007 (Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation) è stata aggiornata nel 2013, dando origine alla UNI EN ISO 717-1:2013, che costituisce il suo recepimento in lingua italiana, ed alla quale verrà fatto riferimento d'ora in poi.

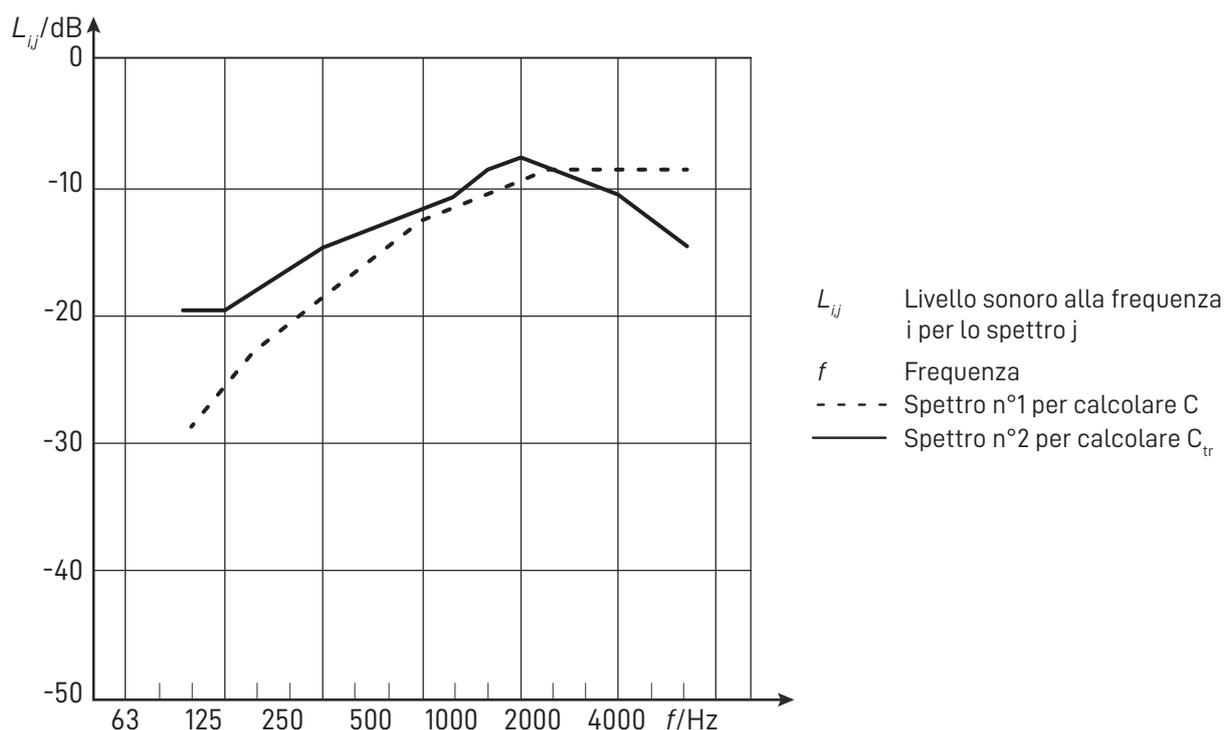


Figura 6: Spettri sonori per il calcolo dei termini di adattamento allo spettro per le misurazioni per bande di terzo di ottava. Dalla UNI EN ISO 717-1:2013.

I termini di adattamento allo spettro,  $C_j$  in dB, devono essere calcolati con gli spettri precedentemente citati, secondo l'equazione:

$$C_j = X_{A_j} - X_w$$

dove:

- $j$  è il pedice degli spettri sonori n°1 e 2;
- $X_w$  è l'indice di valutazione calcolato secondo il metodo di confronto;
- $X_{A_j}$  è calcolato da:

$$X_{A_j} = -10 \log \sum 10^{(L_{ij} - X_w)/10} \quad [dB]$$

nel quale:

- $i$  è il pedice delle bande di terzo di ottava o delle bande di ottava (vedi pag precedente);
- $L_{ij}$  sono i livelli come indicato in figura 6, alla frequenza  $i$  per lo spettro  $j$ ;
- $X_w$  è il potere fonoisolante  $R_w$ , o il potere fonoisolante apparente  $R'_w$ , o l'isolamento acustico rispetto all'assorbimento equivalente  $D_{n,i}$ , o l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione  $D_{nT,i}$ , alla frequenza di misurazione  $i$ , tutti indicati con una sola cifra decimale.

La grandezza  $X_{Aj}$  va calcolata con la sufficiente accuratezza, ed il risultato va arrotondato all'intero più prossimo.

I termini di adattamento allo spettro C (rumore rosa ponderato A) e  $C_{tr}$  (rumore di traffico urbano ponderato A) sono stati introdotti per tenere conto dei diversi spettri delle sorgenti di rumore e per valutare le curve di isolamento acustico con valori molto bassi in un'unica banda di frequenza.

L'indice di valutazione deve essere calcolato soltanto a partire dalle bande di terzo di ottava, indicando i due termini di adattamento allo spettro tra parentesi:

$$R_w(C; C_{tr}) = 41 (0; -5) \text{ dB}$$

ed eventualmente l'incertezza degli indici con una cifra decimale:

$$R_w = 40,9 \text{ dB} \pm 0,8 \text{ dB}$$

Per le misurazioni in opera va indicato se l'indice di valutazione è calcolato a partire da una misurazione per bande di terzo di ottava o per bande di ottava.

La tabella 21 mostra i valori minimi ammissibili in base a quattro destinazioni d'uso: residenziale, alloggio temporaneo, salute e educazione, con specifiche differenze in base agli ambienti confinanti.

Nel caso degli uffici, è possibile assimilare tali requisiti a quelli di un edificio residenziale<sup>18</sup> per cui saranno evidenziati solo i valori corrispondenti agli elementi di riferimento per il caso studio illustrato nel capitolo 4.

---

<sup>18</sup> Approssimazione effettuata a discrezione dell'autore. [María Machimbarrena, Birgit Rasmussen, Carolina R. Alves Monteiro, 2019. "Regulatory sound insulation requirements in South America - Status for housing, schools, hospitals and office buildings", *Internoise 2019*, Madrid. Pubblicato su Researchgate a Giugno 2019.]

Descrizione	Scala I	Scala II
RESIDENZE MONO O MULTI-FAMILIARI	$R'_w$ (dB)	$R'_w$ (dB)
Tra unità funzionali di uno stesso edificio	50	56
Tra unità funzionali di edifici confinanti	50	56
Tra edifici adiacenti	50	56
Tra appartamenti e spazi comuni	50	56
Tra stanze e vano ascensore	54	60
Tra stanze di una stessa unità funzionale (senza porte o finestre nel divisorio)	42	48
Tra stanze di una stessa unità funzionale (con porte o finestre nel divisorio)	35	41
Divisorio del cavedio per impianti sanitari	50	56
Porte	27	33
Tra unità funzionali e locali pubblici	54	60
HOSPITALITY		
Tra camere	47	53
Tra camere e zone di circolazione	40	46
Tra camere e zone di servizio	52	58
Porte tra camere e corridoi	32	38
SALUTE		
Tra stanze o tra ambulatori	50	56
Tra stanze o ambulatori, e corridoi	40	46
Tra stanze e zone di servizio	52	58
Porte e finestre tra stanze/ambulatori e corridoi	32	38
EDUCAZIONE		
Tra aule	47	53
Tra aule e corridoi	47	53
Tra aule e stanze particolarmente rumorose (palestra, aula musica, laboratori)	57	60
Tra aule e vano scale	50	56
Porte e finestre tra aule e corridoi	30	36

Tabella 21: Valori Limite dell'Indice del Potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti, dalla norma IRAM 4044/2015.

Si passa quindi alla definizione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento totale o equivalente:

$$L'_n = L_j + 10 \log \frac{A}{A_0} [dB]$$

Dove:

- $L_j$  rappresenta il livello medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato [dB];
- $A$  rappresenta l'area di assorbimento acustico equivalente nell'ambiente disturbato [m<sup>2</sup>];
- $A_0$  rappresenta l'area di assorbimento acustico equivalente di riferimento, uguale a 10 m<sup>2</sup>.

Per le indicazioni sulla determinazione in opera di  $L'_{n,w}$  ci si rifà alla IRAM 4063-7.

Anche in questo caso la normativa Argentina si adegua alle indicazioni della ISO 717-2<sup>19</sup>, a partire dalla quale possono essere spiegati gli indici di valutazione dell'isolamento del rumore di calpestio, che caratterizzano la prestazione acustica di edifici o elementi di edificio.

Sapendo che le misurazioni possono essere effettuate per bande di terzo di ottava o bande di ottava, avremo due differenti indici:

- indice di valutazione dell'isolamento del rumore di calpestio derivato da misurazioni per bande di terzo di ottava, ovvero il valore della pertinente curva di riferimento a 500 Hz dopo lo spostamento della curva come verrà spiegato più avanti;
- indice di valutazione dell'isolamento del rumore di calpestio derivato da misurazioni per bande di ottava, ovvero il valore della pertinente curva di riferimento a 500 Hz dopo lo spostamento della curva come verrà spiegato più avanti, ma ridotto di 5 dB.

Per valutare i risultati di una misurazione di  $L_n$ ,  $L'_n$ , o  $L'_{nT}$  in bande di terzo di ottava, i risultati devono essere espressi con una cifra decimale. È necessario poi far slittare, con incrementi di 1 dB, la curva di riferimento appropriata verso la curva ottenuta dalle misurazioni fino a quando la somma degli scarti sfavorevoli diventa quanto più grande possibile, ma non maggiore di 32,0 dB.

Uno scarto sfavorevole, per una determinata frequenza, si produce quando i risultati delle misurazioni sono maggiori del valore di riferimento. Si devono prendere in considerazione solo gli scarti sfavorevoli.

Il valore, in decibel, della curva di riferimento a 500 Hz, dopo tale spostamento, è  $L_{n,w}$ ,  $L'_{n,w}$ , o  $L'_{nT,w}$ .

L'indice di valutazione appropriato deve essere indicato, specificando eventualmente anche l'incertezza con una cifra decimale, come segue:

$$L_{n,w} = 53,2 \text{ dB} \pm 0,8 \text{ dB}$$

---

<sup>19</sup> Anche la norma ISO 717-2:2007 (Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation) è stata aggiornata nel 2013, dando origine alla UNI EN ISO 717-2:2013, alla quale verrà fatto riferimento d'ora in poi.

Deve inoltre essere rappresentato anche in forma grafica come da figura 7.

Per le misurazioni in opera va indicato se l'indice di valutazione è calcolato a partire da una misurazione per bande di terzo di ottava o per bande di ottava, ma è preferibile utilizzare le valutazioni basate su misurazioni per bande di terzo di ottava.

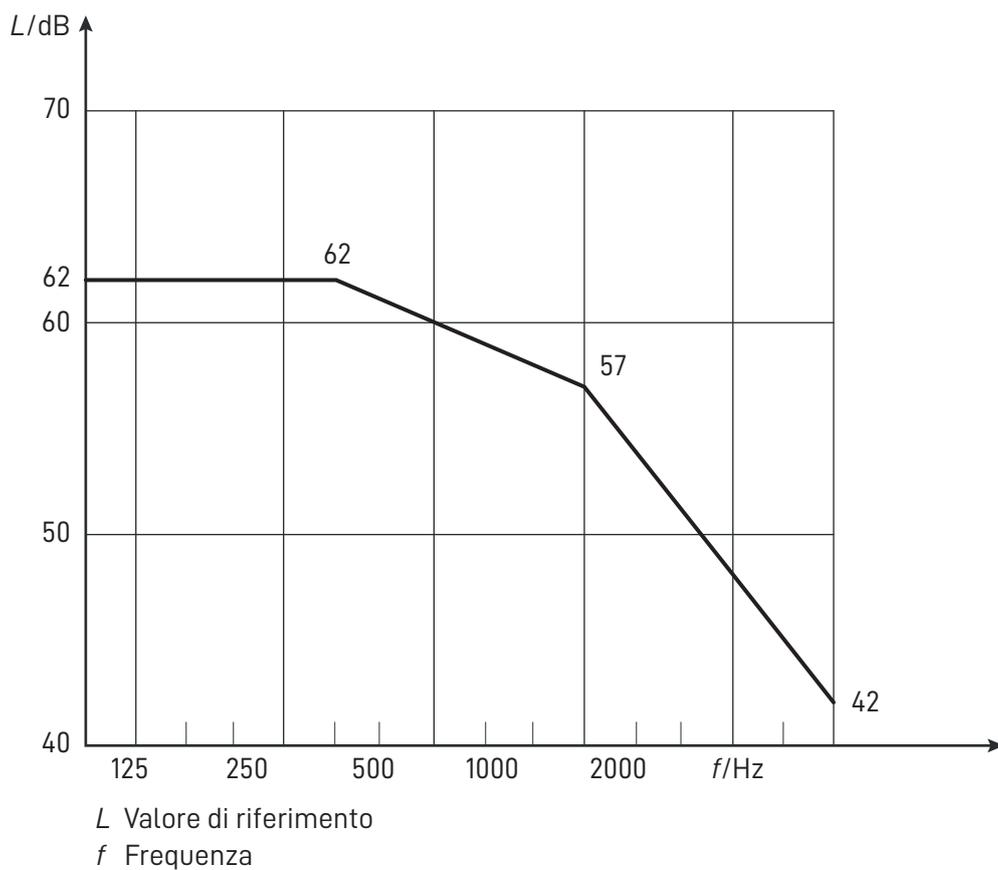


Figura 7: Curva dei valori di riferimento per il rumore di calpestio, per bande di terzo di ottava. Dalla UNI EN ISO 717-2:2013.

I valori massimi ammissibili stabiliti dalla norma vengono mostrati in tabella 22.

Descrizione	Scala I	Scala II
RESIDENZE MULTI-FAMILIARI	$L'_{n,W}$ (dB)	$L'_{n,W}$ (dB)
Tra unità funzionali di uno stesso edificio	53	39
Tra unità funzionali di edifici confinanti	53	39
Tra edifici adiacenti	53	39
Tra stanze di una stessa unità funzionale	53	46
Tra appartamenti e spazi comuni	53	39
Tra appartamenti e vano ascensore	53	39
RESIDENZE MONOFAMILIARI		
Tra stanze di una stessa unità funzionale	53	46
HOSPITALITY		
Tra camere	53	46
Tra camere e zone di circolazione	53	46
Tra camere e zone di servizio	46	39
SALUTE		
Tra stanze o tra ambulatori	53	46
Tra stanze o ambulatori, e corridoi	53	46
Tra stanze e zone di servizio	46	39
EDUCAZIONE		
Tra aule	53	46
Tra aule e stanze particolarmente rumorose (palestra, aula musica, laboratori)	46	39

Tabella 22: Valori Limite dell'indice del Livello di rumore di calpestio di solai normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, dalla norma IRAM 4044/2015.

L'ultimo parametro definito dalla norma è l'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione:

$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \text{ [dB]}$$

Essendo:

- $L_{1,2m}$  il livello di pressione sonora misurato in esterno a 2m dalla facciata [dB];
- $L_2$  il livello medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato [dB];
- $T$  il tempo di riverberazione nella stanza disturbata [s];
- $T_0$  il tempo di riverberazione di riferimento, pari a 0,5 s.

La formula è in realtà riportata nella norma IRAM 4043-1, mentre le indicazioni per la misurazione in opera vengono fornite dalla IRAM 4063-5.

Per l'indice di valutazione corrispondente,  $D_{2m,nT,w}$ , si utilizza lo stesso calcolo riportato a pag 42 per il potere fonoisolante apparente delle partizioni  $R'_w$ .

Per quanto riguarda l'isolamento acustico di facciata, nel testo della norma si fa riferimento soltanto alla tipologia di involucro, definito come opaco o vetrato (quando la percentuale trasparente è  $\leq 20\%$ ).

Descrizione	Scala I	Scala II
FACCIATA	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$D_{2m,nT,w}$ (dB)
Serramento opaco	53	59
Serramento vetrato (fino al 20% del serramento opaco)	36	42

Tabella 23: Valori Limite dell'indice di Isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, dalla norma IRAM 4044/2015.

## **3.2 Normativa Italiana**

### 3.2.1 Legge n°447/1995

Legge quadro sull'inquinamento acustico.

La legge in questione stabilisce i principi fondamentali per la tutela dell'ambiente esterno ed abitativo dall'inquinamento acustico, sostituendosi al D.P.C.M. 01/03/91 che aveva in un certo senso gettato le basi di una legislazione riguardante il tema dell'acustica.

Vengono fornite le definizioni dei concetti base, quali inquinamento acustico, ambiente abitativo, sorgenti sonore fisse e mobili, valori limite di emissione ed immissione, valori di attenzione e di qualità.

I valori limite di emissione corrispondono al valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.

Secondo quanto stabilito dal Decreto Ministeriale del 16 marzo 1998<sup>20</sup>, per la misurazione dei livelli di emissione il microfono deve essere posizionato ad una distanza  $d \geq 1\text{m}$  dalla facciata dell'edificio, o nel caso in cui la facciata non sia a filo della sede stradale deve essere collocato nello spazio fruibile dalla comunità. L'altezza  $h$  del microfono va invece scelta in base all'altezza ideale o ipotizzata del ricettore.

Per quanto riguarda i valori limite di immissione, la definizione è il valore massimo di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno, misurato in prossimità dei ricettori.

Esiste una distinzione tra:

- valori limite assoluti, determinati con riferimento al livello equivalente di rumore ambientale;
- valori limite differenziali, determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo.

La metodologia di misura è indicata sempre nel D.M. del 16 marzo 1998, secondo il quale il microfono deve essere posizionato ad un'altezza  $h=1,5\text{m}$  dal livello del pavimento e ad una distanza  $d \geq 1\text{m}$  da ogni superficie riflettente. Devono inoltre essere eseguiti rilevamenti con le finestre sia aperte che chiuse per individuare la situazione più gravosa.

Come valori di attenzione è indicato il valore di rumore che segnala la presenza di un potenziale rischio per la salute umana o per l'ambiente, mentre per valori di qualità si intendono i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per rispettare gli obiettivi di tutela previsti dalla legge.

Si parla inoltre di piani comunali di risanamento acustico, prescrizioni per attività particolarmente rumorose (es. aeroporti) o che necessitano tutela speciale (es. ospedali), e misure speciali di contenimento o abbattimento delle emissioni sonore in caso di urgenti necessità.<sup>21</sup>

Proprio a partire da tali disposizioni viene stabilita la zonizzazione acustica del territorio italiano, attraverso il D.P.C.M. 14/11/1997 che vedremo nel paragrafo successivo.

---

<sup>20</sup> Tale Decreto si propone di armonizzare le tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico, tenendo conto del rumore emesso dalle infrastrutture di trasporto, come parte integrante della Legge n°447/95.

<sup>21</sup> Attraverso il Decreto Legislativo 42/2017 si introducono nuove definizioni e si specificano alcune delle esistenti; si individuano inoltre le nuove competenze dello Stato in materia di impianti eolici e si aggiornano sia i piani di risanamento acustico che i metodi di valutazione dell'impatto acustico delle infrastrutture.

### 3.2.2 D.P.C.M. 14/11/1997

Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore.

Il seguente Decreto definisce il campo di applicazione dei concetti introdotti dalla Legge quadro 447/95, in particolare per i valori limite di emissione, i valori limite di immissione, i valori di attenzione ed i valori di qualità.

Viene innanzitutto stabilita una classificazione del territorio comunale, a cui faranno riferimento tutti i valori limite stabiliti successivamente. Come sempre, i valori evidenziati sono quelli corrispondenti al caso studio.

Classe	Zona	Campo di applicazione
I	Aree particolarmente protette	Aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione (ospedali, educazione, riposo e svago, residenze rurali, parchi pubblici, ecc).
II	Aree ad uso prevalentemente residenziale	Aree urbane prevalentemente con traffico veicolare locale, bassa densità di popolazione, limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.
III	Aree di tipo misto	Aree urbane con traffico veicolare locale o di attraversamento, media densità di popolazione, presenza di attività commerciali, uffici, limitate attività artigianali e assenza di industriali.
IV	Aree di intensa attività umana	Aree con intenso traffico veicolare, alta densità di popolazione, elevata presenza di attività commerciali e uffici, presenza di attività artigianali; aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; aree portuali, e con limitata presenza di piccole industrie.
V	Aree prevalentemente industriali	Aree interessate da insediamenti industriali e scarsità di abitazioni.
VI	Aree esclusivamente industriali	Aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di abitazioni.

Tabella 24: Classificazione del territorio comunale, art.1 del D.P.C.M. 14/11/97.

Vengono quindi definiti i periodi di riferimento per la misurazione:

- periodo diurno dalle 06:00 alle 22:00;
- periodo notturno dalle 22:00 alle 06:00.

I valori limite di emissione, riferiti alle sorgenti sonore fisse, ed assoluti di immissione, sono riportati come valori massimi, in termini di Livello continuo equivalente ponderato A:

Classi di destinazione d'uso	Valori limite come $L_{eq}$ in dB(A)	
	Periodo diurno	Periodo notturno
I	45	35
II	50	40
III	55	45
IV	60	50
V	65	55
VI	65	65

Tabella 25: Valori Limite di Emissione, art.2.

Classi di destinazione d'uso	Valori limite come $L_{eq}$ in dB(A)	
	Periodo diurno	Periodo notturno
I	50	40
II	55	45
III	60	50
IV	65	55
V	70	60
VI	70	70

Tabella 26: Valori Limite Assoluti di Immissione, art.3

Per quanto riguarda i valori limite differenziali di immissione, la Legge quadro 447/95 stabilisce, con alcune eccezioni riprese anche nell'Art. 4 comma 2 e 3 del presente Decreto, che all'interno dell'ambiente abitativo la sorgente sonora disturbante non debba incrementare il livello sonoro di più di:

- 5 dB per il periodo diurno;
- 3 dB per il periodo notturno.

Tali valori non si applicano nelle aree di classe VI, per le infrastrutture e tutte le attività produttive, e nei casi in cui ogni effetto del rumore si può ritenere trascurabile, ovvero:

- se il rumore misurato a finestre aperte è inferiore a 50 dB(A) nel periodo diurno e 40 dB(A) in quello notturno;
- se il livello del rumore ambientale misurato a finestre chiuse è inferiore a 35 dB(A) nel periodo diurno e 25 dB(A) in quello notturno.

I valori di attenzione e di qualità, espressi come livelli continui equivalenti di pressione sonora ponderata "A" riferiti al tempo a lungo termine (TL), sono:

Classi di destinazione d'uso	Valori limite come $L_{eq}$ in dB(A)	
	Periodo diurno	Periodo notturno
I	47	37
II	52	42
III	57	47
IV	62	52
V	67	57
VI	70	70

Tabella 27: Valori di Qualità, art.7

*Il tempo a lungo termine (TL) rappresenta il tempo all'interno del quale si vuole avere la caratterizzazione del territorio dal punto di vista della rumorosità ambientale. La lunghezza di questo intervallo di tempo è correlata alle variazioni dei fattori che influenzano tale rumorosità nel lungo termine. Il valore TL, multiplo intero del periodo di riferimento, è un periodo di tempo prestabilito riguardante i periodi che consentono la valutazione di realtà specifiche locali. I valori di attenzione non si applicano alle fasce territoriali di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime ed aeroportuali.<sup>22</sup>*

<sup>22</sup> D.P.C.M. 14/11/1997, Art. 6.

### 3.2.3 D.P.C.M. 05/12/1997

Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici.

L'ultimo decreto preso in analisi stabilisce i valori limite delle grandezze che determinano i requisiti acustici passivi dei componenti degli edifici e delle sorgenti sonore interne, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.

Suddette grandezze sono:

- il tempo di riverberazione  $T_{60} = 0,16 \frac{V}{A}$ , dove V è il volume dell'ambiente e A l'area di assorbimento equivalente;
- il potere fonoisolante apparente di elementi di separazione tra ambienti, definito dalla norma UNI EN ISO 16283-1/2018 come

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A_{tot}} \right) [dB]$$

- l'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione, definito dalla norma UNI EN ISO 16283-3/2016 come

$$D_{2m,nT} = D_{2m} + 10 \log \frac{T}{T_0} [dB]$$

dove  $D_{2m} = L_{1,2m} - L_2$  è la differenza di livello, T è il tempo di riverberazione nell'ambiente ricevente,  $T_0 = 0,5s$  è il tempo di riverberazione di riferimento assunto;

- il livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto all'assorbimento acustico, definito dalla norma UNI EN ISO 16283-2/2018 come

$$L'_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} [dB]$$

dove  $L_i$  è il livello medio di pressione sonora nell'ambiente disturbato, A è l'area di assorbimento acustico equivalente nell'ambiente disturbato,  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  è l'area di assorbimento acustico equivalente di riferimento;

- $L_{A \text{ Smax}}$ , ovvero il livello massimo di pressione sonora ponderata A con costante di tempo slow;
- $L_{Aeq}$ , il livello continuo equivalente di pressione sonora, ponderata A.

Le grandezze appena citate servono a definire gli indici di valutazione che caratterizzano i requisiti acustici passivi degli edifici, ovvero:

- indice del potere fonoisolante apparente di partizioni fra ambienti  $R'_w$  ;
- indice dell'isolamento acustico standardizzato di facciata  $D_{2m,nT,w}$  ;
- indice del livello di rumore di calpestio di solai, normalizzato  $L'_{n,w}$  .

Le procedure di calcolo di suddetti indici sono indicate nella norma UNI EN ISO 717:2013, come è già stato illustrato nel paragrafo 3.1.2.

Il decreto illustra infine la classificazione degli ambienti abitativi, alla quale viene fatto riferimento nello stabilire i valori limite di ciascun parametro.

<b>Categoria</b>	<b>Destinazione d'uso</b>
A	Residenza o assimilabili
B	Uffici e assimilabili
C	Alberghi, pensioni ed attività assimilabili
D	Ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
E	Attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
F	Attività ricreative, o di culto o assimilabili
G	Attività commerciali o assimilabili

Tabella 28: Classificazioni degli ambienti abitativi, art.2.

<b>Categorie</b>	<b>Parametri</b>				
	$R'_w$	$D_{2m, nT, w}$	$L'_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
D	$\geq 55$	$\geq 45$	$\leq 58$	$\leq 35$	$\leq 25$
A,C	$\geq 50$	$\geq 40$	$\leq 63$	$\leq 35$	$\leq 35$
E	$\geq 50$	$\geq 48$	$\leq 58$	$\leq 35$	$\leq 25$
B,F,G	$\geq 50$	$\geq 42$	$\leq 55$	$\leq 35$	$\leq 35$

Tabella 29: Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici

### 3.2.4 D. Lgs. n°194/2005

Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale.

Il Decreto Legislativo in questione fornisce le indicazioni precise per l'elaborazione della mappatura acustica del territorio italiano, come già prevedeva la Legge quadro n°447 del 95, definendola come *rappresentazione di dati relativi ad una situazione di rumore esistente o prevista in una zona, relativa ad una determinata sorgente, in funzione di un descrittore acustico che indichi il superamento di pertinenti valori limite vigenti, il numero di persone esposte in una determinata area o il numero di abitazioni esposte a determinati valori di un descrittore acustico in una certa zona.*<sup>23</sup>

Viene inoltre messa in evidenza una tipologia specifica di mappa acustica, ovvero quella strategica, attraverso la quale si determina l'esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti sonore: essa risulta pertanto più adatta a rappresentare la situazione di un'area urbana esposta a differenti fonti di rumore che agiscono contemporaneamente.

Nella definizione di mappatura vengono citati i descrittori acustici, ossia grandezze fisiche che descrivono il rumore ambientale in relazione ad uno specifico effetto nocivo. Nonostante ai fini dell'elaborazione della mappatura acustica e delle mappe acustiche strategiche vengano utilizzati solo i descrittori acustici Lden e Lnight, è utile fornirne una visione generale:

- Lden (livello giorno-sera-notte) è il descrittore acustico relativo all'intera giornata, corrispondente al livello continuo equivalente a lungo termine, ponderato A, determinato sull'insieme dei periodi giornalieri di un anno solare;
- Lday (livello giorno) corrisponde al livello continuo equivalente a lungo termine, ponderato A, determinato sull'insieme dei periodi diurni, dalle 06:00 alle 20:00, di un anno solare;
- Levening (livello sera) corrisponde al livello continuo equivalente a lungo termine, ponderato A, determinato sull'insieme dei periodi serali, dalle 20:00 alle 22:00, di un anno solare;
- Lnight (livello notte) corrisponde al livello continuo equivalente a lungo termine, ponderato A, determinato sull'insieme dei periodi notturni, dalle 22:00 alle 06:00, di un anno solare.

Risulta quindi evidente una maggiore precisione rispetto al D.P.C.M. 14/11/97 nella suddivisione dei periodi di misurazione nel corso delle 24 ore.

---

<sup>23</sup> D.Lgs. n°194 del 19/08/2005, Art. 2.1.o.

### 3.2.5 UNI/TR 11175:2005

Acustica in edilizia - Guida alle norme serie UNI EN 12354 per la previsione delle prestazioni acustiche degli edifici - Applicazione alla tipologia costruttiva nazionale

La serie UNI EN 12354, "Valutazioni delle prestazioni acustiche di edifici a partire dalle prestazioni di prodotti", è un pacchetto di norme tecniche stabilite a livello europeo per garantire un certo allineamento nella definizione dell'isolamento acustico degli edifici in fase progettuale, ed il presente rapporto tecnico ne rappresenta il recepimento e l'adattamento alla realtà edilizia italiana, fornendo modelli di calcolo e soluzioni tecniche soddisfacenti.<sup>24</sup>

Le grandezze che esprimono le prestazioni acustiche degli edifici riguardano:

- l'isolamento a rumori aerei tra ambienti interni, attraverso:
  - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente,  $R'_w$  dell'elemento di separazione tra due ambienti (vedi paragrafo 3.1.2);
  - Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente,  $D_{n,w}$  ;
  - Indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto al tempo di riverberazione,  $D_{nT,w}$  ;
- l'isolamento delle facciate rispetto a rumori aerei esterni, mediante:
  - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata,  $R'_{45^\circ,w}$  ;
  - Indice di valutazione del potere fonoisolante apparente di facciata,  $R'_{tr,s,w}$  ;
  - Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione,  $D_{2m,nT,w}$  (vedi paragrafo 3.1.2);
  - Indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente,  $D_{2m,n,w}$  ;
- l'isolamento a rumore di calpestio fra due ambienti interni, considerando:
  - Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato,  $L'_{n,w}$  (vedi paragrafo 3.1.2);
  - Indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato rispetto al tempo di riverberazione,  $L'_{nT,w}$  ;
- tempo di riverberazione  $T$  , ossia la durata convenzionale della coda sonora in uno spazio confinato, pari all'intervallo di tempo necessario affinché il livello della pressione sonora decresca di 60 dB, una volta cessata l'emissione da parte della sorgente.

È importante esplicitare che, nei metodi di calcolo esposti dalla norma, non vengono considerati discontinuità o mancanza di tenuta dei giunti, poiché la loro valutazione non può essere svolta in modo analitico.

---

<sup>24</sup> Tali modelli e soluzioni sono stati elaborati a partire da dati sperimentali, confrontati con stime progettuali, definiti per abitazioni costituite da appartamenti in edifici multi-piano. Possono essere utilizzati anche per altri tipi di edifici, nel caso in cui i sistemi costruttivi e le dimensioni degli elementi edilizi che li compongono non siano troppo diversi dall'edificio modello. [UNI/TR 11175:2005, capitolo 1]

In un edificio esistente, il potere fonoisolante apparente può essere ricavato attraverso misurazioni in opera, e di conseguenza l'indice di valutazione  $R'_w$ , come già illustrato precedentemente, può essere calcolato attraverso la UNI EN ISO 717-1.

Nel caso invece di un edificio in fase di progetto,  $R'_w$  può essere determinato solo con un modello di calcolo. Lo stesso vale per gli altri indici di valutazione considerati precedentemente. In questo paragrafo verrà illustrato tale procedimento.

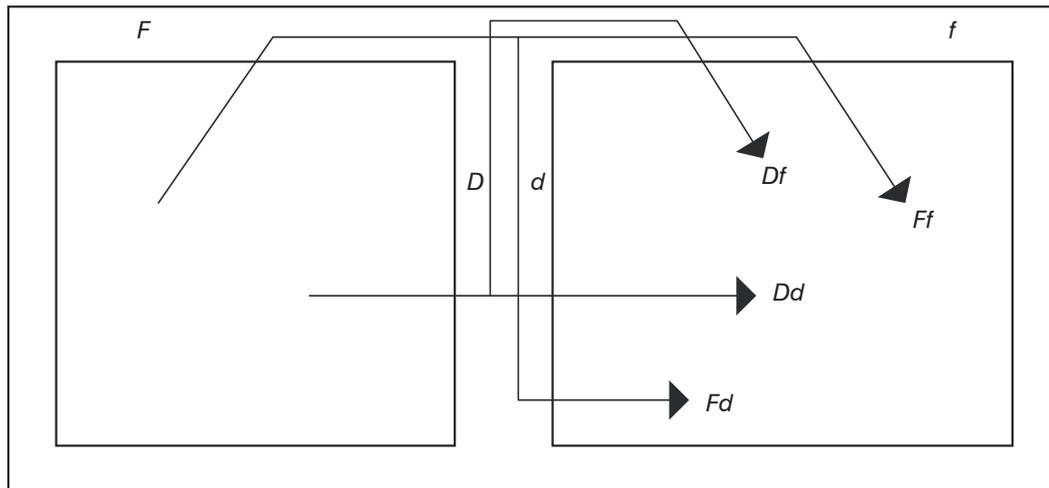


Figura 8: Percorsi delle trasmissioni diretta e laterale di rumori aerei. Dalla UNI/TR 11175:2005.

Nella situazione tipica di due ambienti adiacenti, uno emittente e l'altro ricevente come mostra la figura 8, ciascun percorso di trasmissione è indicato da un elemento  $i$  esposto al suono nell'ambiente emittente, e da un elemento  $j$  che irradia il suono nell'ambiente ricevente. Indicando con  $F$  o  $f$  l'elemento laterale, rispettivamente dell'ambiente emittente e del ricevente, e indicando con  $D$  o  $d$  l'elemento di separazione, seguendo lo stesso criterio, risulta che l'indice di valutazione del potere fonoisolante apparente è:

$$R'_w = -10 \log \left( 10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} \right) [dB]$$

in funzione degli indici di valutazione del potere fonoisolante per trasmissione laterale,  $R_{ij,w}$  di tutti i singoli percorsi  $ij$  diretti e indiretti possibili tra i due ambienti, e dove  $n$  è il numero di elementi laterali rispetto all'elemento di separazione.

Occorre pertanto determinare  $R_{ij,w}$  attraverso la formula:

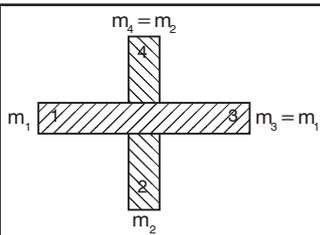
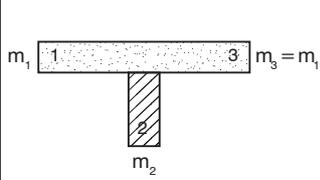
$$R_{ij,w} = \frac{R_{i,w} + R_{j,w}}{2} + \Delta R_{ij,w} + K_{ij} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 l_{ij}} [dB]$$

dove:

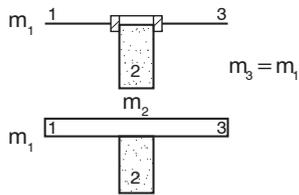
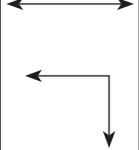
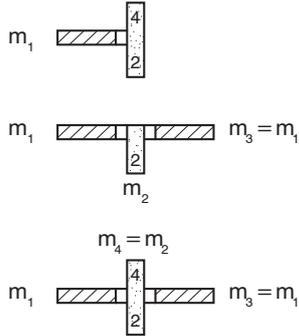
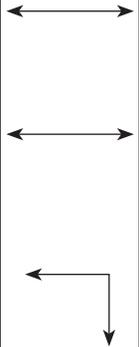
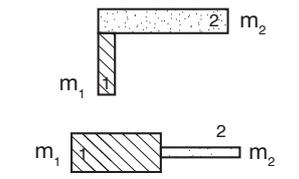
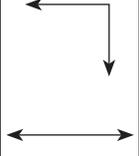
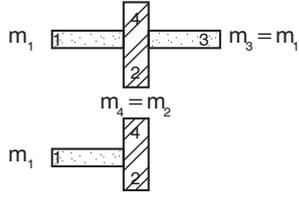
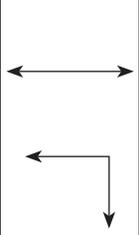
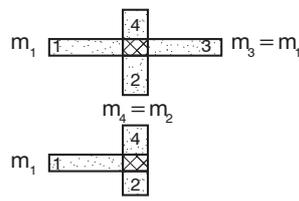
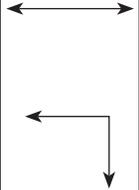
- $R_{i,w}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante della struttura  $i$ , in dB;
- $R_{j,w}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante della struttura  $j$ , in dB;
- $\Delta R_{ij,w}$  è l'incremento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante dovuto all'apposizione di strati addizionali di rivestimento alle strutture omogenee  $i$  e  $j$  lungo il percorso  $ij$ ; se lungo il percorso  $ij$  si trovano due strati addizionali, si somma il valore maggiore con la metà del minore ( $\Delta R_{ij,w} = \Delta R_{i,w} + \Delta R_{j,w} / 2$  con  $\Delta R_{j,w} < \Delta R_{i,w}$ );
- $K_{ij}$  è l'indice di riduzione delle vibrazioni prodotto dal giunto  $ij$ , in dB;
- $S_s$  è l'area dell'elemento di separazione, in  $m^2$ ;
- $l_0$  è la lunghezza di riferimento, pari a 1m;
- $l_{ij}$  è la lunghezza del giunto  $ij$ , in metri.

Sulla base di questo indice è possibile determinare le altre grandezze pertinenti per la caratterizzazione delle prestazioni acustiche dell'edificio nella trasmissione per via aerea del suono tra ambienti adiacenti.

Risulta opportuno fare riferimento al calcolo dell'indice di riduzione delle vibrazioni  $K_{ij}$ , che nel modello si assume indipendente dalla frequenza (nel campo da 125 Hz a 2000 Hz), esprime la resistenza alla trasmissione delle vibrazioni strutturali da un elemento costruttivo a quello adiacente, in corrispondenza del giunto fra gli stessi elementi. Tale indice può essere calcolato per i più comuni tipi di giunzioni in funzione delle masse per unità di area degli elementi connessi, attraverso le relazioni fornite dal prospetto 1.

Giunzione		Trasmissione		Valori di $K_{ij}$ (dB)
a. Rigida a croce		Diritto	$\longleftrightarrow$	$K_{13} = 8,7 + 17,1 M + 5,7 M^2$
		Angolo	$\leftarrow \downarrow$	$K_{12} = 8,7 + 5,7 M^2 (=K_{23})$
b. Rigida a T		Diritto	$\longleftrightarrow$	$K_{13} = 8,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$
		Angolo	$\leftarrow \downarrow$	$K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 (=K_{23})$

Prospetto 1: Trasmissione caratteristica di giunzione  $K_{ij}$  per tipi più comuni di giunzione. UNI/TR 11175:2005.

Giunzione	Trasmissione		Valori di $K_{ij}$ (dB)
c. Struttura omogenea e facciata leggera 	Diritto Angolo		$K_{13} = 5 + 10 M$ (min 5 dB) $K_{12} = 10 + 10  M  (=K_{23})$
d. Strutture omogenee con strato flessibile. Rapporto $E/d \approx 100 \text{ MN/m}^3$ $E$ è il modulo elastico dello strato flessibile, $d$ è lo spessore dello strato flessibile 	Diritto su pareti con strato flessibile Diritto su parete Omogenea Angolo		$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 + 12$ $K_{24} = 3,7 + 14,1 M + 5,7 M^2$ $-4 \leq K_{24} \leq 0$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 + 6 (=K_{23})$
e. Struttura omogenea con angolo o cambio spessore 	Angolo Cambio spessore		$K_{12} = 15  M  - 3 (=K_{21})$ (min -2 dB) $K_{12} = 5 M^2 - 5 (=K_{21})$
f. Doppia parete leggera e struttura omogenea 	Diritto su parete doppia Diritto su parete Omogenea Angolo		$K_{13} = 10 + 20 M$ (minimo 10 dB) $K_{24} = 3 + 14,1 M + 5,7 M^2$ $m'1 / m'2 > 3$ $K_{12} = 10 + 10  M  (=K_{23})$
g. Pareti doppie leggere accoppiate 	Diritto Angolo		$K_{13} = 10 + 20 M$ $K_{12} = 10 + 10  M  (=K_{23})$

Prospetto 1: Trasmissione caratteristica di giunzione  $K_{ij}$  per tipi più comuni di giunzione. (continua)  
UNI/TR 11175:2005.

$K_{ij}$  è una grandezza funzione della dimensione del giunto, della differenza di livello della velocità di vibrazione tra i due elementi esaminati, quando uno solo dei due è direttamente sollecitato, e del tempo di riverberazione strutturale  $T_s$ <sup>25</sup> dei due elementi, pertanto il suo calcolo è relazionato alla seguente equazione

$$R_{ij,w} = \overline{D_{vij}} + 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} \quad [dB]$$

in cui:

- $\overline{D_{vij}}$  è l'isolamento di vibrazioni del giunto, in dB;
- $l_{ij}$  è la lunghezza del giunto tra gli elementi  $i$  e  $j$ , in m;
- $a_i$  è la lunghezza di assorbimento equivalente dell'elemento  $i$ , in m;
- $a_j$  è la lunghezza di assorbimento equivalente dell'elemento  $j$ , in m.

Per calcolare la lunghezza di assorbimento equivalente si utilizza la seguente formula

$$a_i = \frac{2.2 \omega^2 S_i}{c_0 T_{s,i}} \cdot \sqrt{\frac{F_{ref}}{f}} \quad [m]$$

dove:

- $S_i$  è la superficie dell'elemento  $i$ , in m<sup>2</sup>;
- $c_0$  è la velocità del suono nell'aria, in m/s;
- $T_{s,i}$  è il tempo di riverberazione strutturale dell'elemento  $i$ , in s;
- $F_{ref}$  è la frequenza di riferimento, pari a 1000 Hz;
- $f$  è la frequenza di centro banda, in Hz.

Un altro fattore indispensabile da calcolare è la differenza di livello di velocità di vibrazione media sulla direzione  $\overline{D_{vij}}$ , a partire dalla differenza tra il livello di velocità di vibrazione dell'elemento  $i$ ,  $L_{vi}$ , e il livello di velocità di vibrazione dell'elemento  $j$ ,  $L_{vj}$ , quando il solo elemento  $i$  è eccitato, e viceversa per il percorso  $j-i$ .

Pertanto

$$\overline{D_{vij}} = \frac{D_{vij} + D_{vji}}{2} \quad [dB]$$

$$D_{vij} = L_{vi} - L_{vj} \quad [dB]$$

---

<sup>25</sup> Il tempo di riverberazione strutturale è definito come il tempo, in secondi, necessario perché il livello di accelerazione in una struttura si riduca di 60 dB successivamente all'interruzione della sorgente di rumore strutturale.  $T_s$  è calcolato usando l'estrapolazione lineare nell'intervallo considerato molto più breve di 60 dB, preferibilmente 15 dB o 20 dB. [UNI EN ISO 10140-4:2010]

Tornando quindi al calcolo dell'indice  $K_{ij}$ , esso è effettuato in funzione del logaritmo decimale del rapporto  $M$  tra le masse per unità di area delle pareti collegate ad angolo retto fra di loro in corrispondenza del giunto

$$M = \log (m'_{\perp i} / m'_i) \quad [dB]$$

dove:

- $m'_i$  è la massa per unità di area dell'elemento  $i$  nel percorso  $i$ - $j$ , in  $kg/m^2$ ;
- $m'_{\perp i}$  è la massa per unità di area dell'altro elemento che costituisce la giunzione perpendicolare all'elemento, in  $kg/m^2$ .

Nel metodo appena descritto, gli elementi strutturali vengono assunti come strutture monolitiche alle quali si possono aggregare strati addizionali. Ciascun elemento strutturale considerato a sé stante è pertanto caratterizzato da un  $R'_w$  relativo alla sua componente di base, e da un valore di  $\Delta R_w$ <sup>26</sup> relativo alla eventuale presenza di strati addizionali.

In mancanza di dati sperimentali, si può calcolare  $\Delta R_w$  in funzione della frequenza di risonanza della struttura di base.

Quando uno strato resiliente è fissato direttamente allo strato di base senza montanti o correnti, la frequenza di risonanza  $f_0$  si ottiene mediante la formula

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad [Hz]$$

dove:

- $s'$  è la rigidità dinamica dello strato resiliente, in  $MN/m^3$ ;
- $m'_1$  è la massa per unità di area della struttura di base, in  $kg/m^2$ ;
- $m'_2$  è la massa per unità di area dello strato addizionale, in  $kg/m^2$ .

Nel caso in cui invece gli strati addizionali non siano direttamente collegati alla struttura di base, e realizzati con montanti e correnti, e la cavità sia riempita con materiale poroso avente resistenza al flusso d'aria  $r > 5 \text{ kNs/m}^4$ , la frequenza di risonanza è data da

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad [Hz]$$

dove:

- $d$  è lo spessore della cavità, in  $m$ ;
- $m'_1$  è la massa per unità di area della struttura di base, in  $kg/m^2$ ;
- $m'_2$  è la massa per unità di area dello strato addizionale, in  $kg/m^2$ .

---

<sup>26</sup> L'incremento dell'indice di valutazione del potere fonoisolante,  $\Delta R_w$ , si differenzia a seconda che venga coinvolta la trasmissione diretta o laterale, oltre a dipendere dal tipo di base alla quale vengono applicati gli strati addizionali. Nella trasmissione diretta si applicano i valori ottenuti da misurazioni in laboratorio usando la struttura di base normalizzata. Nella trasmissione laterale, non disponendo di altri dati, si possono in prima approssimazione utilizzare i valori di  $\Delta R_w$  della trasmissione diretta. [UNI/TR 11175:2005, par. 4.2.2]

Tornando a  $s'$ , ovvero la rigidità dello strato resiliente interposto, essa è definita secondo la UNI EN 29052-1 come il rapporto tra la forza dinamica  $F$  [MN], applicata su un provino di materiale di superficie  $S$  [m<sup>2</sup>], e lo spostamento dinamico  $\Delta d$  [m], secondo l'equazione

$$s' = \frac{F}{S} \cdot \frac{1}{\Delta d} \quad [MN/m^3]$$

Con il modello di calcolo semplificato, l'indice di valutazione del livello di pressione sonora di calpestio normalizzato si ottiene mediante la formula:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K \quad [dB]$$

dove:

- $L_{n,w,eq}$  è l'indice di valutazione del livello equivalente di pressione sonora di calpestio normalizzato relativo al solaio nudo privo di rivestimento;
- $\Delta L_w$  è l'indice di valutazione dell'attenuazione del livello di pressione sonora di calpestio del rivestimento;
- $K$  è la correzione da apportare per tenere conto della trasmissione laterale nelle strutture omogenee.

Il valore di  $L_{n,w,eq}$ , che esprime le prestazioni del prodotto solaio, per solai omogenei con o senza cavità, si ottiene in base alla seguente relazione, valida per  $100 \text{ kg/m}^2 < m' < 600 \text{ kg/m}^2$ :

$$L_{n,w,eq} = 164 - 35 \log ( m' / m'_0 )$$

dove:

- $m'$  è la massa per unità di area del solaio nudo, in kg/m<sup>2</sup>;
- $m'_0$  è la massa per unità di area di riferimento, pari a 1 kg/m<sup>2</sup>.

Passando dunque alle prestazioni acustiche dell'edificio nei confronti della trasmissione di suoni aerei dall'esterno all'interno, la norma calcola l'indice di valutazione dell'isolamento acustico di facciata normalizzato rispetto al tempo di riverberazione come:

$$D_{2m,nT,w} = R'_w + \Delta L_{fs} + 10 \log [V / (6 T_0 S)] \quad [dB]$$

calcolando  $R'_w$  in funzione delle grandezze pertinenti dei singoli elementi che compongono la parte di facciata corrispondente all'ambiente interno. Pertanto:

$$R'_w = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \cdot 10^{\frac{-R_{wi}}{10}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_0}{S} \cdot 10^{\frac{-D_{ne,wi}}{10}} \right] - K \quad [dB]$$

dove:

- $R_{wi}$  è l'indice di valutazione del potere fonoisolante dell'elemento  $i$ , in dB;
- $S_i$  è l'area dell'elemento  $i$ , in m<sup>2</sup>;
- $S$  è l'area totale della facciata, vista dall'interno (cioè la somma delle aree di tutti gli elementi), in m<sup>2</sup>;
- $D_{ne,wi}$  è l'indice di valutazione dell'isolamento acustico normalizzato rispetto all'assorbimento equivalente del "piccolo elemento"  $i$ , in dB;
- $K$  è la correzione relativa al contributo della trasmissione laterale pari a 0, per elementi di facciata non connessi, e pari a 2 per elementi di facciata pesanti con giunti rigidi;
- $A_0$  è l'area di assorbimento equivalente di riferimento, pari a 10 m<sup>2</sup>;
- $\Delta L_{fs}$  è la differenza del livello di pressione sonora per la forma della facciata, in dB.

A chiusura dell'analisi della normativa italiana, è importante chiarire che, essendo il caso studio un intervento privato, non sono stati citati né utilizzati i C.A.M. (Criteri Ambientali Minimi) che il DM 11 gennaio 2017<sup>27</sup> prevede per l'edilizia pubblica.

---

<sup>27</sup> "Adozione dei Criteri Ambientali Minimi (C.A.M.) per gli arredi per interni, per l'edilizia e per i prodotti tessili". Il decreto presenta per la prima volta una distinzione fra edifici pubblici e privati, differenzia l'isolamento acustico dall'acustica interna agli ambienti e rende cogenti le norme UNI 11367 e UNI 11532.

### 3.3 Confronto fra le disposizioni argentine ed italiane

Andando quindi a confrontare le disposizioni illustrate finora, risulta evidente come il carattere delle norme argentine sia solo precettivo, quindi consigliato, mentre per quanto riguarda l'Italia abbiamo dei limiti da rispettare obbligatoriamente.

Abbiamo una sostanziale differenza nella zonizzazione acustica del territorio, oltre che nella scansione dei periodi di riferimento per le misurazioni, e di conseguenza gli indicatori considerati nella redazione delle mappe acustiche strategiche. In Argentina si identificano 7 "zone di sensibilità acustica", di cui 5 per ambienti esterni e 2 per interni, per le quali il periodo diurno di misurazione va dalle 07:00 alle 22:00 ed il notturno dalle 22:00 alle 07:00. In Italia invece le 6 zone esistenti sono tutte riferite all'ambiente esterno, con una scansione dei periodi divisa in diurno (06:00 - 20:00), serale (20:00 - 22:00) e notturno (22:00 - 06:00).

Anche la misurazione dei livelli di emissione ed immissione avviene con la stessa procedura, ma a distanze ed altezze diverse, implicando delle differenze nei valori rilevati. Per l'emissione abbiamo  $d \geq 1,5\text{m}$  dalla facciata e  $h > 1,2\text{m}$  dal livello del suolo in Argentina, mentre  $d \geq 1\text{m}$  dalla facciata e  $h$  variabile in base al tipo di ricettore ipotizzato in Italia. Per l'immissione si usa  $d > 1\text{m}$  dalle pareti e  $1,2 \leq h \leq 1,5\text{m}$  in Argentina, e  $d \geq 1\text{m}$  da ogni superficie riflettente e  $h = 1,5\text{m}$  in Italia.

Un'ulteriore differenza sta nell'assenza, nella normativa argentina, dei valori limite differenziali di immissione e di quelli di qualità, come mostrato in tabella 30 (pagina successiva). La stessa classificazione degli ambienti abitativi non è univoca, in quanto in Argentina vengono considerate solo la funzione residenziale, alberghiera, ospedaliera e scolastica, mentre in Italia esistono indicazioni più specifiche per ogni tipologia, basti pensare a quella commerciale o di uffici. Va però detto che nelle norme IRAM, nonostante il numero minore di funzioni individuate, vengono fornite indicazioni più dettagliate per quanto riguarda gli elementi costruttivi, in base agli ambienti adiacenti e le unità funzionali.

Per quanto riguarda invece i parametri e gli indici prestazionali considerati, abbiamo un certo grado di unificazione, dettata dall'adesione di entrambe le parti ai protocolli ISO.

Parametro	Argentina		Italia
Limite di emissione in dB(A)	Diurno: < 70		Diurno: < 60
	Notturmo: < 60		Notturmo: < 50
Limite di immissione in dB(A)	Diurno: < 55		Diurno: < 65
	Notturmo: < 55		Notturmo: < 55
Valori di qualità in dB(A)	/		Diurno: < 62
	/		Notturmo: < 52
	Scala I	Scala II	
$R'_w$ (dB)	$\geq 42$	$\geq 48$	$\geq 50$
$D_{2m,nT,w}$ (dB)	$\geq 36$	$\geq 42$	$\geq 42$
$L'_{n,w}$ (dB)	$\leq 53$	$\leq 39$	$\leq 55$

Tabella 30: Prospetto riassuntivo delle principali differenze tra requisiti richiesti in Argentina ed in Italia

# 4

## Presentazione del caso studio

#### 4. Presentazione del caso studio

Passiamo quindi alla presentazione del caso studio, l'edificio SHLOW<sup>28</sup>, un intervento di ri-funzionalizzazione ed ampliamento di un cineteatro storico di Buenos Aires, situato in una delle zone commerciali più trafficate della città.

La figura 5, nella pagina successiva, mostra l'ubicazione geografica di Capital Federal all'interno della Provincia di Buenos Aires e di questa nel territorio Argentino.

Come già introdotto nel paragrafo 2.1.1, la sola capitale ha un'estensione di 203 km<sup>2</sup> con una densità di 15113,51 ab/km<sup>2</sup>, ed una popolazione stimata di 3 milioni di abitanti<sup>29</sup>.

È suddivisa in 48 *barrios*, l'equivalente dei nostri quartieri, i quali sono raggruppati in 15 *comunas*, corrispondenti alle circoscrizioni: l'area urbana presa in considerazione per l'analisi e la successiva individuazione delle problematiche da risolvere, si estende per tre *barrios*, *Belgrano*, *Colegiales* y *Palermo*. Tutti sono nuclei urbani molto dinamici e in crescita, che conservano però tracce del loro passato signorile.

Il focus si stringe quindi sulle *manzanas*<sup>30</sup> comprese tra i due grandi assi viari rappresentati da Avenida Cabildo e Avenida del Libertador: la prima ha carattere prevalentemente commerciale, mentre la seconda, data la sua grande estensione, raggruppa differenti funzioni, da residenze fino a complessi sportivi. Nello specifico, il segmento considerato è quello generato dall'intersezione con la tratta del Ferrocarril Bartolomé Mitre.

L'opera di sopraelevazione della ferrovia per un tratto di 3,9km, ideata nel 2013 e completata nel 2019, ha permesso di eliminare le barriere fisiche che dividevano in due la città proprio nella zona considerata, ed ha pertanto comportato l'apertura di 8 strade (Blanco Encalada, Juramento, La Pampa, Monroe, Mendoza, Olazábal, Ollerros, Sucre).

Da questa importante modifica urbana sorgono diverse problematiche ed esigenze che verranno analizzate nei paragrafi successivi.

---

<sup>28</sup> Archimede Iara, Matassoni Isotta, Mischitelli Francesca, Nervo Alberto, 2019. "SHLOW", Trabajo Final de Carrera, Cátedra de Liliana Bonvecchi, Universidad de Belgrano, Buenos Aires, Argentina. Progetto premiato dalla Facultad de Arquitectura y Urbanismo come progetto distintosi per merito nel corso dell'anno accademico 2019.

<sup>29</sup> Dirección General de Estadística y Censos (Ministerio de Hacienda GCBA). *Proyección de población por sexo y edad simple. Ciudad de Buenos Aires. Año 2020*. Ultimo aggiornamento 13/06/2018.

<sup>30</sup> La *manzana* è l'isolato tipico sudamericano, delimitato da quattro strade: nasce dalla sovrapposizione della massa urbana e di quella di transito. Un altro termine correlato è la *cuadra*, lo spazio urbano compreso in ogni isolato tra i rispettivi limiti di altri due fronti stradali successivi. [1994-2020, "Glosario de Términos Urbanísticos. Plan Maestro. Oficina del Historiador de La Habana", consultato in data 23/04/2020].

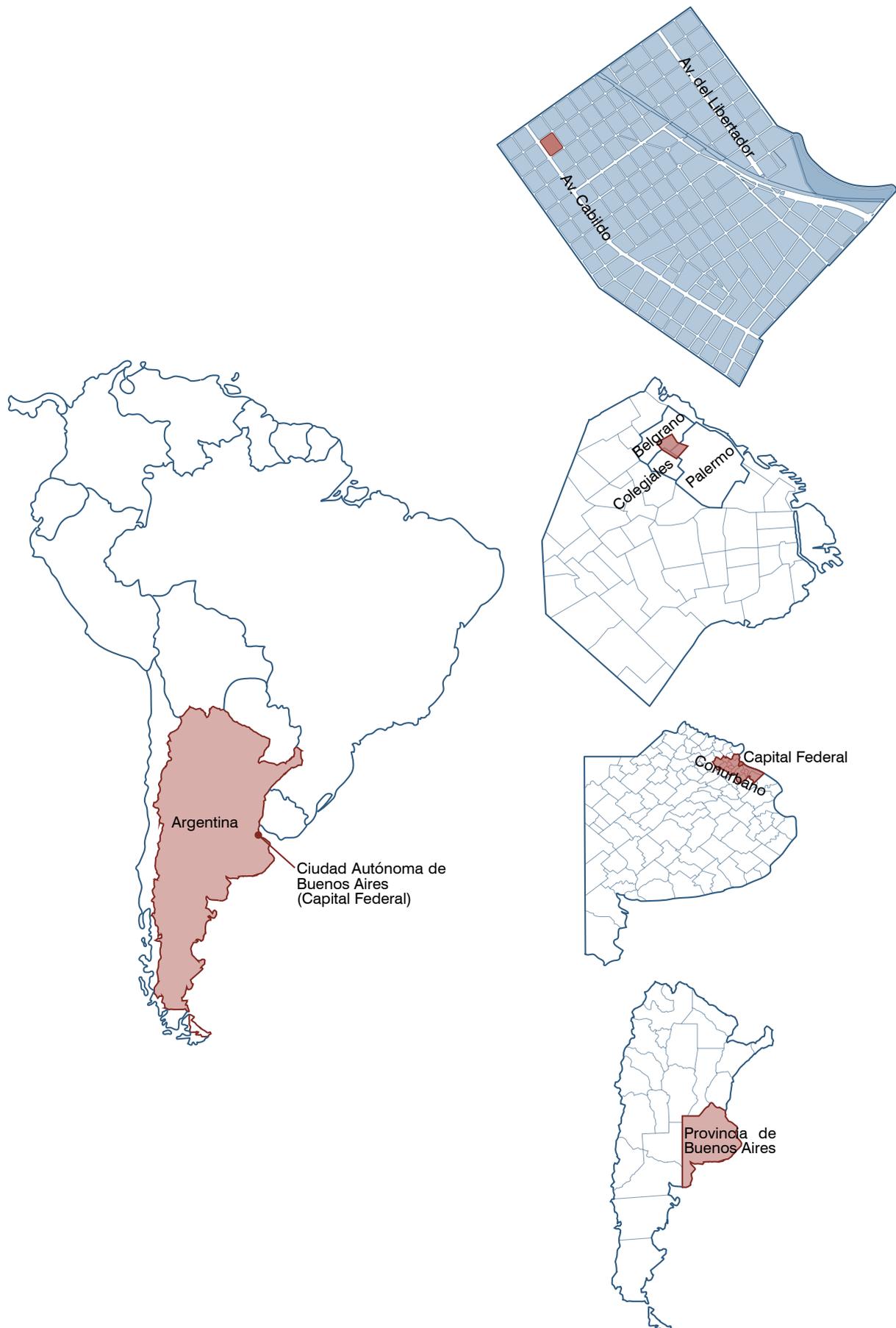


Figura 9: Inquadramento territoriale

## 4.1 Analisi urbana ed individuazione della tematica di progetto

Partendo dalla macro-area appena citata, a seguito di un'analisi sensoriale della zona, è stata individuata una microarea di intervento proprio lungo l'asse di Avenida Cabildo, luogo caratteristico della città per la sua ricchezza di commercio e di transito sia pedonale che veicolare.

In primo luogo è stata isolata la problematica della velocità con cui viene fruita la zona, a causa del sovraccarico di informazione, che si esprime bene attraverso la forte presenza della pubblicità lungo l'intero percorso stradale.

Da qui è nato l'interesse per gli edifici storici "occultati" dalla globalizzazione.

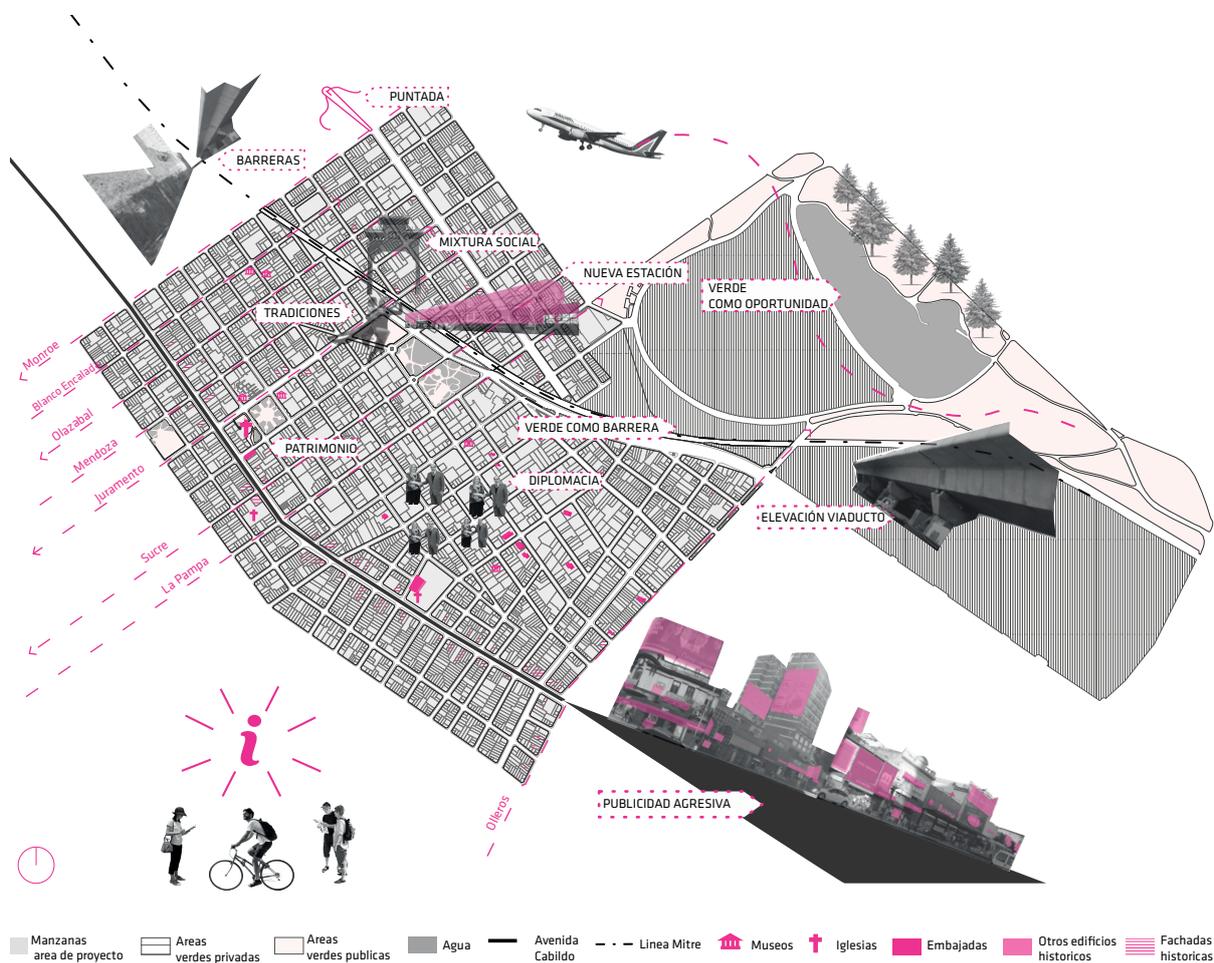


Figura 10: Mappa di analisi sensoriale, dal book del progetto SHLOW

Pianificando quindi un'azione di rivalorizzazione del patrimonio a scala urbana, con l'intenzione di restituire un'identità alla zona ma anche di permettere agli utenti di fruire in una maniera più lenta del proprio quartiere, la scelta dell'isolato su cui intervenire a scala architettonica è ricaduta su quello con maggiori potenzialità di creare un "microcosmo" di 97x119 metri.

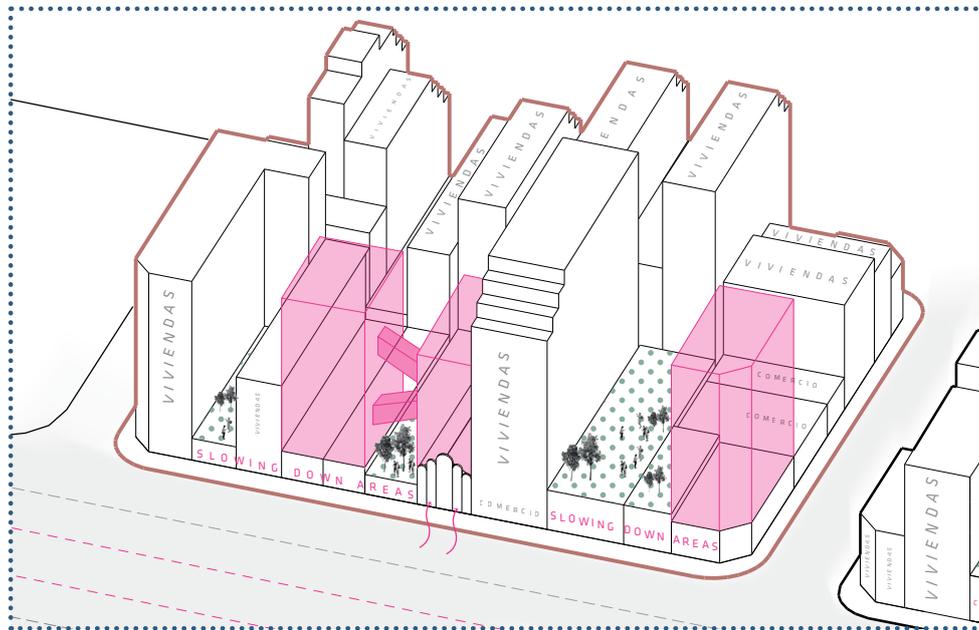


Figura 11: Assonometria della *manzana* dell'intervento, dal book del progetto SHLOW.



Figura 12: Ricostruzione fotografica del prospetto su Av. Cabildo della *manzana* di riferimento, produzione originale di Alberto Nervo.

Partendo dalla presenza di un ex cinema, il *Cine Cabildo*, luogo di riunione identitario della città di Buenos Aires, si è pensato di dargli una nuova vita come spazio di condivisione: da qui l'idea di convertirlo in un coworking con annessi spazi pubblici che incitino il pedone a sostare ed entrare in quello che potrebbe diventare un nuovo landmark urbano.

Proprio per queste conclusioni il nome prescelto è SHLOW: una fusione tra la parola "slow", ossia lento, che riflette l'intenzione di ridurre la velocità di fruizione degli spazi, e "show" cioè mostrare, in quanto l'ingresso all'edificio è proprio evidenziato dalla facciata storica del cinema.

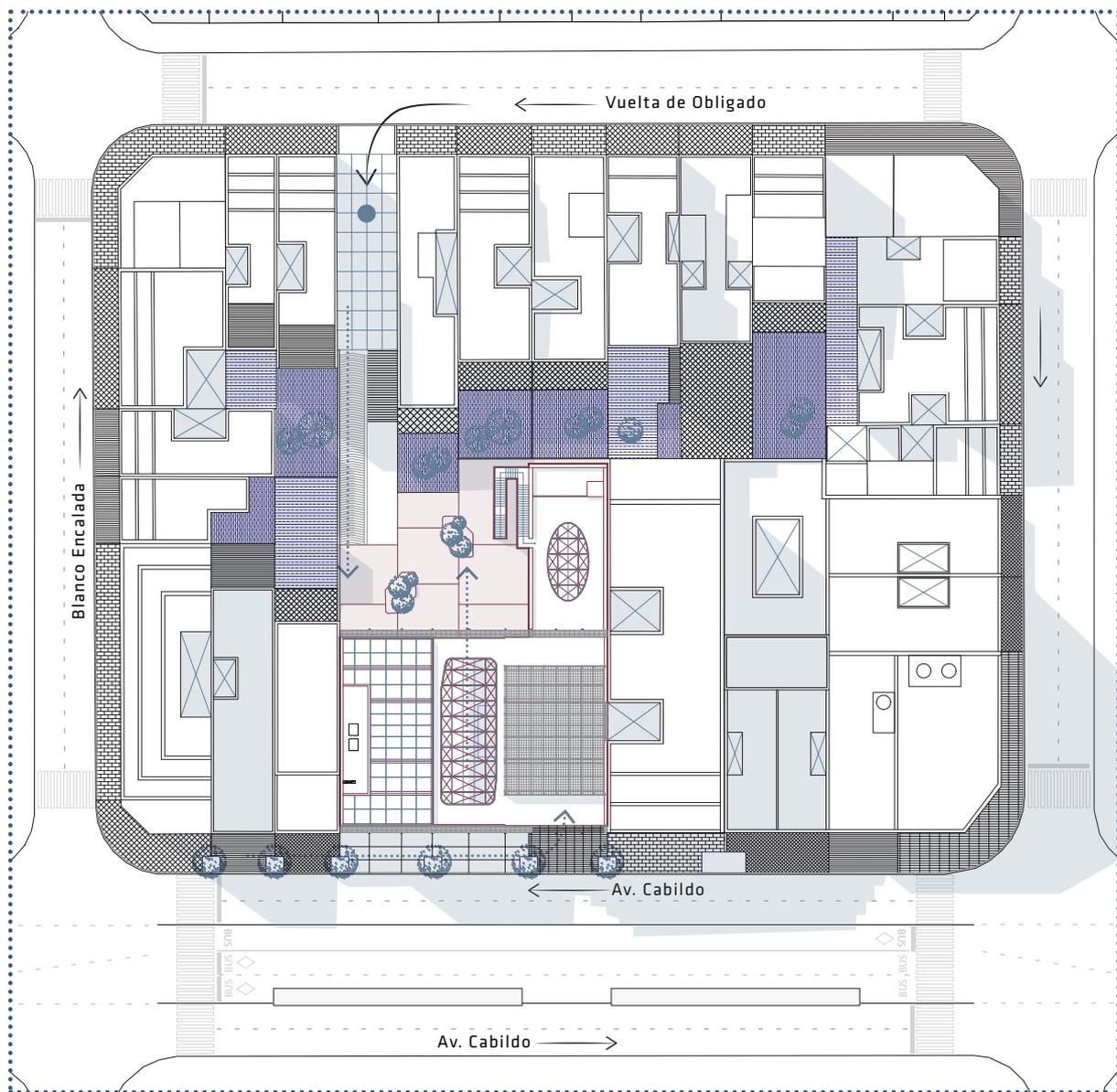


Figura 13: Masterplan, dal book del progetto SHLOW.

Si prevede quindi l'unione di quattro isolati adiacenti e l'aggiunta di un volume di otto piani fuori terra, in modo da ampliare l'edificio secondo le prescrizioni del Código Urbanístico <sup>31</sup>.

È utile inoltre ricordare che, essendo nell'emisfero australe, progettando le due facciate vetrate con esposizione Nord-Est Nord-Ovest è stato rispettato l'orientamento solare più favorevole.

<sup>31</sup> Piano Regolatore della Ciudad Autónoma de Buenos Aires [ndr].

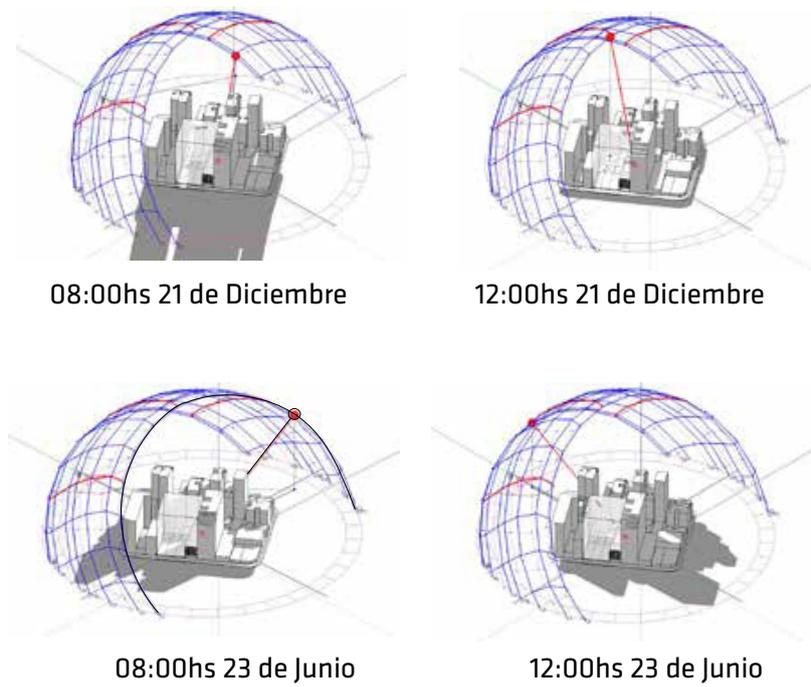


Figura 14: Incidencia solare, dal book del progetto SHLOW.

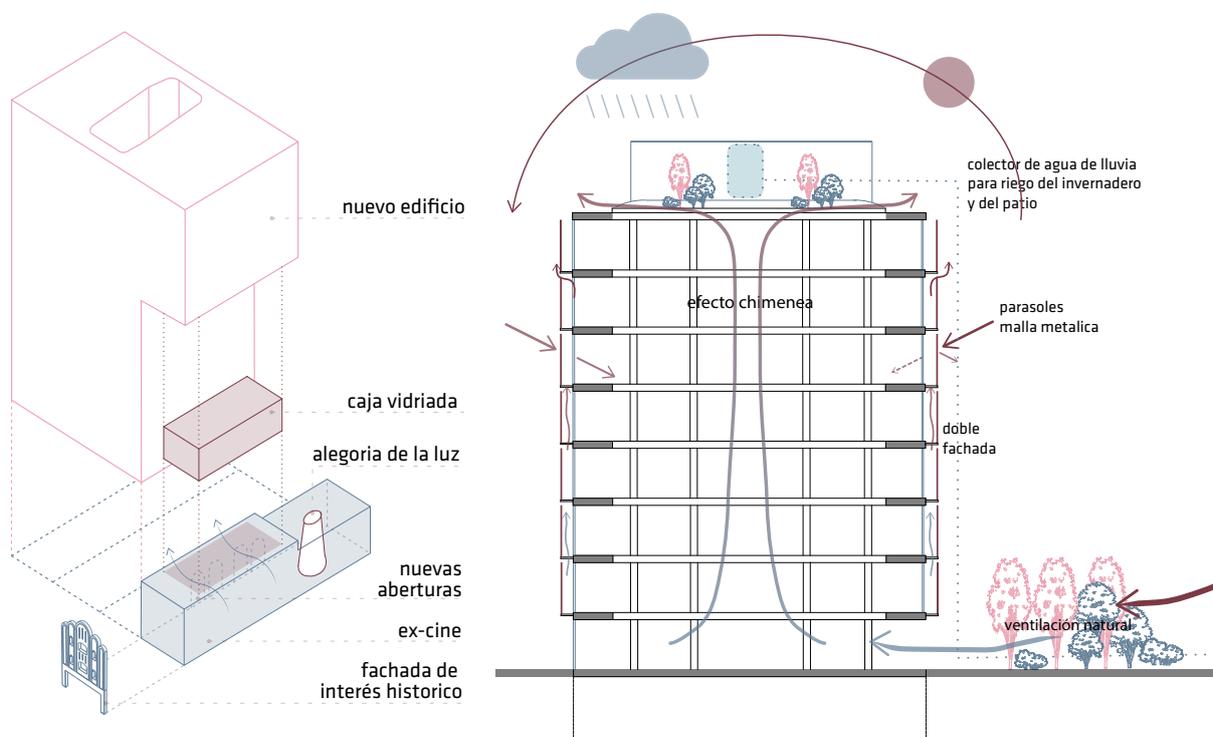


Figure 15 e 16: Schema dell'intervento e schema del funzionamento bioclimatico, dal book del progetto SHLOW.

## 4.2 Azione puntuale: l'edificio SHLOW

Con una superficie progettata di quasi 10000 m<sup>2</sup>, SHLOW si presenta come edificio a funzione mista, in quanto prevede un "blocco semi-pubblico" con mercato, bar e zona ristorazione, e un "blocco privato" dedicato agli uffici open-space, che possono essere affittati e/o comprati dagli investitori con diverse configurazioni.

Nell'ultimo piano sono invece stati inseriti un asilo, per permettere ai lavoratori di mantenere il contatto con i propri figli, magari nella pausa pranzo, ed una serra, che svolge la doppia funzione di riconnettere gli utenti con la natura in una zona in cui è difficile trovarla, e quella di contribuire al riscaldamento dell'intero edificio attraverso l'effetto camino.

L'esplosivo assometrico della pagina successiva mostra il rapporto tra il nuovo edificio ed il tessuto urbano preesistente, oltre a permettere di individuare chiaramente i blocchi già citati e di avere una visione d'insieme dell'involucro edilizio prescelto.

Vengono inoltre illustrate le diverse attività rese possibili dalla configurazione dell'edificio, le quali portano alla luce una delle intenzioni progettuali primarie: il benessere dell'utente.

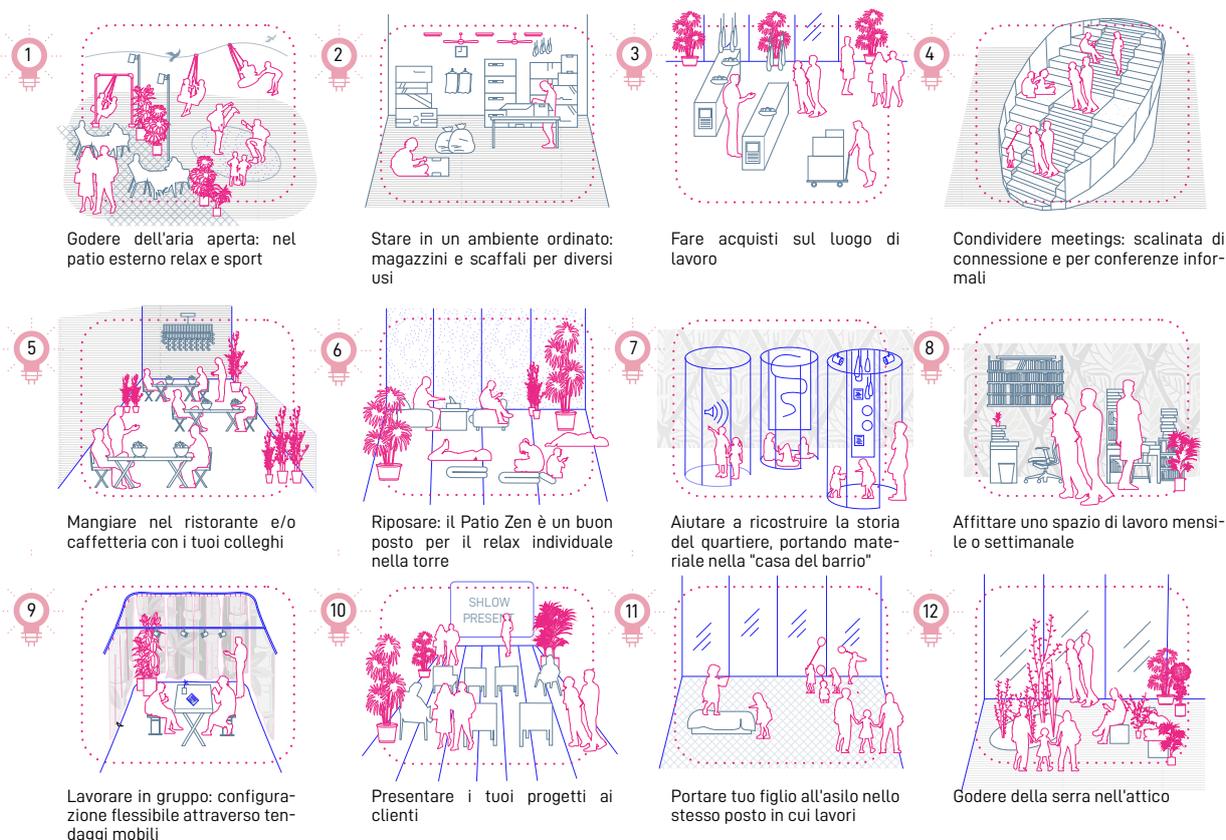


Figura 17: Didascalie per l'esplosivo assometrico, dal book del progetto SHLOW.

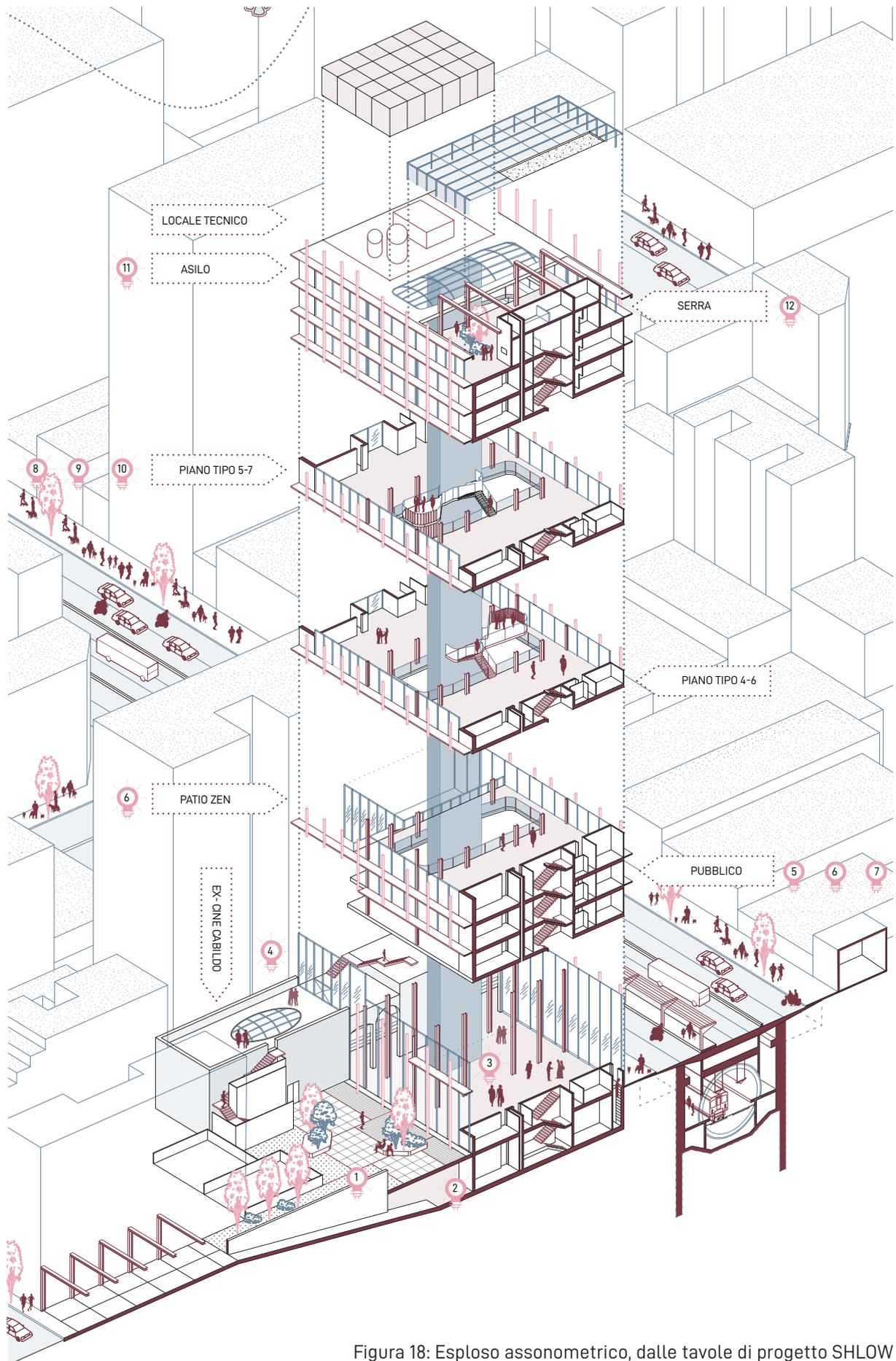


Figura 18: Esploso assometrico, dalle tavole di progetto SHLOW

Si vede quindi al piano terra la conversione del cineteatro in spazio d'accesso e di riunione per l'edificio, lasciando visibile l'impronta del vecchio edificio attraverso la pavimentazione, mentre attraverso l'apertura di due archi nella parete *medianera*<sup>32</sup> si passa all'area mercatale.

È inoltre importante sottolineare lo studio della pavimentazione del patio, che con distinte materialità differenzia le possibili attività da svolgere.

Il nucleo laterale permette di sfruttare al meglio gli unici due lati aperti del lotto, mentre il nucleo centrale di ascensori consente una distribuzione secondaria attraverso i diversi livelli, come verrà illustrato più avanti.

---

<sup>32</sup> Il termine *medianera* viene utilizzato comunemente per indicare la partizione verticale che separa due edifici adiacenti, essendo condiviso parzialmente o totalmente da entrambi. Ciò costituisce prassi comune in Argentina, tanto che la *medianería* figura come caso particolare del diritto reale di proprietà. [Vedi "Código Civil y Comercial de la República Argentina", Libro IV]

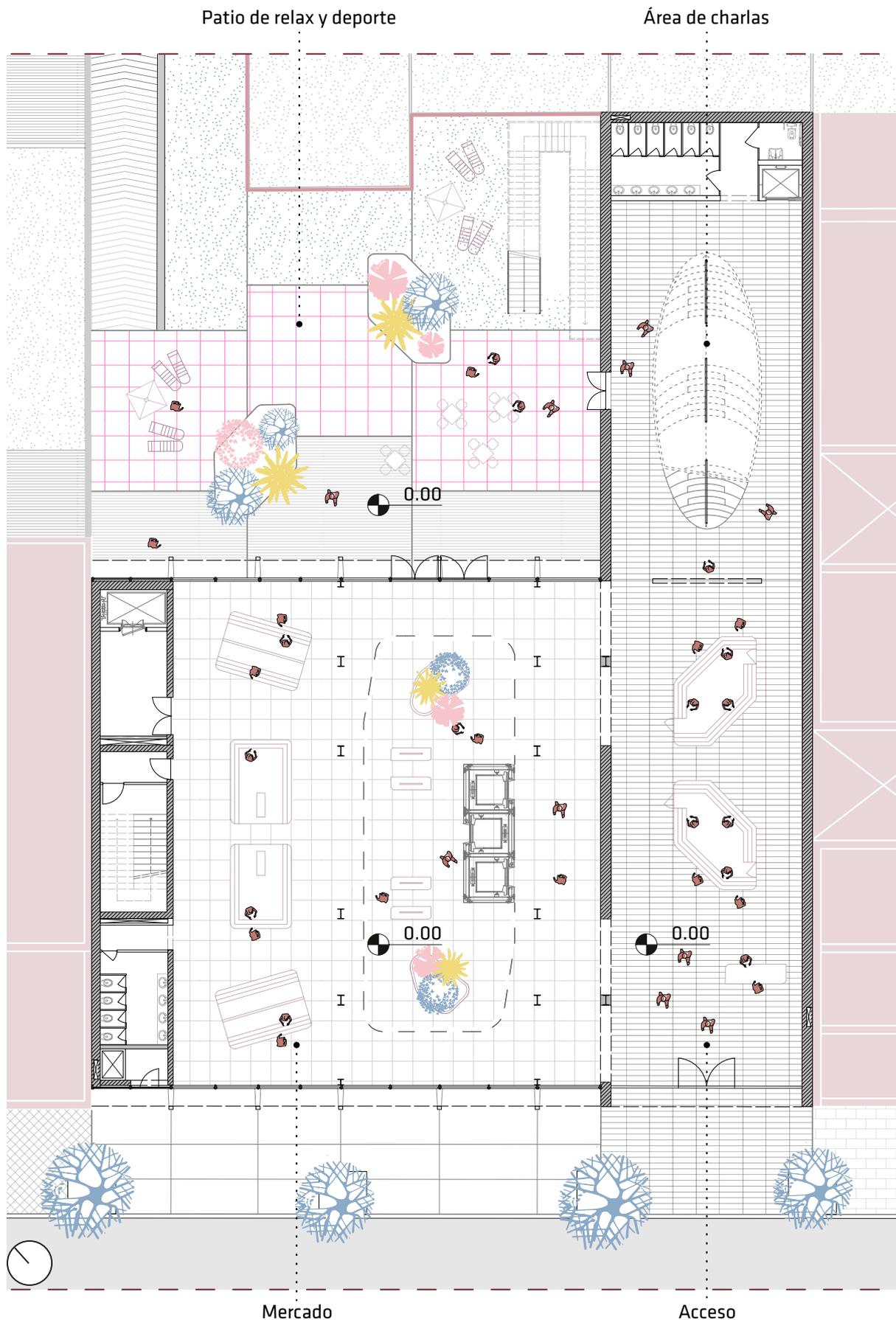


Figura 19: Pianta piano terra, fuori scala, dal book del progetto SHLOW.

Nel blocco pubblico, costituito dai piani 1, 2 e 3, si palesa l'elemento compositivo caratteristico dell'intero complesso: il patio interno, un'apertura che funge da elemento di circolazione ed allo stesso tempo di connessione visiva tra i diversi livelli dell'edificio.

Vengono qui progettati spazi dedicati alla cucina ed al consumo delle materie prime disponibili nel mercato, ma anche il fulcro identitario di SHLOW: l'area museale "casa del barrio", uno spazio espositivo dedicato ai cittadini che fanno in prima persona la storia del quartiere, contribuendo attivamente alla conservazione della storia e della tradizione locale.

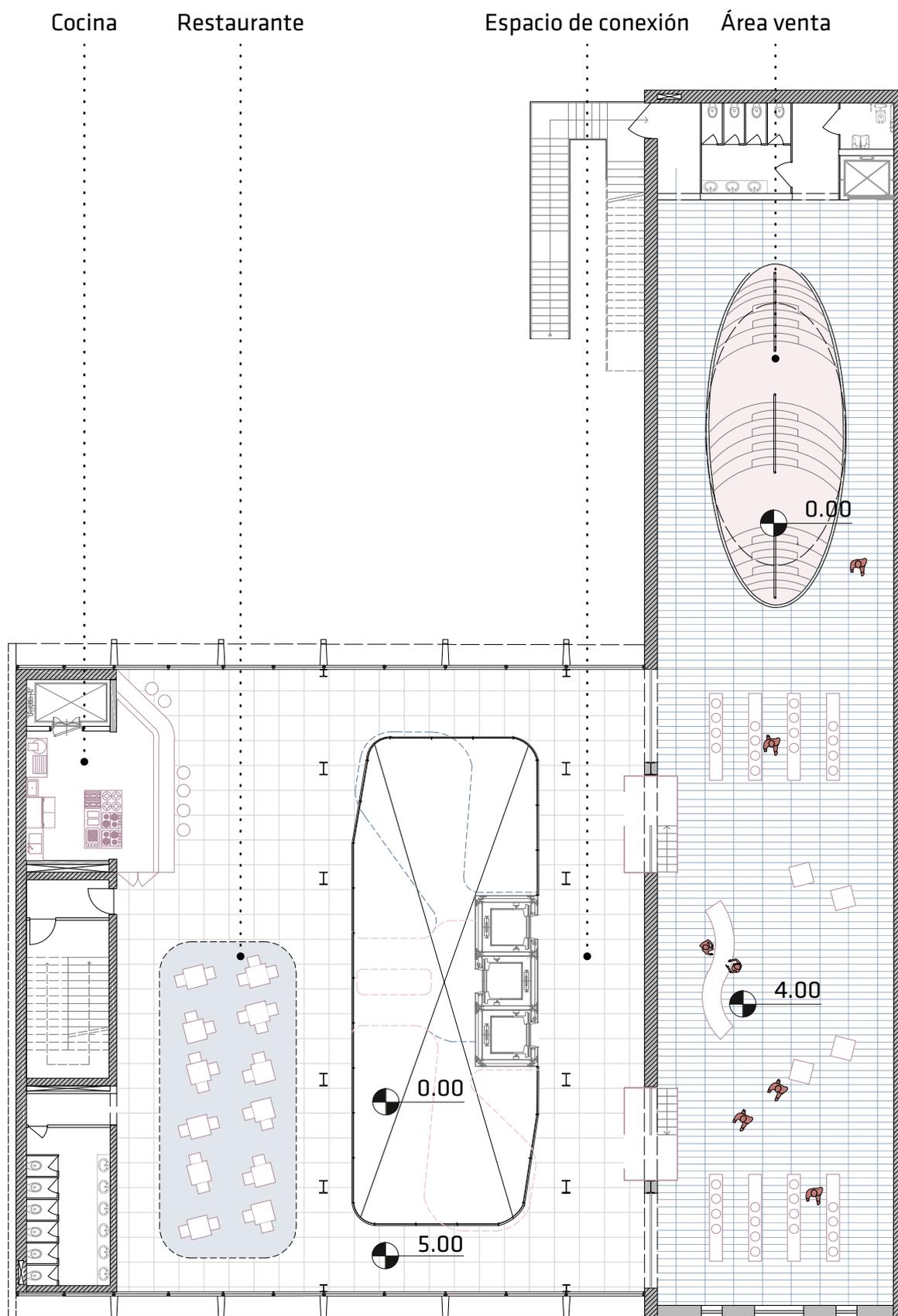


Figura 20: Pianta primo piano, fuori scala, dal book del progetto SHLOW

Sala de maquinas

Clases de cocina

Espacio de conexión

Terraza

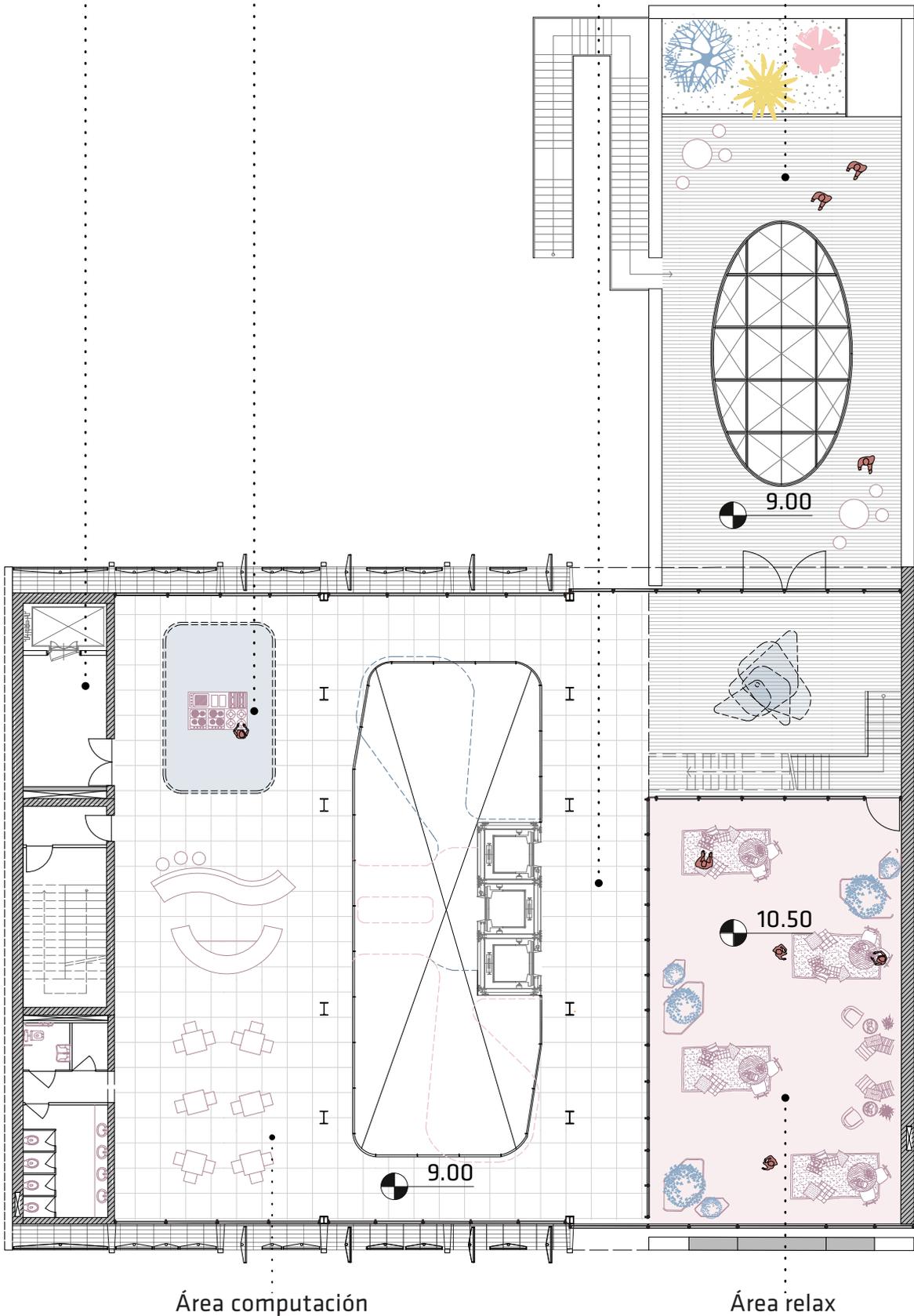


Figura 21: Pianta secondo piano, fuori scala, dal book del progetto SHLOW.

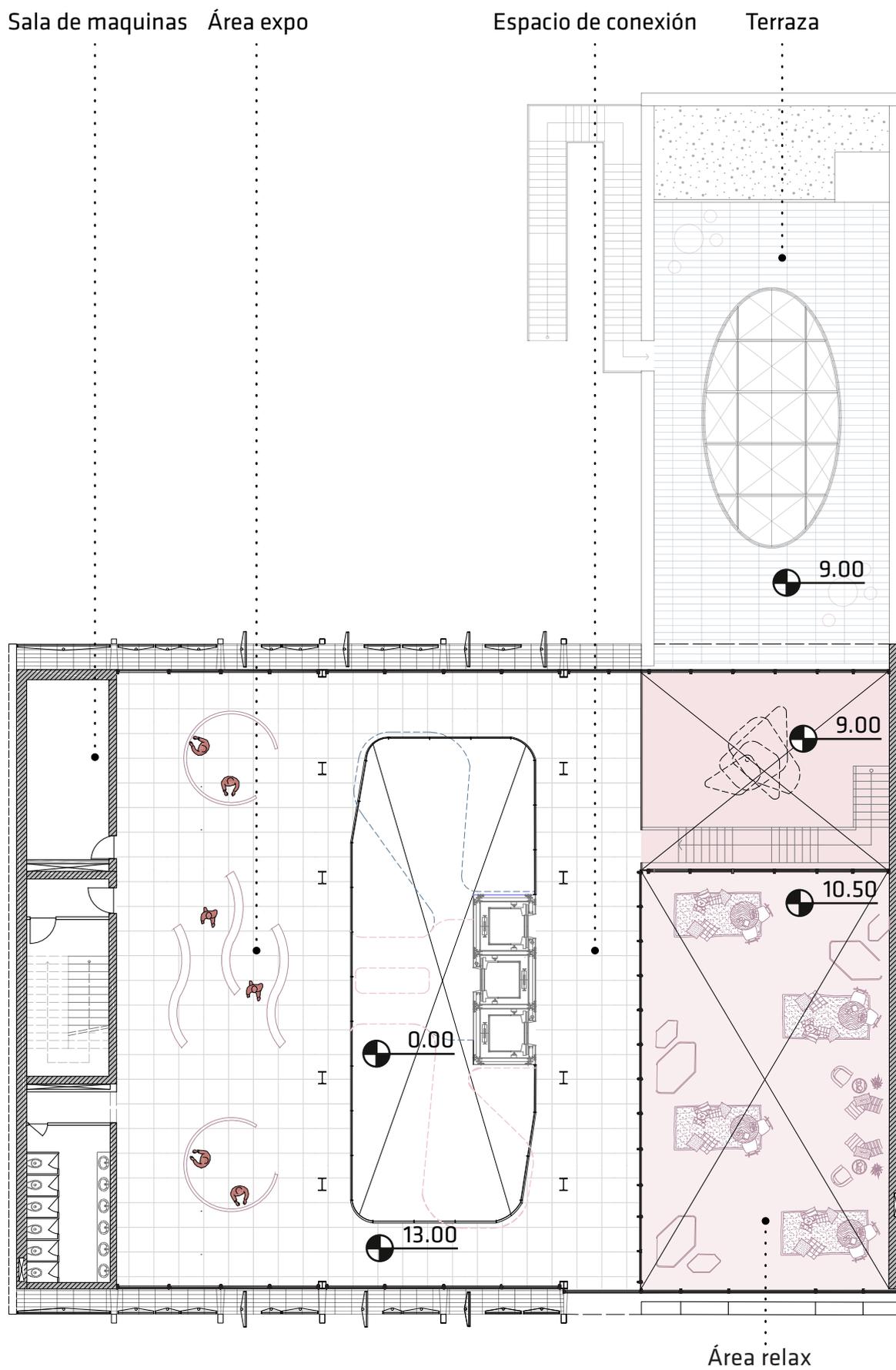


Figura 22: Pianta terzo piano, fuori scala, dal book del progetto SHLOW

Arrivando dunque al blocco privato degli uffici, ai quali si può accedere tramite il nucleo di ascensori del patio centrale, vengono pensate due piante tipo, differenziate dalla posizione del "petalo centrale".

Attraverso questo espediente si genera movimento nella distribuzione, creando dei semipiani intermedi che assumono la funzione di spazi aggiuntivi di riunione, ma anche un effetto visivo caratteristico nel momento in cui si guarda il complesso dall'ultimo piano o dal piano terra.

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, gli uffici sono pensati come *open-spaces*, il che permette una grande flessibilità al momento di riorganizzare gli spazi per i diversi affittatari: attraverso dei dispositivi tessili mobili è possibile cambiare la configurazione della pianta, rendendola ad esempio mono o bi ambiente.

Sala de maquinas Área computación

Social table

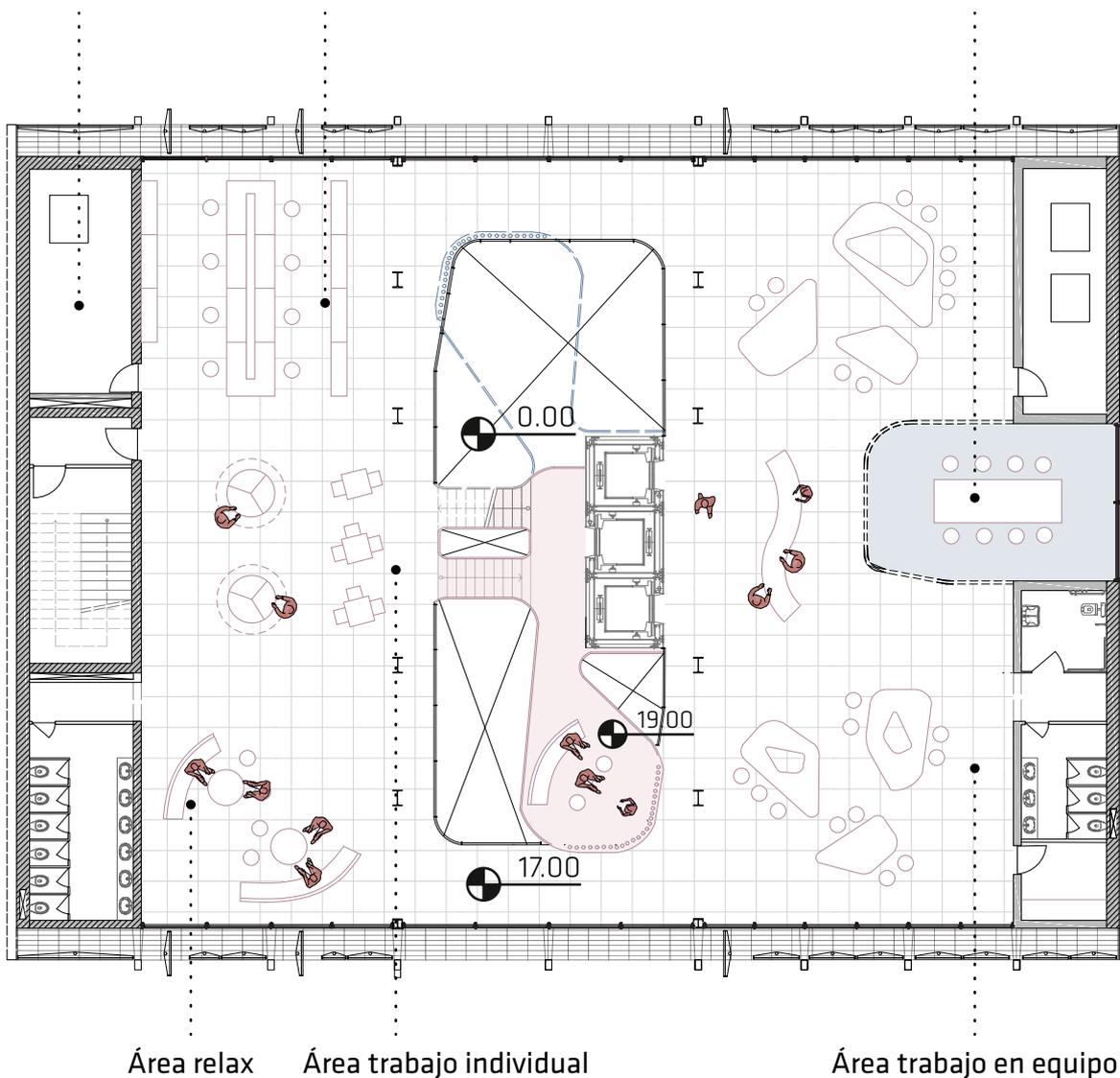
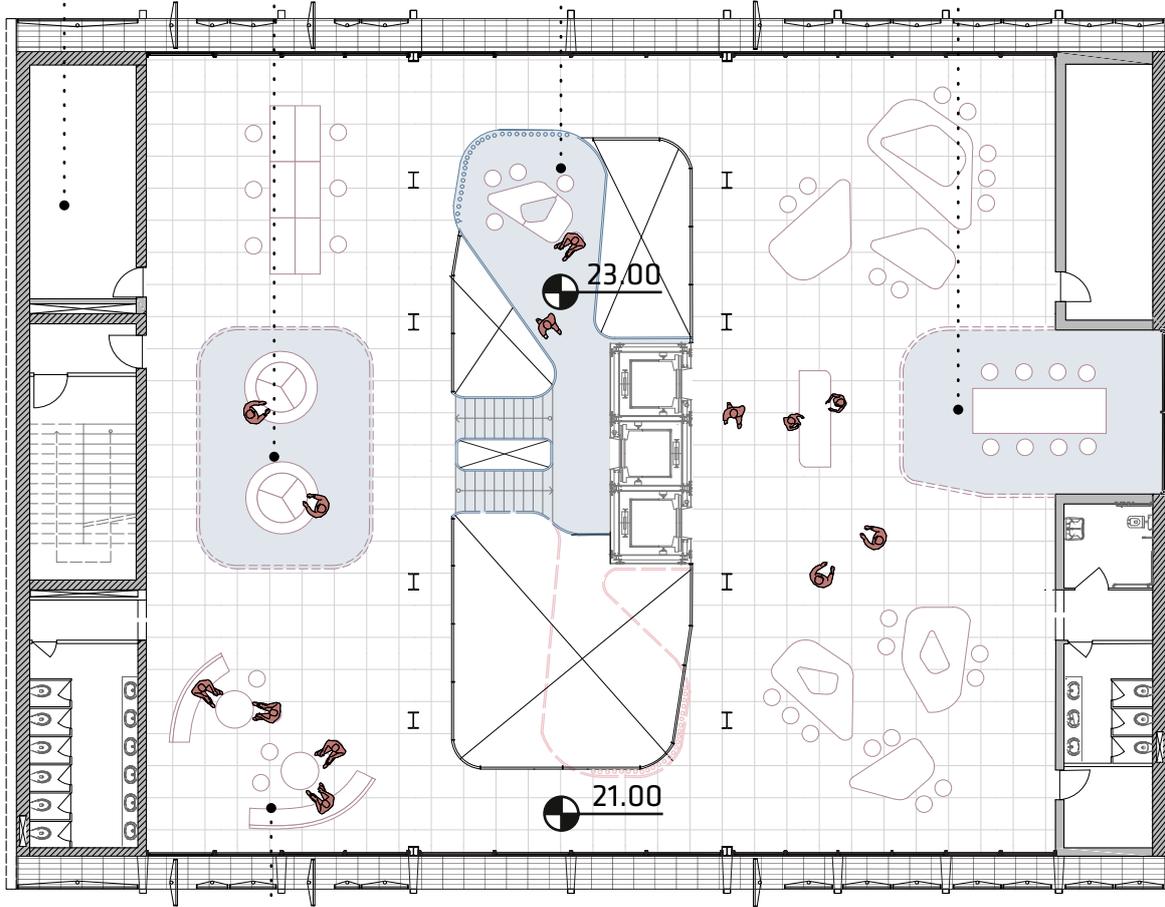


Figura 23: Pianta tipo 1 uffici, fuori scala, dal book del progetto SHLOW.

Sala de maquinas    Call center    Incubadora de ideas    Área meeting



Área relax

Figura 24: Pianta tipo 2 uffici, fuori scala, dal book del progetto SHLOW

L'ultimo piano è occupato dalla serra e dall'asilo, che invece hanno dei confini nettamente delimitati per ragioni pratiche e di sicurezza.

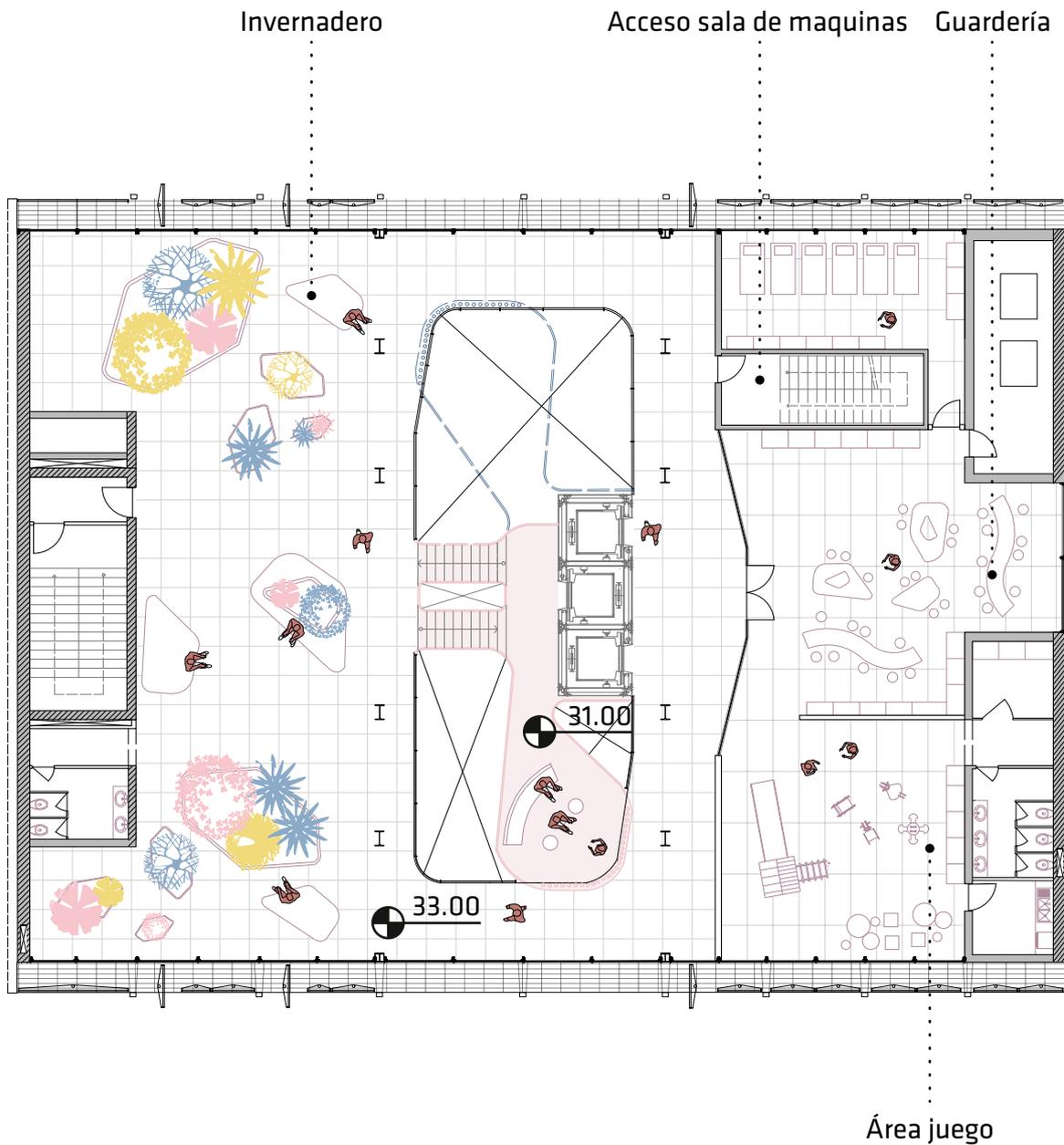


Figura 25: Pianta attico, fuori scala, dal book del progetto SHLOW.

Le pagine successive sono dedicate a prospetto e sezioni, utili per una migliore comprensione delle relazioni spaziali tra i vari blocchi.

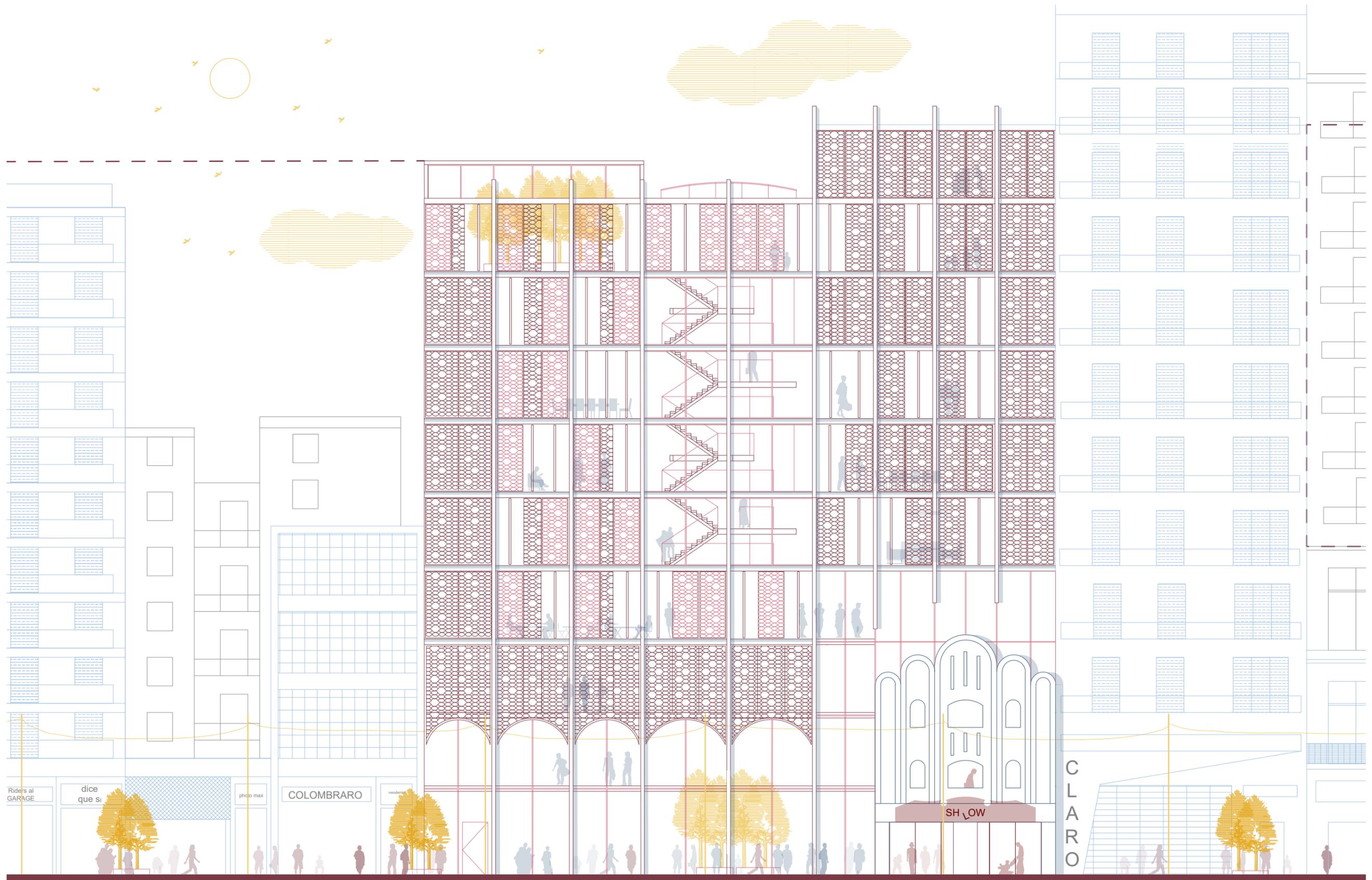


Figura 26: Prospetto principale, dal book del progetto SHLOW



Figura 27: Sezione trasversale, dal book del progetto SHLOW

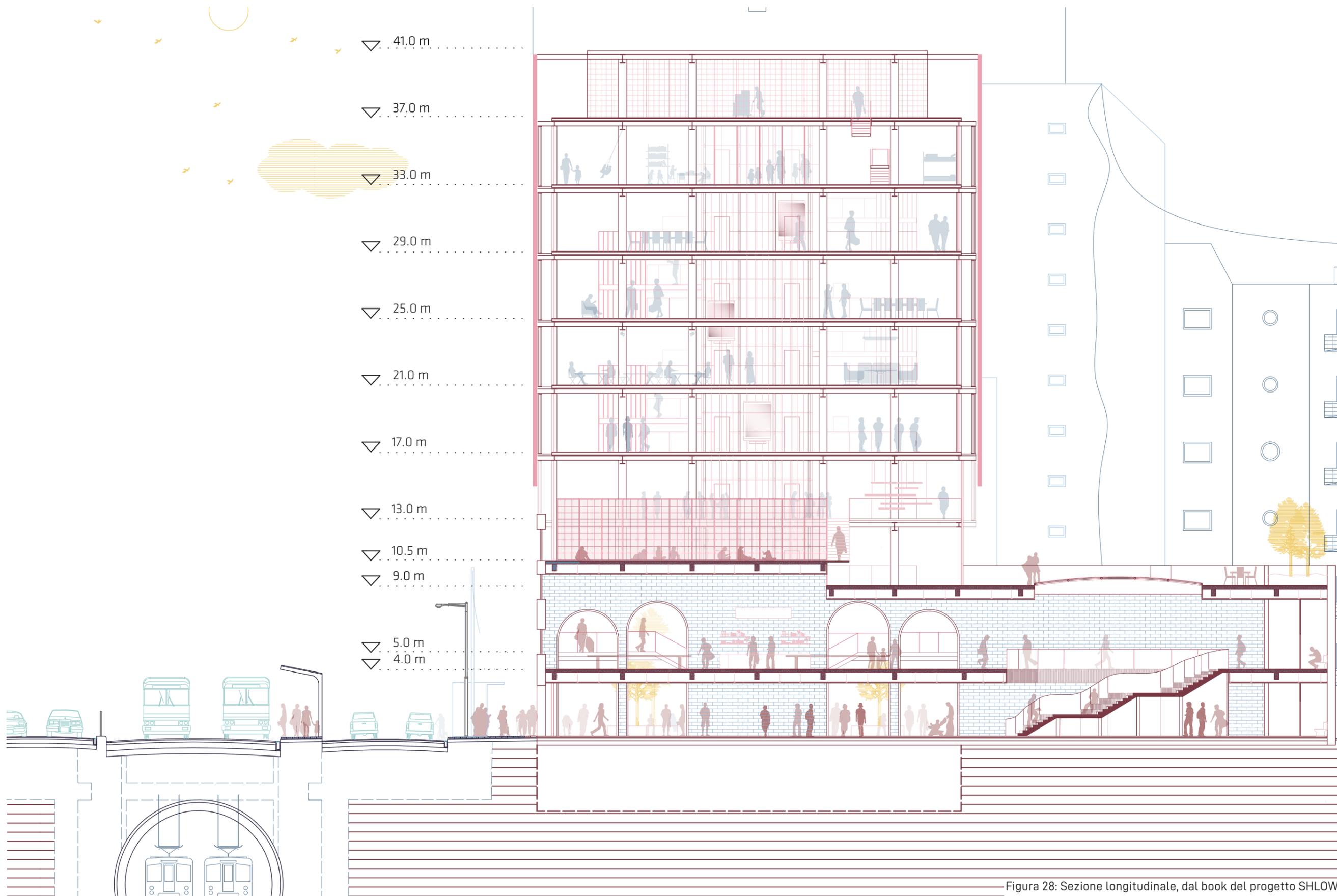


Figura 28: Sezione longitudinale, dal book del progetto SHLOW

### 4.3 Materialità e dettagli tecnologici



Figura 29: Sezione prospettica, fuori scala, dal book del progetto SHLOW.

Si è scelto di utilizzare per la parte nuova un sistema costruttivo dichiaratamente contemporaneo, quello a secco, per creare una netta differenza con la parte esistente, che risale al 1932.

Questo espediente rende possibile, inoltre, una certa reversibilità della costruzione e velocità di montaggio in opera.



Figura 30: Vista dell'incontro antico-nuovo, dal book del progetto SHLOW.

Come si può notare in figura 29, la struttura portante è costituita da profili HEA 270, i quali permettono di coprire luci maggiori rispetto al tradizionale cemento armato.<sup>33</sup>

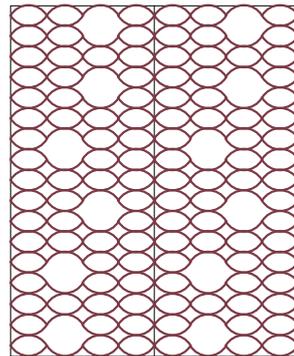
Vengono utilizzati due tipi di solaio prefabbricato: calcestruzzo armato precompresso per i petali, in modo da renderli più leggeri per il sistema di ancoraggio tramite tiranti, e solaio a secco per tutti gli altri (vedi dettagli tecnologici in figura 36 e 38).



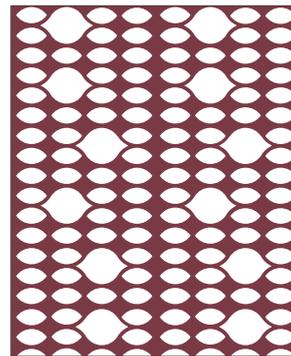
Figure 31 e 32: Vista del "petalo" centrale e della serra, dal book del progetto SHLOW.

<sup>33</sup> Il sistema costruttivo più utilizzato in Argentina è il cemento armato, per il costo inferiore di reperimento delle materie prime e la formazione della manodopera. [Ndr]

Le due facciate sono costituite da un falso *curtain-wall*, interrotto da ciascun solaio inter-piano, arretrato rispetto al fronte stradale, per permettere l'apertura dei *brise-soleil*: il disegno della facciata è caratterizzato da questi pannelli metallici, i quali hanno configurazione diversa in base all'esposizione. Fungono infatti da elementi ombreggianti nel lato a Nordest, mentre costituiscono puri elementi decorativi e di privacy nel lato Sudovest: in entrambi i casi creano però un caratteristico gioco di luci ed ombre nell'ambiente interno.



Lato Sudovest



Lato Nordest

Figura 33: Schema di design della griglia in facciata, dal book del progetto SHLOW



Figura 34: Vista dall'interno della griglia di facciata, dal book del progetto SHLOW

Viene quindi riportato un esploso assometrico che permette di avere una visione d'insieme della tecnica costruttiva scelta, la quale verrà dettagliata nelle pagine successive attraverso sezioni che mostrano le stratigrafie dei punti cruciali del progetto.

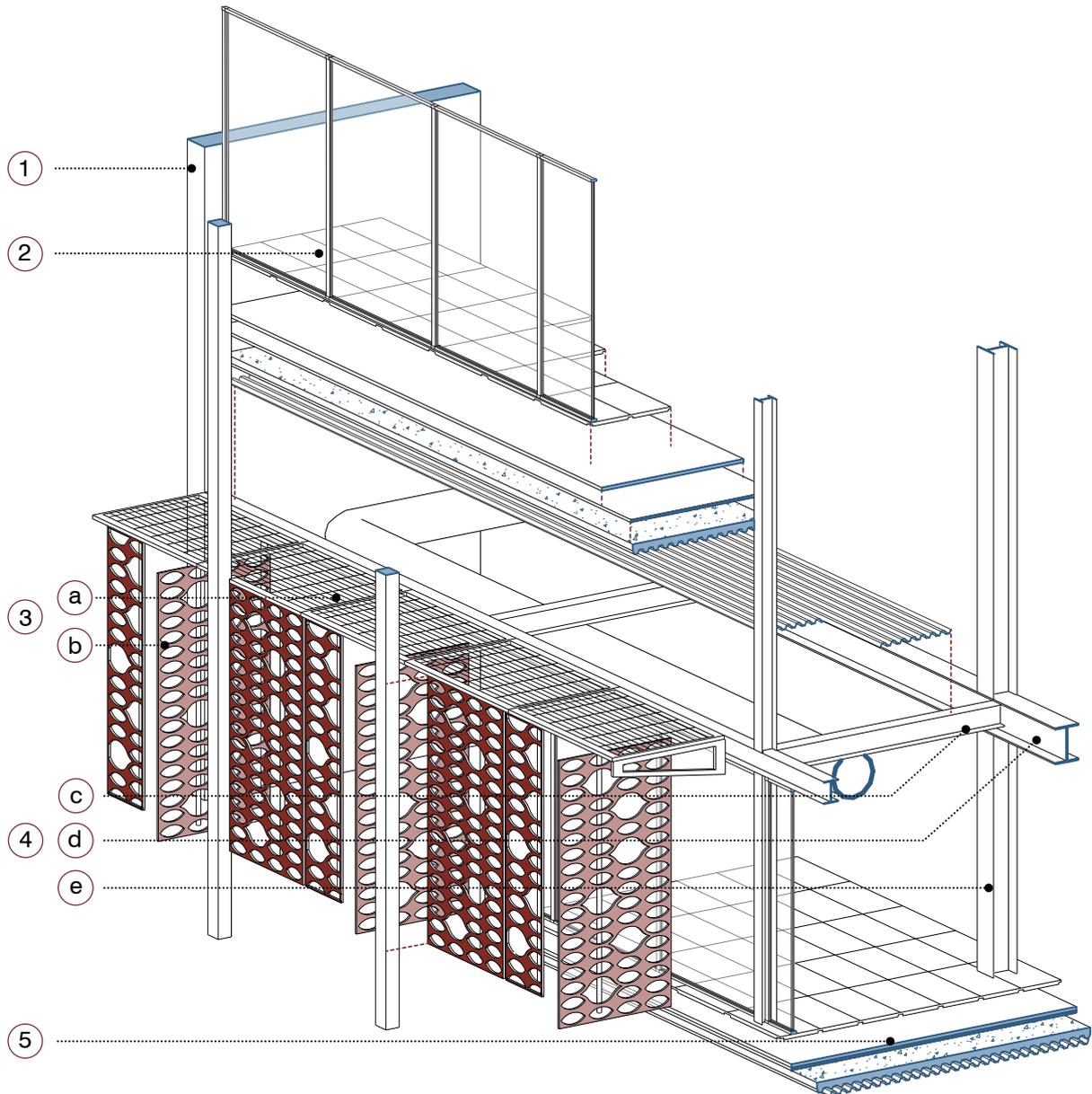


Figura 35: Esploso assometrico della struttura.

- |                                    |                            |
|------------------------------------|----------------------------|
| ① Parete strutturale in cls armato | ④ Struttura portante       |
| ② Facciata a tutto vetro           | ⑤ Trave secondaria HEA 300 |
| ③ Chiusura esterna                 | ⑥ Trave primaria HEA 490   |
| ⑦ Griglia metallica di pavimento   | ⑦ Pilastro HEA 490         |
| ⑧ Pannello frangisole              | ⑧ Solaio                   |

- ② Facciata a tutto vetro
  - Profili portanti in acciaio con taglio termico (50mm)
  - Triplo vetro (44mm)
  
- ③ Chiusura (da sinistra a destra)
  - Frangisole metallico forato con cornice (15mm)
  - Perno in acciaio per apertura (Ø 30mm)
  - Griglia metallica di pavimento (50mm)
  
- ⑤ Solaio interpiano (dal basso)
  - Trave HEA 300 (280mm)
  - Lamiera grecata e massetto in cls armato (70mm)
  - Isolante EPS con grafite (80mm)
  - Mat fonoisolante (15mm)
  - Massetto di allettamento (50mm)
  - Pavimento (20mm)

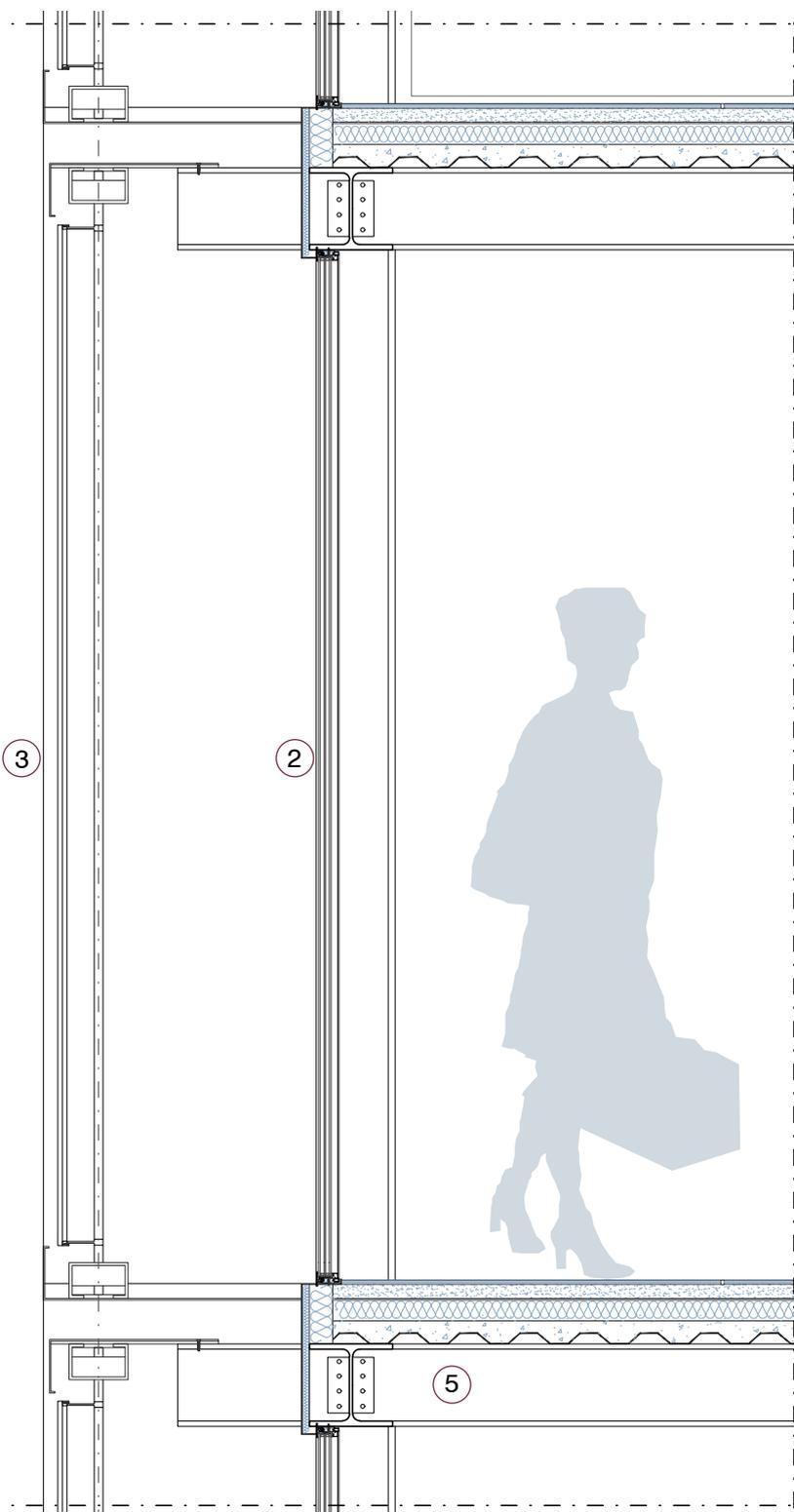


Figura 36: Dettaglio in scala 1:25 del solaio interpiano e della chiusura verticale

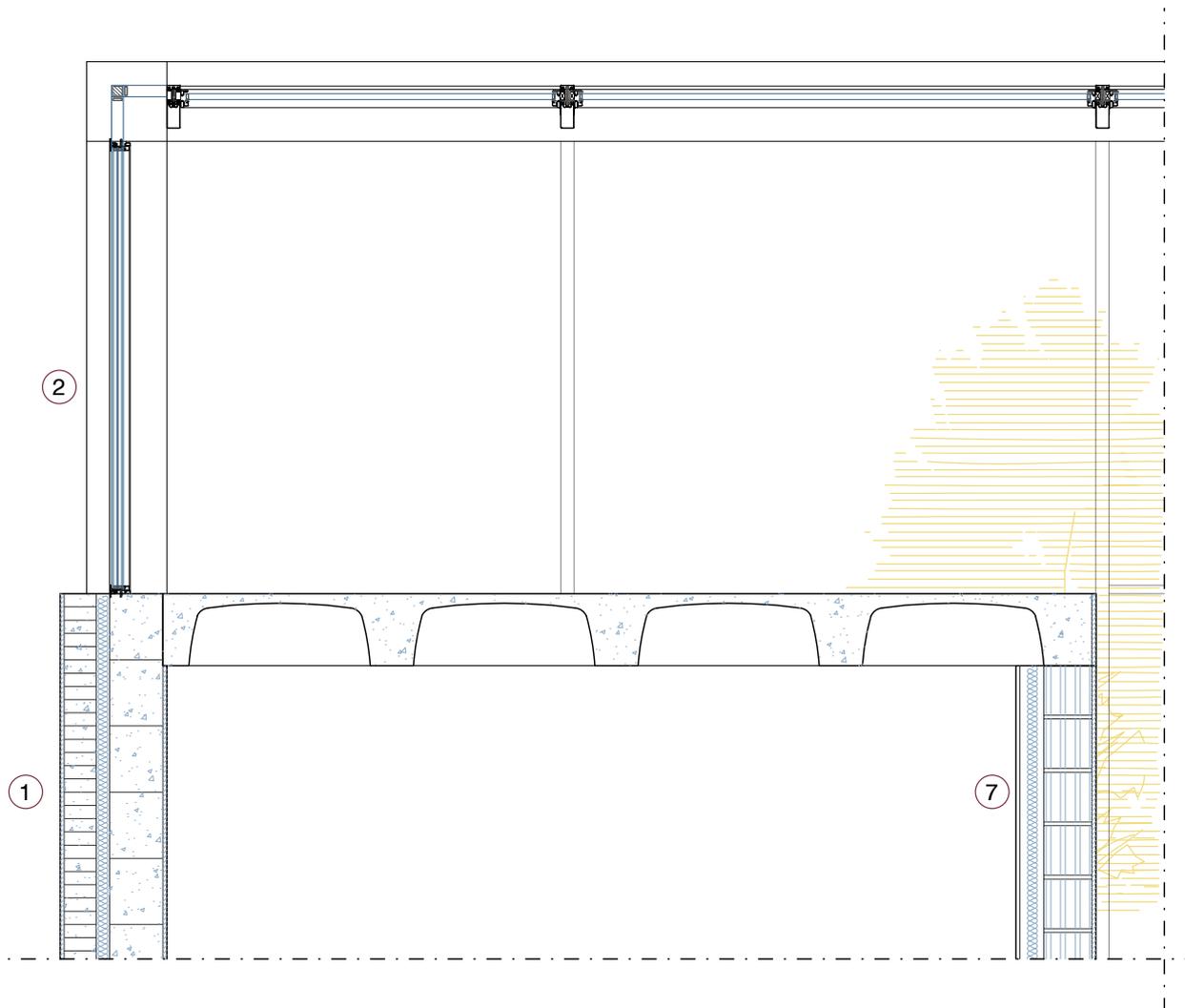


Figura 37: Dettaglio della *medianera*, della serra e della parete divisoria opaca.

- ① Parete strutturale "*medianera*" (da sinistra)
  - Intonaco esterno (20mm)
  - Blocchi in cls autoclavato (120mm)
  - Isolante EPS con grafite + membrana impermeabilizzante (51mm)
  - Blocchi in cls di argilla espansa (200mm)
  - Intonaco interno (20mm)
- ② Facciata tutto vetro (vedi pag 91)
- ⑦ Divisorio opaco portante (da sinistra)
  - Pannello OSB (11mm)
  - Isolante EPS con grafite (90mm)
  - Laterizi forati (180mm)
  - Intonaco interno (20mm)

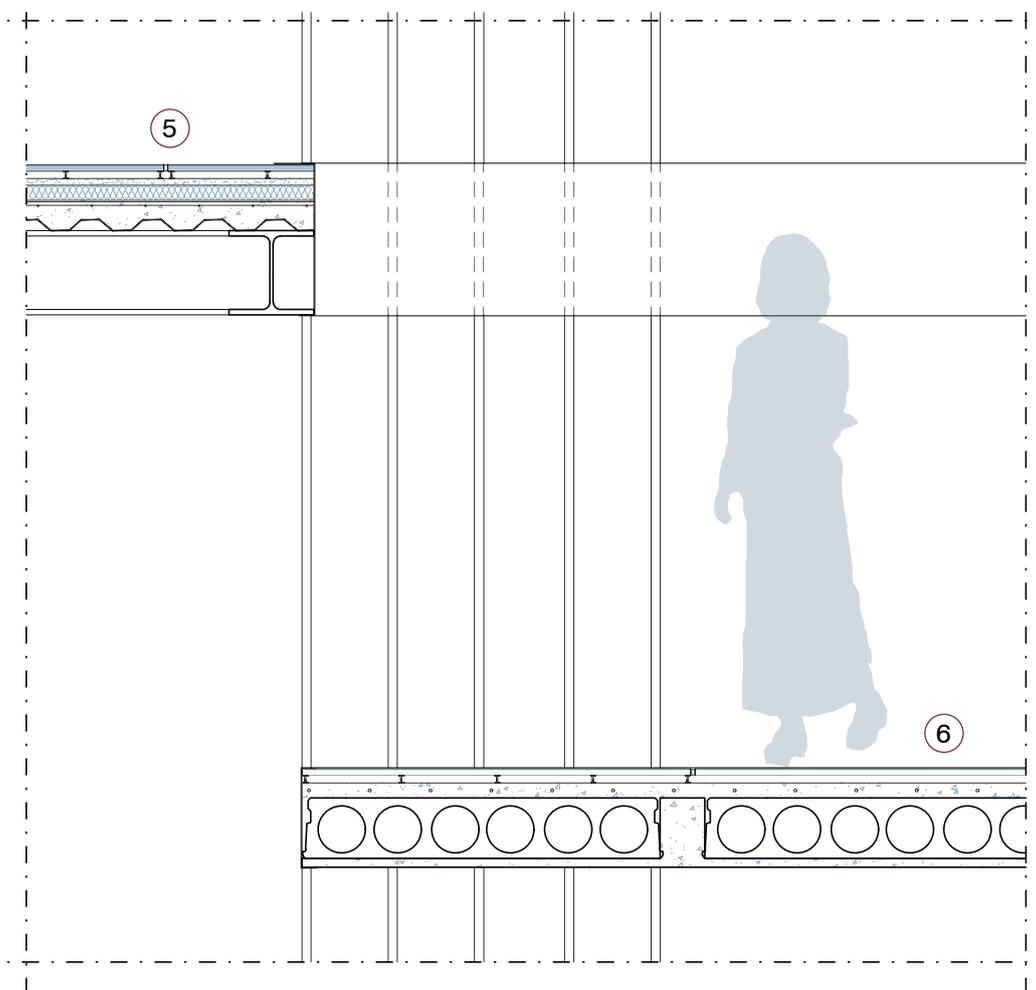


Figura 38: Dettaglio in scala 1:25 del petalo centrale.

- ⑤ Solaio interpiano (vedi pag 91)
- ⑥ Solaio interpiano "petalo" (dal basso)
  - Cls precompresso alleggerito (280mm)
  - Pavimento sopraelevato (28mm +  
piedini da 25mm)
  - Tiranti in acciaio (Ø30mm)

## 4.4 Ipotesi di partizione interna

Avendo dunque la documentazione dettagliata del progetto, si può notare che l'edificio è stato pensato per poter essere affittato a diversi soggetti, e non presenta quindi degli spazi ufficio prestabiliti dal progettista.<sup>34</sup>

Risulta quindi utile la formulazione di un'ipotesi di partizione interna di un piano, supponendo che sia diviso in 6 moduli di uffici appartenenti ad una stessa società, con un numero di occupanti pari a circa 50 persone per piano.

Per rispettare la logica di trasparenza dell'intero edificio, verranno utilizzate delle pareti divisorie vetrate autoportanti, come mostra la figura 39: si sostituisce quindi il sistema di tendaggi, previsto dalla prima proposta progettuale, con un materiale all'apparenza più rigido, ma che presenta invece un'elevata flessibilità per quanto riguarda le forme.

Il sistema scelto permette infatti di avere un telaio perimetrale ed i moduli vetrati giuntati a vista, garantendo leggerezza visiva; inoltre, si utilizzano vetri ad alte prestazioni acustiche da laboratorio, dei quali andrà verificato il potere fonoisolante in opera.

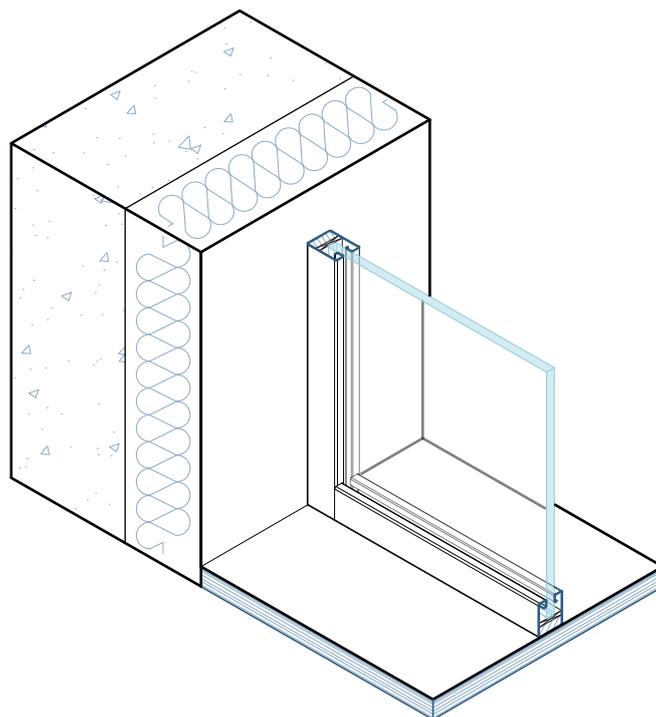


Figura 39: Dettaglio in scala 1:10 dell'attacco a terra e a muro della parete divisoria vetrata autoportante.

---

<sup>34</sup> In Argentina è molto diffusa la tipologia della *torre de oficinas*, un edificio per uffici che presenta solo i nuclei di circolazione e una hall principale disegnata dal progettista. Ciò lascia la possibilità al proprietario di affittare anche solo una metà di un piano, oltre a permettere ad ogni società affittataria di suddividere gli spazi rispettando la propria *brand image*.

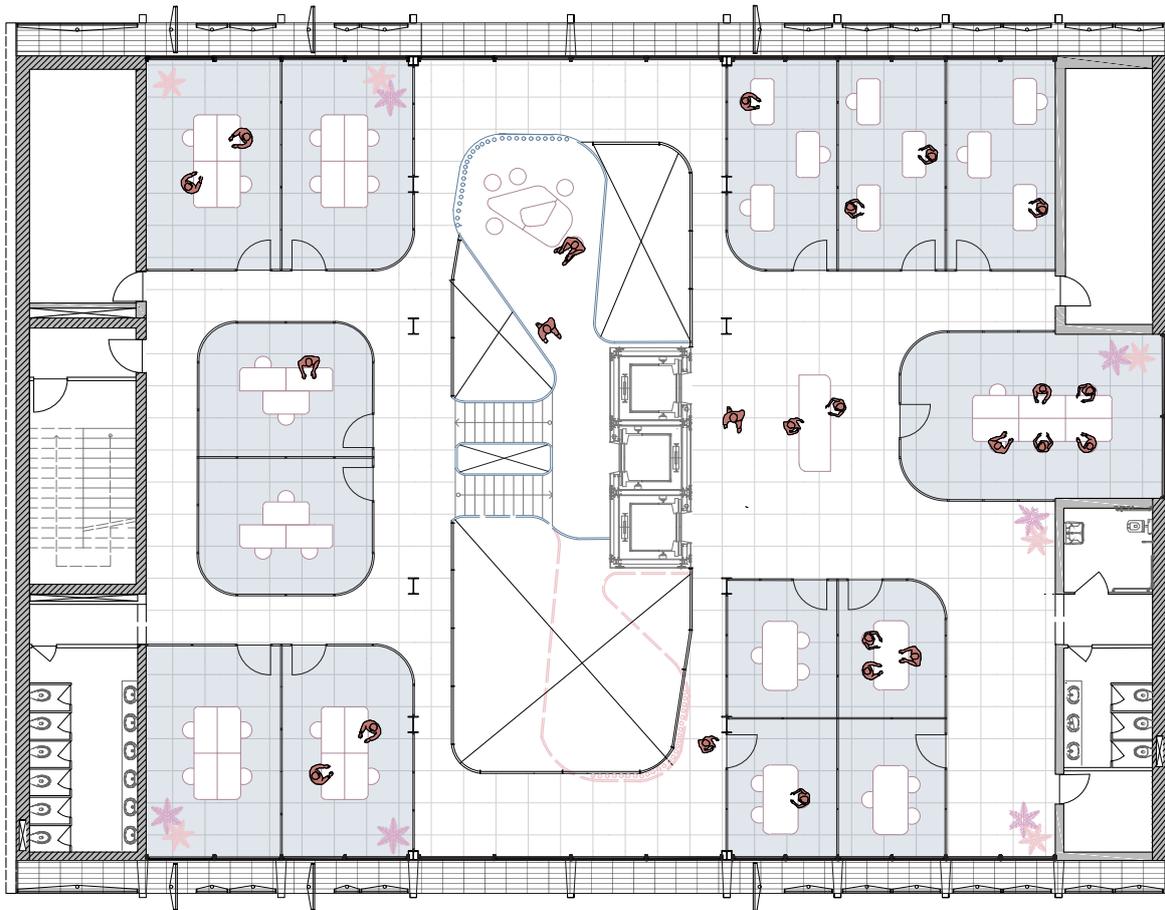


Figura 40: Pianta tipo con divisione in uffici, scala 1:200.

# 5

## Calcolo delle prestazioni dell'edificio

## 5. Calcolo delle prestazioni dell'edificio

Giungiamo quindi all'applicazione pratica dei concetti illustrati nei capitoli 2 e 3, per comprendere le eventuali differenze del comportamento acustico e termico dello stesso edificio, nel momento in cui viene costruito in Argentina o in Italia.

Andremo inoltre a verificare se le stratigrafie proposte in fase progettuale rispettano i limiti di legge in entrambi i Paesi, ed eventualmente a proporre modifiche nella scelta dei materiali o nelle soluzioni compositive dell'edificio.

È importante puntualizzare che i due modelli di calcolo presentano come unica differenza tra di loro la composizione del solaio interpiano poiché, nonostante la proposta originale sia quella di utilizzare una struttura in acciaio, ci sarebbero dei problemi per la sua effettiva realizzazione in Argentina<sup>35</sup>. Viene pertanto sostituito lo strato delle travi HEA con uno di calcestruzzo alleggerito, rispettando però gli spessori stabiliti inizialmente: ciò andrà a comportare alcune differenze prestazionali che vedremo nei prossimi paragrafi.

Per quanto riguarda le prestazioni energetiche, i due modelli saranno implementati nel software Etiquetado de Viviendas per l'Argentina ed in un foglio di calcolo excel impostato secondo la UNI/TS 11300-1 per l'Italia, per calcolare la trasmittanza degli elementi costruttivi e il fabbisogno ideale di energia primaria del solo involucro.

Per l'acustica invece, non avendo un software argentino di riferimento, verrà utilizzato unicamente ECHO 8.1, per ottenere potere fonoisolante apparente dei divisori, l'isolamento acustico di facciata ed il livello di rumore da calpestio.

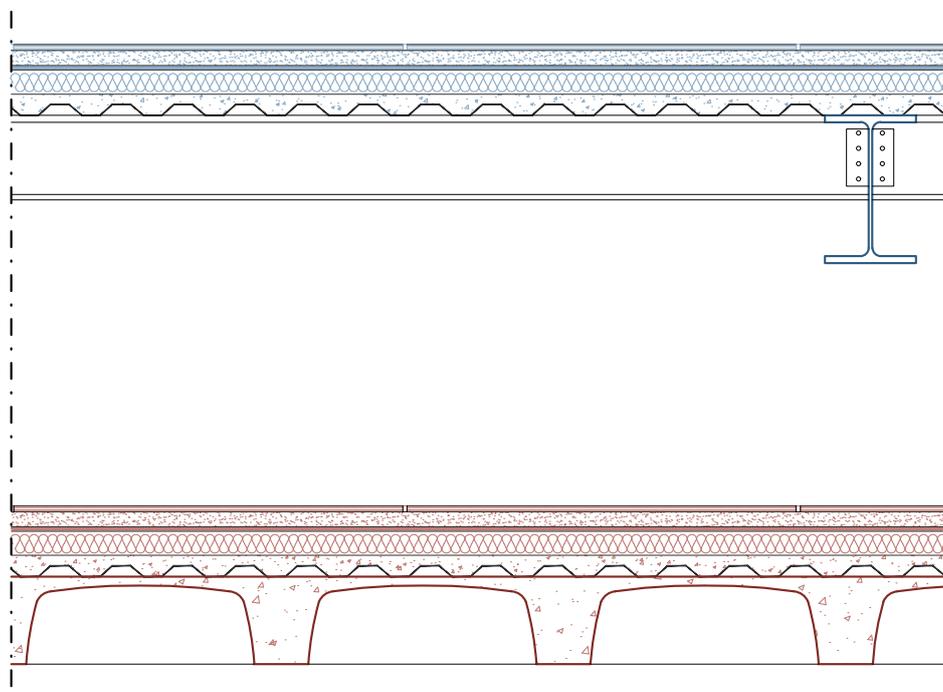


Figura 41: Stratigrafie delle due versioni di solaio utilizzate per i calcoli.

<sup>35</sup> Vedi nota 33, pag 90.

## **5.1 Energia**

## 5.1.1 Modello argentino

Il Governo della Città di Buenos Aires fornisce a tutti i liberi professionisti del campo edilizio il software online Etiquetado de Viviendas, che permette di effettuare la valutazione dell'efficienza energetica di un edificio costruito in qualsiasi zona del paese, oppure di prevedere la classe di appartenenza di un progetto in costruzione.

Innanzitutto si identificano le zone termiche: si analizza in primo luogo l'opzione di un piano tipo singolo, che corrisponde ad un'unica zona termica; successivamente si considera tutta la porzione terminale dell'edificio (piani 5 - 8), per la quale individuamo quattro diverse zone termiche, nonostante la stessa temperatura interna di mandata.

Si passa quindi alla definizione degli ambienti e degli elementi costruttivi, come mostrato in figura 42: in azzurro sono indicati gli elementi confinanti con l'ambiente esterno, mentre in bordeaux le pareti divisorie interne.

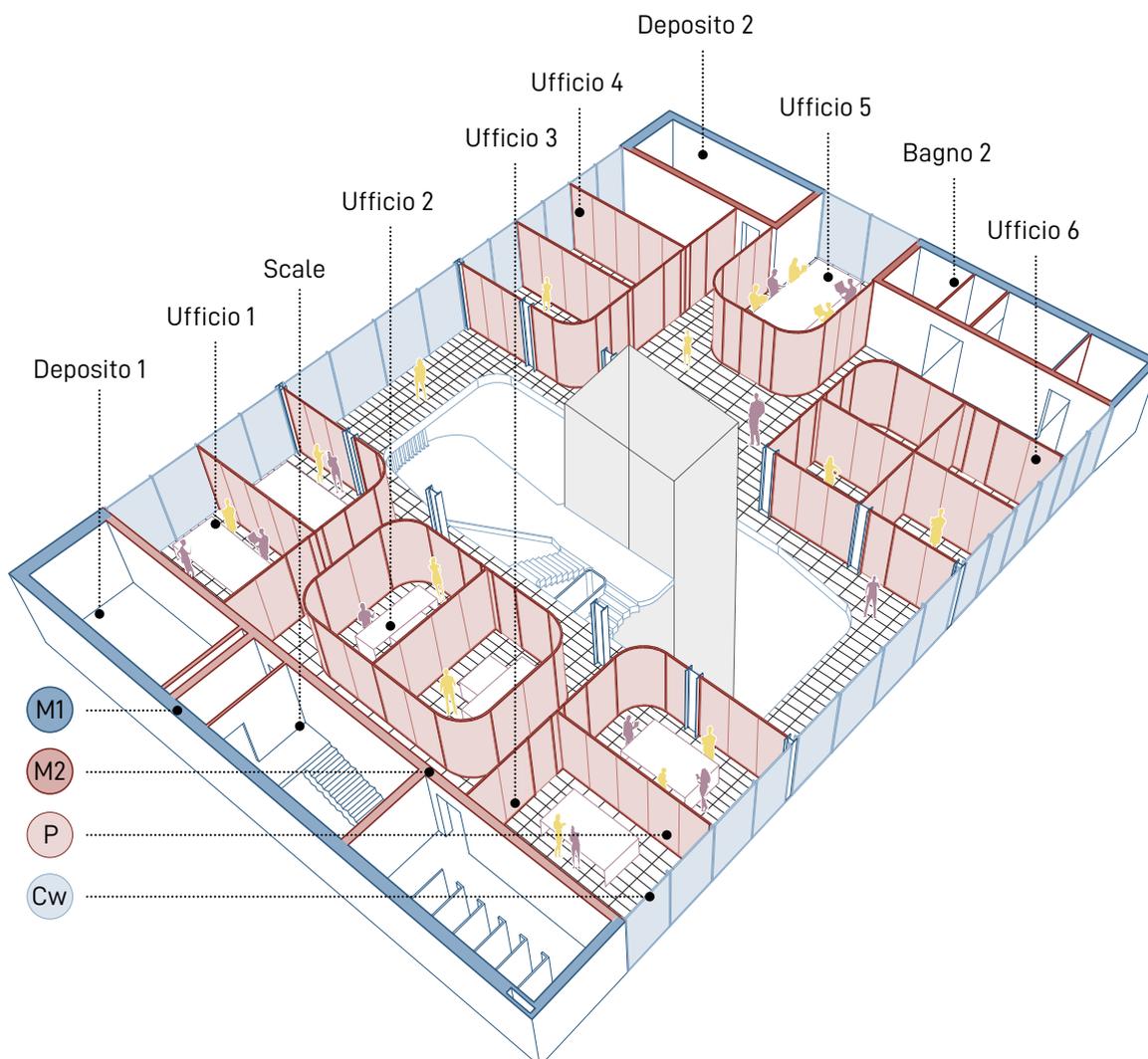


Figura 42: Spaccato assometrico di un piano tipo (Zona termica 1).

Gli uffici vengono considerati come ambienti climatizzati, dove occorre mantenere una temperatura interna di 22°C, mentre per bagni e zone di circolazione si può considerare anche una temperatura differente scelta dal progettista. Gli unici ambienti interni non climatizzati sono i due depositi e le scale di emergenza.

Per l'opzione piano singolo, i solai sono entrambi interpiano, pertanto confinanti con ambienti climatizzati alla stessa temperatura.

In tabella 31 sono riportati i valori di trasmittanza termica media raggiunta dai vari elementi, oltre al fabbisogno di energia primaria del piano tipo secondo quanto risulta da Etiquetado de Viviendas.

Parametro	Valore calcolato	
Trasmittanza termica media ( $K_m$ )	Pareti	0,24 W/m <sup>2</sup> K
	Copertura	-
	Solaio	-
	Serramenti	1,72 W/m <sup>2</sup> K
Superficie climatizzata	621,88 m <sup>2</sup>	
Altezza interpiano	3,50 m	
Rapporto S/V	0,93 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Fattore di scambio termico medio ( $b_{tr}$ )	0,23	
Fabbisogno di energia primaria	Riscaldamento ( $E_{Pl}$ )	10844 kWh o 17,44 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento ( $E_{PV}$ )	13953 kWh o 22,44 kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 31: Prospetto riassuntivo dei parametri calcolati per il piano tipo.

Si può notare come la trasmittanza delle pareti e quella dei serramenti rispettino i limiti indicati nel paragrafo 2.3, ma anche come il fabbisogno di energia per il raffrescamento sia più alto rispetto a quello del riscaldamento, nonostante la temperatura interna di riferimento costante pari a 22°C.

L'opzione dell'intero blocco uffici prevede tre zone termiche equivalenti, costituite dalla sovrapposizione di tre piani tipo, ed una che differisce dalle altre per la presenza della serra, che occupa metà della superficie utile: nonostante quest'ultima abbia in realtà degli apporti positivi sulla climatizzazione dell'edificio, si ipotizza che sia un semplice ambiente non riscaldato <sup>36</sup>.

Abbiamo quindi, come nella precedente assonometria, in azzurro gli elementi disperdenti verso l'esterno e in bordeaux quelli confinanti con l'ambiente interno.

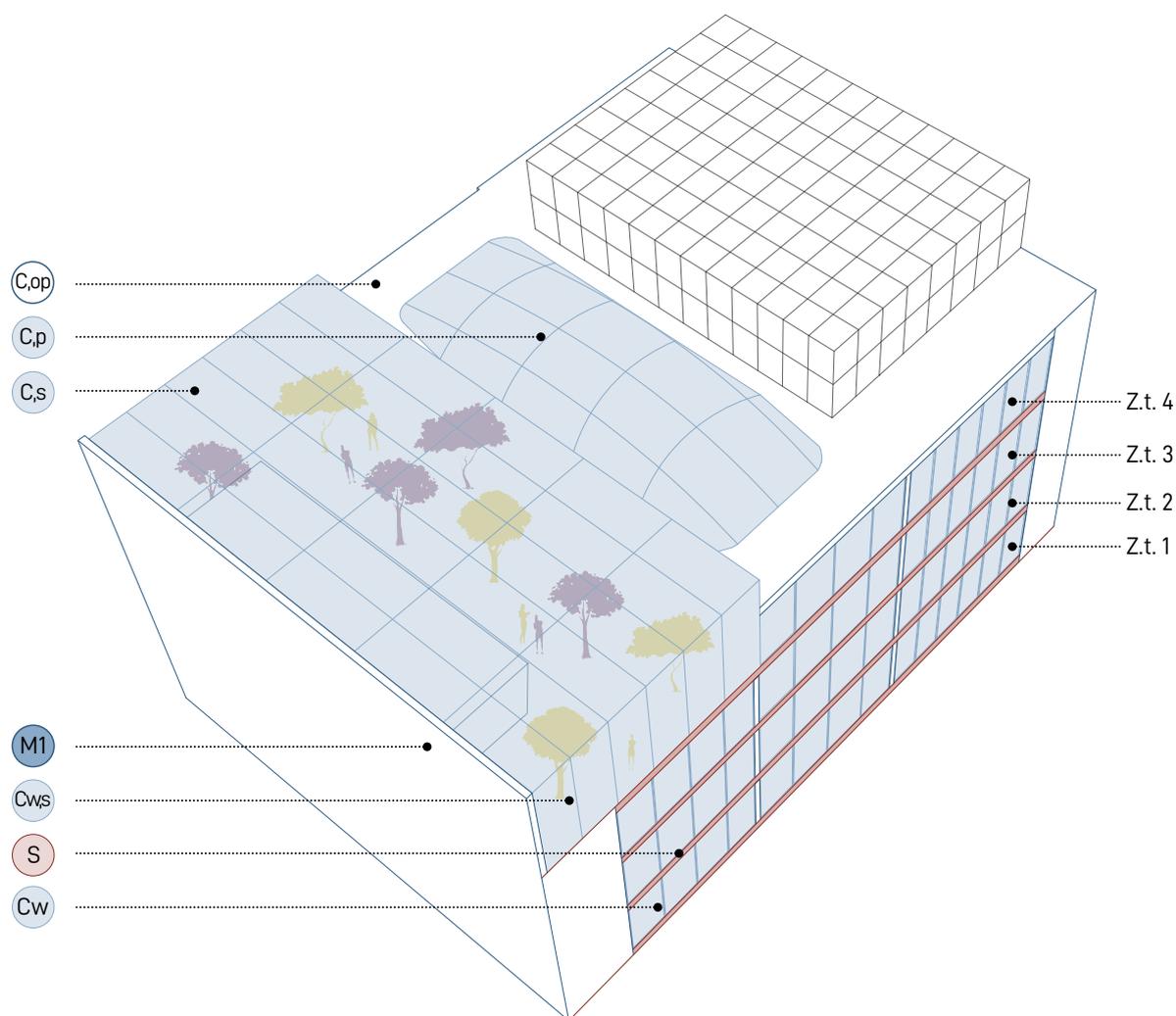


Figura 43: Vista assonometrica della parte terminale dell'edificio.

<sup>36</sup> Tutti i calcoli sono stati effettuati sull'ipotesi più sfavorevole, pertanto non si considera l'influenza né della serra, né dei pannelli oscuranti in facciata. [ndr]

In un primo momento si potrebbe supporre che il fabbisogno complessivo possa essere dato dalla moltiplicazione dell'energia richiesta per un piano solo, ma in realtà bisogna tener conto del fatto che, sovrapponendo ambienti riscaldati alla stessa temperatura, ciascuno ha un apporto positivo sul totale. Il risultato totale però risulta pesantemente influenzato dall'ultimo piano, il quale da solo richiede quasi la metà della quota di energia primaria totale.

Per il raffrescamento invece, nonostante l'involucro sia per la maggior parte trasparente, abbiamo un fabbisogno di energia primaria di poco superiore al piano singolo, se rapportiamo il risultato alla superficie climatizzata, e di gran lunga inferiore a quello per il riscaldamento.

Notiamo però che la trasmittanza della copertura ha un valore più elevato rispetto a quanto raccomandato dalla normativa per raggiungere il Livello A: ciò accade perché il software restituisce come risultato la trasmittanza media di tutti gli elementi che compongono la copertura, e la superficie vetrata ne costituisce quasi la metà.

Se dovessimo pertanto considerare la trasmittanza dell'ultimo solaio opaco, avremmo come valore  $K_{\text{techo}} = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ , trovandoci dentro i limiti imposti sia per le coperture che per i solai.

Va inoltre precisato che il software non calcola la trasmittanza del solaio nel momento in cui è un interpiano confinante con un ambiente riscaldato, come prevede il caso studio, ma che utilizzando il foglio di calcolo italiano con i dati delle schede tecniche locali si ottiene  $K_{\text{piso}} = 0,36 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Parametro	Valore calcolato	
Trasmittanza termica media ( $K_m$ )	Pareti	0,24 W/m <sup>2</sup> K
	Copertura	0,48 W/m <sup>2</sup> K
	Solaio	0,36 W/m <sup>2</sup> K
	Serramenti	1,72 W/m <sup>2</sup> K
Superficie climatizzata	2447,65 m <sup>2</sup>	
Altezza interpiano	3,50 m	
Rapporto S/V	0,91 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Fattore di scambio termico medio ( $b_{tr}$ )	0,57	
Fabbisogno di energia primaria	Riscaldamento ( $E_{pl}$ )	144478 kWh o 58,52 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento ( $E_{pv}$ )	74838 kWh o 30,31 kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 32: Prospetto riassuntivo dei parametri calcolati per il blocco uffici con copertura.

## 5.1.2 Modello italiano

Il modello di calcolo italiano si rifà a formule e parametri indicati nella norma UNI/TS 11300-1:2014, come spiegato nel paragrafo 2.2.3, ed utilizza lo stesso edificio di riferimento illustrato nel capitolo 4, con la suddivisione interna e le due ipotesi presentate nel paragrafo precedente. È inoltre stata usata l'accortezza di considerare la facciata nord e quella sud secondo l'orientamento favorevole nel nostro emisfero.

Viene effettuata un'ulteriore approssimazione, per raggiungere una certa veridicità del risultato: come già detto in precedenza, se Buenos Aires si trovasse sul territorio italiano, corrisponderebbe alla città di Napoli. Ovviamente ciò non tiene conto delle differenze tra il clima mediterraneo e quello temperato umido, però ci permette di verificare se l'ipotesi progettuale prevista potrebbe essere applicabile anche nel nostro Paese.

In tabella 33 vengono riportati i valori di trasmittanza termica e fabbisogno energetico del piano tipo, mentre in tabella 34 quelli del blocco uffici; come già detto, per entrambi i casi valgono le opzioni illustrate in figura 42 e 43.

Parametro	Valore calcolato	
Trasmittanza termica (U)	Pareti esterne	0,37 W/m <sup>2</sup> K
	Copertura	-
	Solaio	0,30 W/m <sup>2</sup> K
	Serramenti	1,10 W/m <sup>2</sup> K
Superficie climatizzata	645 m <sup>2</sup>	
Altezza interpiano	3,50 m	
Rapporto S/V	0,66 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Fabbisogno di energia primaria	Riscaldamento (Q <sub>H</sub> )	7708,61 kWh o 11,95 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento (Q <sub>C</sub> )	34180,83 kWh o 52,99 kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 33: Prospetto riassuntivo dei parametri calcolati per il piano tipo.

Parametro	Valore calcolato	
Trasmittanza termica (U)	Pareti esterne	0,37 W/m <sup>2</sup> K
	Copertura	0,31 W/m <sup>2</sup> K
	Solaio	0,30 W/m <sup>2</sup> K
	Serramenti	1,10 W/m <sup>2</sup> K
Superficie climatizzata	2545 m <sup>2</sup>	
Altezza interpiano	3,50 m	
Rapporto S/V	0,69 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	
Fabbisogno di energia primaria	Riscaldamento (Q <sub>H</sub> )	43336,39 kWh o 17,03 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento (Q <sub>C</sub> )	106024,44 kWh o 41,66 kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 34: Prospetto riassuntivo dei parametri calcolati per il blocco uffici.

Si osserva, come nel caso argentino, che il fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento è nettamente superiore a quello per il riscaldamento, nonostante in questo caso siano considerate due diverse temperature dell'ambiente interno (26°C per il periodo estivo e 20°C per l'invernale).

Per quanto riguarda la trasmittanza dei componenti edilizi, i limiti di legge non vengono rispettati solo dalle pareti perimetrali esterne: ciò è dovuto alla particolare stratigrafia utilizzata per la *medianera*, che non può presentare un cappotto esterno.

Il problema si può risolvere utilizzando un termointonaco a base di vetro espanso, che abbasserebbe la trasmittanza del componente a  $U_{\text{pareti}} = 0,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### 5.1.3 Confronto dei risultati

Giungiamo quindi al confronto dei valori ottenuti dal calcolo, partendo dalla trasmittanza termica. In tabella 35 sono riportati i valori corretti dopo le considerazioni fatte nei paragrafi precedenti: è utile ricordare che il software argentino restituisce il valore medio di trasmittanza di tutti gli elementi identificabili come pareti, coperture o solai, mentre nel foglio di calcolo italiano è possibile conoscere suddetto valore per ogni singolo elemento.

Elementi	Argentina	Italia
Pareti	0,24 W/m <sup>2</sup> K	0,33 W/m <sup>2</sup> K
Copertura	0,32 W/m <sup>2</sup> K	0,31 W/m <sup>2</sup> K
Solaio	0,36 W/m <sup>2</sup> K	0,30 W/m <sup>2</sup> K
Serramenti	1,72 W/m <sup>2</sup> K	1,10 W/m <sup>2</sup> K

Tabella 35: Tabella comparativa dei valori di trasmittanza termica.

Per Etiquetado de Viviendas esistono alcune soluzioni costruttive già presenti nei database, con i dati dei materiali forniti dai produttori locali. È però possibile creare nuovi elementi a partire dagli strati esistenti o inserendo le loro proprietà fisiche (massa volumica, calore specifico e conducibilità termica): il calcolo della prestazione dell'intero componente viene lasciato in questo caso al progettista.

Anche per il foglio di calcolo italiano è possibile inserire manualmente tutte le proprietà termiche dei materiali, secondo i dati forniti dalle schede tecniche selezionate, ma il calcolo viene effettuato automaticamente dal software.

Si può intuire dunque che la causa delle differenze è principalmente data dalle proprietà dei materiali da costruzione disponibili in ciascun Paese, anche se in entrambi i casi rispetteremo i requisiti minimi.

Passando quindi al calcolo del fabbisogno di energia primaria, utilizziamo per il confronto solo i valori già rapportati alla superficie utile di pavimento.

Ipotesi di calcolo	Fabbisogno di energia primaria	Argentina (Buenos Aires)	Italia (Napoli)
Piano tipo singolo	Riscaldamento	17,44 kWh/m <sup>2</sup>	11,95 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento	22,44 kWh/m <sup>2</sup>	52,99 kWh/m <sup>2</sup>
Blocco uffici	Riscaldamento	58,52 kWh/m <sup>2</sup>	17,03 kWh/m <sup>2</sup>
	Raffrescamento	30,31 kWh/m <sup>2</sup>	41,66 kWh/m <sup>2</sup>

Tabella 36: Tabella comparativa del fabbisogno di energia primaria dell'edificio.

Per quanto riguarda il riscaldamento, notiamo indicativamente lo stesso ordine di grandezza dei valori ottenuti per Buenos Aires e Napoli quando parliamo del piano singolo, mentre per il blocco uffici la differenza tra i due valori aumenta, essendo il fabbisogno argentino pari quasi al triplo di quello italiano. Nonostante la temperatura interna di comfort sia per entrambi pari a 26°C, abbiamo una temperatura esterna di progetto pari a 8°C per l'Argentina e 2°C per l'Italia: teoricamente il  $\Delta t$  è maggiore in nel secondo caso, il che porterebbe ad aspettarsi un valore più elevato per il fabbisogno Italiano.

Per il raffrescamento invece, i valori italiani risultano più alti di quelli argentini nonostante il  $\Delta t$  sia inferiore: secondo i dati climatici forniti dalla UNI 10349-1:2016, la temperatura media mensile massima raggiunta a Napoli è pari a 25,6°C mentre la temperatura esterna di progetto massima per Buenos Aires è di 32,5°C<sup>37</sup>. Per raggiungere pertanto una temperatura interna di 26°C dovremmo avere un fabbisogno di energia maggiore per Buenos Aires, mentre si presenta la situazione opposta: per il piano singolo il fabbisogno italiano corrisponde al doppio di quello argentino; per il blocco uffici il gap diminuisce, ma rimane comunque più elevato il valore italiano.

Nonostante i limiti della norma IRAM 11604, esposti nel paragrafo 2.1.3, in realtà per il calcolo dell'Indice di Prestazione Energetica, alla base del software Etiquetado de Viviendas, si fa riferimento alla UNI/TS 11300-1, nella sua versione del 2008: come si spiegano pertanto i risultati ottenuti?

In primo luogo si può considerare la destinazione d'uso: Etiquetado de Viviendas, come esprime già il suo nome, effettua una valutazione su edifici residenziali, mentre nel foglio di calcolo italiano è possibile inserire qualsiasi categoria contemplata dal D.P.R. n°412/1993.

Ciò comporta degli apporti interni leggermente diversi, come si può osservare nei prospetti 14 e 15 della norma UNI/TS 11300-1:2014.

In secondo luogo, si può affermare che oltre a questi, anche il flusso di ventilazione ha un forte peso sul risultato finale. Analizzando, infatti, i dati relativi all'utenza ed i parametri gestionali utilizzati dai due software emerge che la portata mediata sul tempo del flusso d'aria,  $q_{ve,mn}$ , da normativa italiana viene considerata pari a 750 m<sup>3</sup>/h, mentre per il software argentino il calcolo automatico restituisce  $q_{ve} = 3733$  m<sup>3</sup>/h.

Tale grande differenza, assieme ai dati climatici (temperatura media mensile ed irraggiamento solare globale giornaliero medio mensile), conduce ai risultati tanto discostanti riportati in tabella 36.

Come controprova di questa ipotesi, dopo aver inserito nel foglio di calcolo italiano i dati climatici ed il flusso di ventilazione argentini, si ottengono dei risultati più in linea con il modello costruito a Napoli.

---

<sup>37</sup> Dato ricavato dalla norma IRAM 11603/1996, si consulti la tabella 2 a pag. 15.

## 5.2 Acustica

## 5.2.1 Modello argentino

Come anticipato nell'introduzione del capitolo, per il calcolo delle prestazioni acustiche si utilizza come unico software ECHO 8.1<sup>38</sup>, ma si verificano i due modelli alternativi di solaio, come è stato fatto per le prestazioni termiche.

Si prende in considerazione per il calcolo dei parametri un ufficio tipo, posizionato nell'area meno favorevole del piano, come mostra la figura 44.

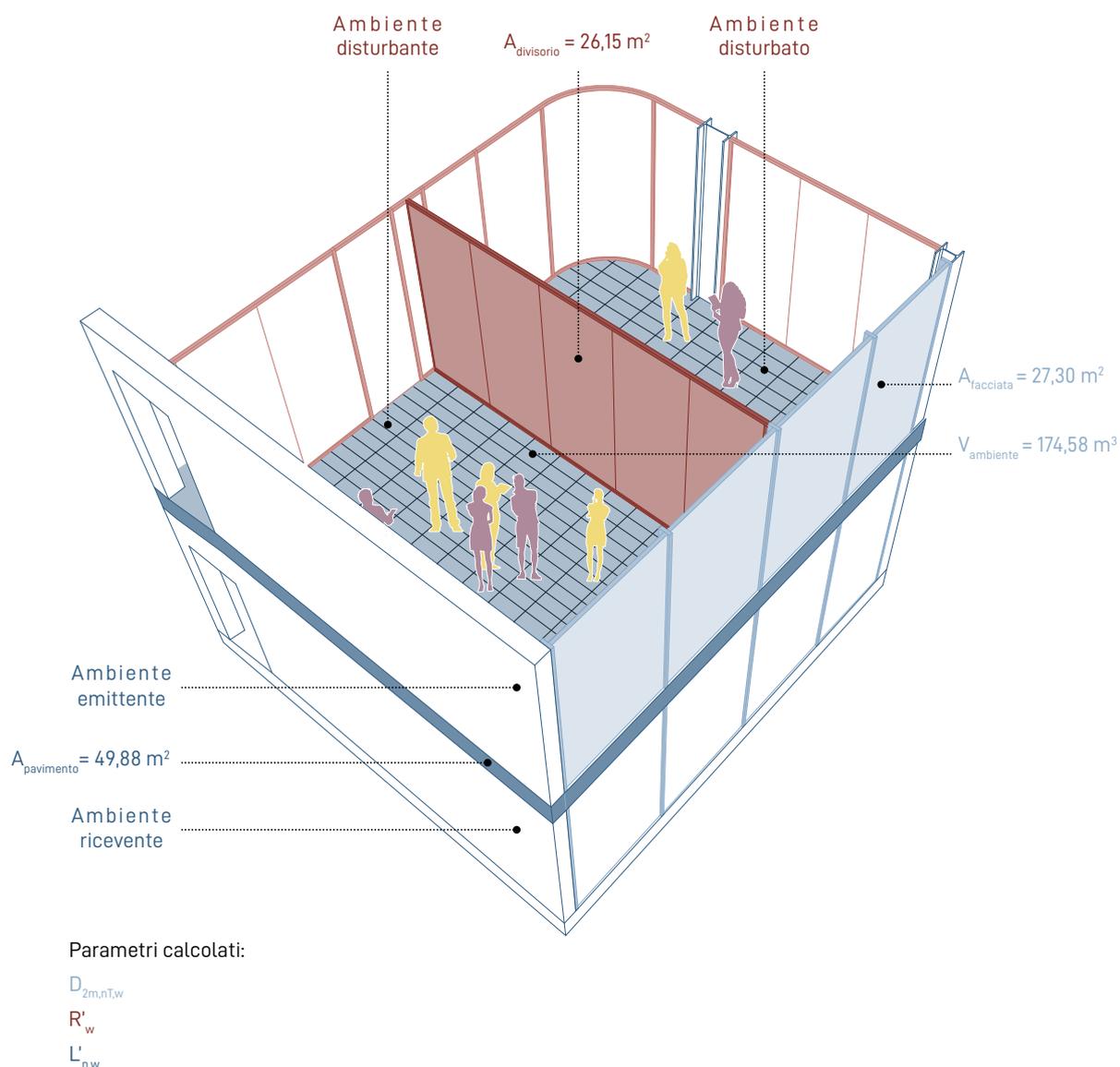


Figura 44: Spaccato assometrico della porzione di edificio considerata, corrispondente all'ufficio 3.

<sup>38</sup> ECHO è un software ANIT (Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico) che analizza i requisiti acustici passivi degli edifici secondo il D.P.C.M. 5/12/97, la classe acustica delle unità immobiliari e le caratteristiche acustiche interne degli ambienti confinati. I modelli di calcolo si basano sulle norme UNI EN ISO 12354:2017, UNI/TR 11175 e UNI 11367 e i calcoli vengono eseguiti per indice di valutazione (vedi paragrafo 3.1.2 e successivi). [da "www.anit.it/software-anit/", consultato in data 15/07/2020]

Per il modello argentino sia la facciata che i divisori corrispondono alle stratigrafie illustrate nel capitolo 4, mentre per il solaio si sostituisce lo strato corrispondente alle travi HEA con uno di ugual spessore in calcestruzzo armato.

La tabella 37 riporta i valori così ottenuti.

Indice di valutazione	Valore calcolato	Scala corrispondente
Potere fonoisolante apparente dei divisori $R'_{w}$	47,2 dB	Scala I ( $\geq 42$ dB)
Isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$	44,3 dB	Scala II ( $\geq 42$ dB)
Livello di rumore da calpestio $L'_{n,w}$	44,3 dB	Scala I ( $\leq 53$ dB)

Tabella 37: Prospetto riassuntivo degli indici calcolati per l'ufficio tipo.

La presenza di due scale di efficienza implica un range di validità più ampio per la soluzione scelta, ma allo stesso tempo dei limiti più restrittivi se si vuole adempiere alle prescrizioni della Scala II.

In questo caso, se si volesse migliorare la prestazione degli elementi e passare alla scala successiva, si potrebbe aumentare lo spessore dello strato resiliente nel caso del solaio, e scegliere un altro tipo di materiale per i divisori.

## 5.2.2 Modello italiano

Per il modello italiano si analizza lo stesso ufficio però con il solaio dalla struttura in acciaio.

Indice di valutazione	Valore calcolato	Limite di legge
Potere fonoisolante apparente dei divisori $R'_w$	47,7 dB	$\geq 50$ dB
Isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$	45,3 dB	$\geq 42$ dB
Livello di rumore da calpestio $L'_{n,w}$	47,0 dB	$\leq 55$ dB

Tabella 38: Prospetto riassuntivo degli indici calcolati per l'ufficio tipo.

Si nota che la soluzione prevista con i divisori vetrati non rispetterebbe il limite di legge, nonostante la buona prestazione raggiungibile con un doppio vetro fonoisolante, che comporta però uno spessore, e quindi un peso, elevato per una parete interna.

Sostituendola invece con una parete leggera a singola orditura avremmo un potere fonoisolante apparente  $R'_w = 58,3$  dB. Il progettista si troverebbe quindi a dover scegliere se, per mantenere la linea stilistica del progetto, aumentare spessore e pesantezza della parete vetrata, oppure perdere la tanto ricercata trasparenza per rispettare i limiti di legge.

In realtà il problema non si pone, dal momento che il limite considerato fa riferimento a divisori tra ambienti appartenenti ad unità funzionali diverse, mentre trattandosi in questo caso della stessa unità non esistono limiti di potere fonoisolante apparente dei divisori: si potrebbe addirittura alleggerire il tipo di parete utilizzando un vetro a configurazione monolitica, che avrebbe comunque un  $R_w = 41$  dB, invece del  $R_w = 50$  dB della configurazione in vetrocamera: ciò abbasserebbe notevolmente il costo dell'intervento.

### 5.2.3 Confronto dei risultati

Andando quindi a confrontare i risultati ottenuti si possono notare delle differenze di prestazione, stavolta non imputabili a differenze di software.

Indice di valutazione	Argentina	Italia
Potere fonoisolante apparente dei divisori $R'_w$	47,2 dB	47,7 dB
Isolamento acustico di facciata $D_{2m,nT,w}$	44,3 dB	45,3 dB
Livello di rumore da calpestio $L'_{n,w}$	44,3 dB	47,0 dB

Tabella 39: Tabella comparativa degli indici calcolati.

La considerazione principale va fatta sui due tipi di solai analizzati, poiché la diversa densità della struttura portante è alla base della differenza consistente tra i due valori del livello di rumore da calpestio. Ciò ha una leggera influenza anche sul potere fonoisolante apparente dei divisori, poiché cambia l'entità delle trasmissioni laterali.

Per quanto riguarda l'isolamento acustico di facciata non avremmo invece differenze: il calcolo per entrambe è stato fatto considerando solo la porzione vetrata relativa all'ufficio 3, pertanto l'unico fattore fortemente condizionante è il potere fonoisolante da laboratorio del vetro selezionato, poiché la forma della facciata stessa non da apporti positivi.

In entrambi i casi avremmo però delle prestazioni ugualmente valide in entrambi i paesi.

# 6

## Conclusioni

## 6. Conclusioni

Dopo aver confrontato anche i risultati dei calcoli, si possono trarre delle conclusioni puntuali, le quali vogliono sia rispondere alle domande poste al principio di questo lavoro di tesi, sia creare una certa curiosità per i Paesi che spesso non vengono considerati nel dibattito internazionale.

Innanzitutto a livello normativo si può notare come, in linea di massima, le disposizioni date in Italia e in Argentina siano molto simili per gli aspetti di isolamento termico, sia a livello giuridico, per quanto riguarda il carattere di obbligatorietà, sia per formule utilizzate ed ordine di grandezza dei valori di riferimento. Per l'acustica invece, l'Argentina ha gettato le basi di una normativa tecnica che, pur non essendo obbligatoria, potrebbe garantire standard anche più elevati di quelli previsti in Italia se supportata da decreti o leggi.

Ovviamente non bisogna dimenticare che l'Argentina è una Repubblica Federale, pertanto ogni Provincia ha la propria legislazione, che regola in maniera autonoma gli aspetti relativi alla costruzione: ad esempio la Provincia de Buenos Aires (da non confondere con Capital Federal, che si trova al suo interno solo geograficamente) già dal 2003 ha stabilito le condizioni di isolamento termico minime per gli edifici sia pubblici che privati. Questo fa sì che esistano provvedimenti discordanti all'interno dello stesso territorio nazionale.

Bisognerebbe quindi effettuare un'intensa opera di sensibilizzazione, sia nei confronti dei costruttori (in primis), sia degli acquirenti, non solo per dare all'efficienza acustica un'importanza pari a quella termica, ma anche per cercare di cambiare un tipo di approccio all'investimento che privilegia la quantità rispetto alla qualità.

Tale approccio ha delle ripercussioni non trascurabili anche a livello di progettazione: se in Italia l'obbligatorietà dei requisiti di isolamento, tanto termico quanto acustico, ha reso una consuetudine il porre attenzione agli aspetti di sostenibilità degli edifici, in Argentina questo tipo di richiesta è relativamente recente, pertanto non ha ancora avuto molta diffusione.

È stato dimostrato come sia tecnicamente possibile raggiungere risultati ugualmente efficienti in entrambi i Paesi, seguendo le rispettive normative. Bisogna però tener conto della disponibilità dei materiali, delle soluzioni tecnologiche realmente realizzabili, e anche di alcuni fattori di natura socio-economica.

In Europa i materiali da costruzione hanno la stessa composizione di base, e quindi le stesse proprietà minime, per poter essere dichiarati conformi alla normativa: in America Latina, invece, non esiste un provvedimento normativo simile, quindi le prestazioni di ogni materiale dipendono molto dalla nazione in cui vengono prodotti e/o distribuiti. A questo proposito vengono poste in allegato come appendice alcune delle schede tecniche utilizzate per i calcoli.

Non è inoltre trascurabile nemmeno il peso economico di un progetto di questo tipo: i materiali che garantiscono le performance calcolate sono stati scelti in un'ottica rivolta al futuro, per garantire una vita utile dell'edificio più lunga, e nelle sue migliori condizioni. Ciò ha però un costo iniziale abbastanza elevato, il che costituisce molto spesso un ostacolo alla sua realizzazione effettiva, in Italia e a maggior ragione in un Paese in via di sviluppo come l'Argentina.

A mio avviso, bisognerebbe pertanto lavorare in maniera sinergica a livello nazionale Argentino, per permettere al potenziale già esistente di trasformarsi in risultati concreti per quanto riguarda i temi di sostenibilità ambientale e comfort degli utenti.

L'impulso verso un comportamento virtuoso può effettivamente provenire dall'alto, attraverso provvedimenti legislativi che impongano il rispetto delle indicazioni minime condivise a livello internazionale, e poi adattate alle varie realtà territoriali.

Ciò non significa però che il processo debba fermarsi lì: come già detto in precedenza, è fondamentale il contributo di tutti gli attori del processo di costruzione, perché non basta realizzare un'architettura "sostenibile", se poi questa non ha un mercato.

Pur sapendo che la situazione economica argentina non è così stabile da permettere a tutti di affrontare un investimento di una certa portata al momento di costruire, bisognerebbe puntare sul fatto che costruendo in maniera efficiente si possono ridurre le spese future, e quindi nel giro di pochi anni la cifra investita verrebbe non solo coperta, ma si potrebbero ridurre i consumi e i costi di manutenzione.

# 7

## Bibliografia

**Leggi e Norme:**

- Código Civil y Comercial de la República Argentina, Libro IV
- Código Urbanístico de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 31/03/2019
- Decreto Interministeriale 26/05/2015
- Decreto del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, n°740/2007
- Decreto Legislativo n°194/2005
- Decreto Legislativo n°42/2017
- Decreto Ministeriale 16/03/1998
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 14/11/1997
- Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 05/12/1997
- Decreto del Presidente della Repubblica n°412/1993
- Legge n°447/1995
- Ley 1540/2004
- Norma IRAM 11603/1996
- Norma IRAM 11605/1996
- Norma IRAM 11625/2000
- Norma IRAM 11630/2000
- Norma IRAM 11604/2001
- Norma IRAM 11601/2002
- Norma IRAM 4063-4/2002
- Norma IRAM 4043-1/2003
- Norma IRAM 4043-5/2003
- Norma IRAM 4063-7/2004
- Norma IRAM 11507-4/2010
- Norma IRAM 4044/2015
- Norma IRAM 11900/2017
- Norma UNI 10349-1:2016
- Norma UNI EN ISO 10140-4/2010
- Norma UNI EN ISO 717-1/2013
- Norma UNI EN ISO 717-2/2013
- Norma UNI EN ISO 16283-3/2016
- Norma UNI EN ISO 16283-1/2018

- Norma UNI/TR 11175/2005
- Norma UNI/TS 11300-1/2014
- Norma UNI/TS 11300-5/2016

### **Libri:**

- ABALOS I., 2000, *La buena vida. Visita guiada a las casas de la modernidad*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- BETHEA D., PARSONS K., 2002, *The development of a practical heat stress assessment methodology for use in UK industry*. , UK HSE Research Report 008. Her Majesty's Stationery Office. London. 16-17
- GROSSI GALLEGOS H. , RIGHINI R. , 2007, *Atlas de energía solar de la República Argentina*, Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales, Universidad Nacional de Lujan, Argentina.
- SOSA GRIFFIN M. E., 1999, *Ventilación natural efectiva y cuantificable - Confort térmico en climas cálidos-húmedos*. , Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Universidad Central de Venezuela. Gráficas León S.R.L., Caracas, Venezuela. 35-36.

### **Paper e Progetti:**

- AMARILLA B.C., 1989, *Los costos de mantenimiento de edificios en países en vías de desarrollo (The costs of building maintenance in developing countries)*, in "Informes de la Construcción", Vol. 41, n°404, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Publicado su Researchgate a Diciembre 2012.
- AMARILLA B.C., 1990, *Aspectos económicos del aislamiento acústico. (Economic aspects of soundproofing.)*, in "Informes de la Construcción", Vol. 42, n°410, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. Publicado su Researchgate a Diciembre 2012.
- ARCHIMEDE I., MATASSONI I., MISCHITELLI F., NERVO A., 2019, *SHLOW. Trabajo Final de Carrera* , Cátedra de Liliana Bonvecchi, Universidad de Belgrano, Buenos Aires.
- MACHIMBARRENA M., RASMUSSEN B., ALVES MONTEIRO C.R., 2019, *Regulatory sound insulation requirements in South America - Status for housing, schools, hospitals and office buildings* , Internoise 2019, Madrid. Publicado su Researchgate a Giugno 2019.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINERÍA PRESIDENCIA DE LA NACIÓN, SECRETARÍA DE ESTADO DE LA ENERGÍA PROVINCIA DE SANTA FE, 2016, *Procedimiento de cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas*, Versión 0, Documento de base técnica para prueba piloto Rosario 2017, Proyecto de Calificación y Certificación de Inmuebles destinados a Vivienda. Su concessione di Etiquetado de Viviendas, Dirección Nacional de Generación Eléctrica, Secretaría de Energía, Ministerio de Desarrollo Productivo Argentina.

- NETTO G.R., CZAJKOWSKI J.D., 2016, *Comparación entre las normas de desempeño térmico edilicio de Argentina y Brasil (Comparação entre normas de desempenho térmico de edificações da Argentina e do Brasil)*, in "Ambiente Construído", Vol. 16, n°1, p. 105-122, Porto Alegre. Pubblicato su Researchgate a Gennaio 2016.
- RISULEO F., 2009, *Certificados de Eficiencia Energética en edificios.*, Cámara Argentina de la Construcción, 1ª ed. Buenos Aires: FODECO, 2010.
- ROCCO L., BAISTROCCHI C., CELLAI G., SAURO S., SECCHI S., 2016, *L'evoluzione della protezione acustica negli edifici in Italia: norme, metodi e soluzioni*, Associazione Italiana di Acustica, 43° Convegno Nazionale, Alghero. Pubblicato su Researchgate a Maggio 2016.
- STORNINI A.J., 1995, *Comportamiento acústico de fachadas frente al ruido ambiente: El factor costo - calidad*, Laboratorio de Investigaciones del Territorio y el Ambiente (LINTA) para la Comisión de Investigaciones Científicas. Disponibile nell'archivio CIC Digital dal 27/10/2015.

#### Siti:

- ANIT - Associazione Nazionale per l'Isolamento Termico e Acustico, *I Nostri Software*, disponibile all'indirizzo "<https://www.anit.it/software-anit/>". Consultato in data 15/07/2020.
- MANZANA, in *Glosario de Términos Urbanísticos. Plan Maestro. Oficina del Historiador de La Habana*, disponibile all'indirizzo "<http://www.planmaestro.ohc.cu/index.php/instrumentos/glosario#m>". Consultato in data 23/04/2020.
- MERCOSUR, in Treccani Enciclopedia Online, disponibile all'indirizzo "<http://www.treccani.it/enciclopedia/mercosur/>". Consultato in data 27/03/2020.
- PRECETTIVO, in Treccani Vocabolario Online, disponibile all'indirizzo "<http://www.treccani.it/vocabolario/precettivo/>". Consultato in data 04/06/2020.

# 8

## Appendice

## 8. Appendice

Vengono di seguito riportate le schede tecniche dei principali materiali da costruzione utilizzati per i calcoli.

- **BLOCCHI DI CALCESTRUZZO AERATO AUTOCLAVATO**

### Ladrillo macizo retak® de HCCA

La mampostería de HCCA brinda todas las ventajas del HCCA en piezas de dimensiones estudiadas que permiten ejecutar muros portantes (exteriores e interiores) y tabiques divisorios de simple cerramiento. Estas características junto a su exactitud dimensional, permiten colocarlos muy fácilmente utilizando una delgada capa de mortero adhesivo, ahorrando tiempo y dinero.

#### Tiempos de ejecución

Una cuadrilla tipo, compuesta por dos oficiales y un ayudante, colocan en 8 horas 50 m<sup>2</sup> de pared, de espesor de 15 cm y de 10 cm, lista para revocar. Este rendimiento se verá afectado por presencia de vanos para aberturas y/o múltiples cambios de dirección.

#### Tabiques divisorios

La mampostería de HCCA optimiza la realización de paredes interiores debido a su velocidad de ejecución, simplicidad de construcción y bajo peso, adaptándose a todo tipo de obras nuevas o remodelaciones.

Espeor de ladrillo	Peso Unitario	Peso de muro	Ladrillos por pallet	Transmitancia térmica total K	Resistencia al fuego
cm	kg/Ladrillo	kg/m <sup>2</sup>	un/pallet	w/m <sup>2</sup> c	iram 11949
7,5	6,4	51	160	1,41 (1,21)	-
10	8,5	68	120	1m13 (0,97)	FR 180
12,5	10,6	85	96	0,82 (0,71)	FR 180
15	12,8	102	80	0,70 (0,60)	FR 240
17,5	14,9	119	72	0,62 (0,54)	> FR 240
20	17	136	56	0,54 (0,47)	> FR 240

### Ladrillo "U" retak® de HCCA

Los Ladrillos "U" de HCCA poseen las mismas características de los Ladrillos macizos pero están previamente ranurados, de forma que se obtiene una sección en forma de "U" que servirá de encofrado perdido, para la realización de encadenados, dinteles in situ (para luces mayores a 2,10m), vigas de refuerzo, refuerzos verticales y otros usos.

#### Dimensiones de la sección de hormigón

Dimensiones de armaduras	Para U de 15 cm	Para U de 17,5 cm	Para U de 20 cm	Para U de 25 cm
	cm	cm	cm	cm
Ancho	7	9,5	12	14
Alto	18	18	18	18

## SYSMIC

24 x 60 x 25

tipo LISCIO

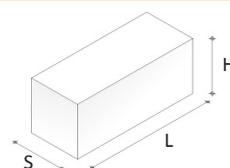


### Descrizione

Elemento pieno per muratura a forma di parallelepipedo rettangolo in calcestruzzo aerato autoclavato (AAC), di colore bianco, liscio, prodotto industrialmente, impiegabile per la costruzione di murature esterne ed interne, portanti e non portanti anche in zona ad alta sismicità da intonacare.

Elemento di Gruppo 1 seconda EN 1996-1-1.

Dimensioni		S	L	H	
		Dimensioni di fabbricazione	mm	240	600
	Categoria di tolleranza LMA	mm	± 2	± 3	± 2



### Caratteristiche Blocco

Caratteristiche meccaniche	Reazione al fuoco	euroclasse	A1	
	Massa volumica a secco	kg/m <sup>3</sup>	580 ± 50	
	Peso elemento a secco	kg	20,9 ± 5%	
	Resistenza a compressione media <sup>(1)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	f <sub>m</sub> > 5,0 categ. I	
	Resistenza a compressione caratteristica <sup>(1)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	f <sub>bk</sub> ≥ 5,0 categ. I	
Caratteristiche termometriche	Resistenza a compressione caratteristica ortogonale <sup>(2)</sup>	N/mm <sup>2</sup>	f <sub>bk</sub> ≥ 5,0 categ. I	
	Resistenza a compressione normalizzata	N/mm <sup>2</sup>	f <sub>b</sub> ≥ 5,0 categ. I	
Caratteristiche termo - igrometriche	Conducibilità termica a secco	W/mK	λ <sub>10,dry,unit</sub> 0,130	
	Misurata secondo norma EN 12667			
	Calore specifico	kJ/kgK	c	1,0
	Coefficiente resistenza alla diffusione del vapore acqueo	-	μ	5/10
	Permeabilità al vapore acqueo	kg/msPa	λ <sub>a</sub>	32 x 10 <sup>-12</sup>
	Assorbimento di acqua	elemento da intonacare		
	Durabilità gelo e disgelo	elemento da intonacare		

#### Note:

- 1) Nella direzione ortogonale ( ) alla faccia 60 x 24 ossia nella direzione verticale
- 2) Nella direzione ortogonale ( ) alla faccia 60 x 25 ossia nella direzione orizzontale
- 3) Muratura eseguita con malta collante cementizia Incollasapipo M5 a strato sottile T conforme alla UNI EN 9982. Giunto orizzontale e verticale con spessore compreso tra 0, mm e 3 mm distribuito per l'intera faccia orizzontale e verticale del blocco.
- 4) Peso da utilizzare per i calcoli strutturali (comprensivi di umidità residua a regime).
- 5) Valore di trasmittanza determinato senza intonaco, con resistenza liminare interna pari a 0,13 m<sup>2</sup>K/W ed esterna pari a 0,04 m<sup>2</sup>K/W come da norma UNI EN ISO 6946.
- 6) Verifica alternativa a quella della massa superficiale, solo per località caratterizzate da irradianza massima ≥ 290 W/m<sup>2</sup> come secondo DM 26/06/2015 all.1 art. 3.3 comma 4b, c. Calcolata secondo la UNI EN 13786- Valore limite Y<sub>e</sub> < 0,10 W/m<sup>2</sup>K.
- 7) Valore riferito a murature con l'aggiunta di sp. 15 mm per lato d'intonaco cementizio MULTICEM con massa di circa 1.100 kg/m<sup>2</sup> conforme alla UNI EN 9981.
- 8) Valore calcolato con leggi di massa suggerite dall'EAACA mediante l'uso della forma R<sub>w</sub> = 32,6 log M<sub>s</sub> - 22,5 [dB] per pareti di massa superficiale M < 150 kg/m<sup>2</sup> e R<sub>w</sub> = 26,1 log M<sub>s</sub> - 8,4 [dB] per pareti di massa superficiale M > 150 kg/m<sup>2</sup> (considerata massa di nota 7).

### Caratteristiche Muratura <sup>(3)</sup>

Caratteristiche meccaniche	Resistenza al fuoco	EI 240 - REI 180
	Densità media muratura <sup>(4)</sup>	kg/m <sup>3</sup> W 700 ± 60
	Stabilità dimensionale per umidità	mm/m λ <sub>cs,ref</sub> ≤ 0,04
	Resistenza all'aderenza caratteristica a flessione	N/mm <sup>2</sup> f <sub>yk1</sub> 0,15
	Resistenza all'aderenza caratteristica a flessione	N/mm <sup>2</sup> f <sub>yk2</sub> 0,30
	Resistenza media a compressione	N/mm <sup>2</sup> f <sub>m</sub> 4,6
	Resistenza caratteristica a compressione	N/mm <sup>2</sup> f <sub>k</sub> 3,3
	Resistenza media a taglio iniziale	N/mm <sup>2</sup> f <sub>vm</sub> 0,43
	Resistenza caratteristica a taglio iniziale (λ <sub>i</sub> in N/cm <sup>2</sup> )	N/mm <sup>2</sup> f <sub>vk0</sub> 0,30
	Coefficiente di Poisson	N/mm <sup>2</sup> λ 1
Caratteristiche termiche	Modulo di elasticità normale secante	N/mm <sup>2</sup> E 4574
	Modulo di elasticità tangenziale secante	N/mm <sup>2</sup> G 1830
Caratteristiche termiche	Trasmittanza Termica <sup>(5)</sup>	W/m <sup>2</sup> K U 0,496
	Trasmittanza Termica periodica <sup>(6)</sup>	W/m <sup>2</sup> K Y <sub>IE</sub> 0,167
	Sfasamento	h S 9h 35'
Caratteristiche termiche	Fattore di attenuazione	f <sub>a</sub> 0,337
	Capacità termica areica interna	kJ/m <sup>2</sup> K C 28,47
Acustica	Massa Superficiale con intonaco e malte <sup>(7)</sup>	kg/m <sup>2</sup> M <sub>s</sub> 172
	Indice potere fonoisolante <sup>(8)</sup>	dB R <sub>w</sub> 50

- LATERIZIO FORATO COMUNE

### Ladrillo portante de 12x19x33 cm



#### FICHA TÉCNICA

■ **Espesor de muro revocado: 15 cm.**

Dimensiones: 12cm x 19cm x 33cm.

Peso x Unidad: 5,4 Kg.

Peso x M2: 81 kg

Rendimiento x m2: 15 unidades

Transmitancia térmica: K= 2,07

■ **PALLET**

Dimensiones: 1x1x1,10 m

Peso: 680,4 kg

Pallet: 126 unidades

### Ladrillo portante de 18x19x33 cm



#### FICHA TÉCNICA

■ **Espesor de muro revocado: 20 cm.**

Dimensiones: 18cm x 19cm x 33cm.

Peso x Unidad: 7,15 Kg.

Peso x M2: 107,25 kg

Rendimiento x m2: 15 unidades

Transmitancia térmica: K= 2,07

■ **PALLET**

Dimensiones: 1x1x1,10 m

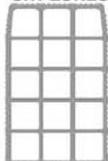
Peso: 643,5 kg

Pallet: 90 unidades

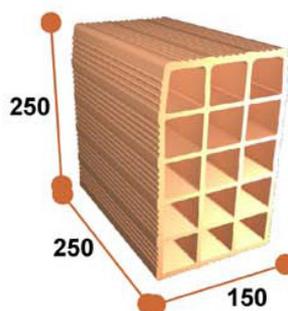
### FORATO F150

## FORATO

Cm 25x15x25



Prodotto marcato CE  
Sistema 2+ Categoria I



**3 File di camere**



Conforme al decreto sui  
Criteri Ambientali Minimi

#### CARATTERISTICHE DEL PRODOTTO

DENOMINAZIONE E CODICE	FORATO F150 (3 File di Camere)
IMPIEGO E MESSA IN OPERA	Tramezzatura a Fori Orizzontali
DIMENSIONI (lunghezza; larghezza; altezza)	25x15x25 (spessore netto muro cm 15)
MASSA VOLUMICA A SECCO LORDA BLOCCO	540 kg/m <sup>3</sup> (peso nominale di 5,0 kg al pezzo)
PERCENTUALE DI FORATURA	55% < F ≤ 70%
RESISTENZA CARATTERISTICA fbk	Nella direzione dei fori > 5,0 N/mm <sup>2</sup>
A COMPRESIONE	Nella direzione normale ai fori > 1,5 N/mm <sup>2</sup>
REAZIONE AL FUOCO	EUROCLASSE A1
CONTENUTO DI RICICLATO (D. M. 11-10-2017)	> 10% in peso (valore asciutto)
CONDUTTIVITA' EQUIVALENTE DEL BLOCCO	$\lambda_{\text{equ, blocco}}$ <b>0,219 W/mK (valore asciutto)</b>

- EPS IN LASTRE

Características técnicas

**Especificaciones técnicas del material aislante en base a la UNE EN 13163**

Descripción	Norma de las mediciones	Valor (ud.)	Código designación
conductividad térmica	EN 12667 EN 12939	0.037 m K/W	λ37 (definida en el mercado CE)
longitud	EN 822	±0.6% ó 3 mm	L2
anchura	EN 822	±2	W2
espesor	EN 823	±1	T1
rectangularidad	EN 824	±2/1000	S2
planicidad	EN 825	5 mm	P5
condiciones de la superficie	-----	Superficie cortada con hilo en caliente, homogénea y sin piel	-----
Estabilidad dimensional en condiciones normales y constantes de laboratorio (23°C y 50% HR)	EN 1603	Los valores relativos a la longitud y anchura no deben ser superiores al ±0,2 %	DS(N)2
Estabilidad dimensional bajo condiciones específicas de temperatura y humedad	EN 1604	Condiciones 48 h y 70°C. Los cambios relativos a longitud, anchura y espesor, no deben exceder el 1%	DS(70,-)1
Absorción de agua por inmersión parcial	EN 1609	≤0,5 kg/m <sup>2</sup>	W <sub>p</sub> ≤0,5 kg/m <sup>2</sup>
Absorción de agua a largo plazo por inmersión	EN 12087	≤5 %	WL(T)5
Resistencia a la difusión del vapor de agua	EN 12086	μ≤60	μ60
Resistencia a la tracción perpendicular a las caras	EN 1607	≥150 kPa	TR150
Resistencia al cizallamiento	EN 12090	≥0.02 N/mm <sup>2</sup>	≥0.02 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de cizallamiento	EN 12090	≥1.0 N/mm <sup>2</sup>	≥1.0 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a la congelación-descongelación	EN 12091	≤10%	≤10%
Tensión de compresión al 10% de deformación	EN 826	≥60 kPa	CS(10)60
Resistencia a la flexión	EN 12089	≥150 kPa	BS150
Densidad	-----	15-20 kg/m <sup>3</sup>	15-20 kg/m <sup>3</sup>
Coefficiente dilatación térmico lineal		5-7 x 10 <sup>-6</sup> m/m°C <sup>-1</sup>	
Reacción al fuego (Euroclases)	EN 13501-1	E	E

### Caratteristiche tecniche

La classificazione delle Lastre in EPS 100 con Grafite secondo la norma EN 13163 prevede che le caratteristiche vengano dichiarate sotto forma di codici di designazione, che riportano a specifici limiti superiori o inferiori.

Caratteristiche	Codice di designazione	Unità di misura	EPS 100	Norma di prova
<b>Resistenza a compressione al 10% della deformazione</b>	<b>CS (10)</b>	<b>KPa</b>	<b>≥ 100</b>	<b>EN 826</b>
<b>Resistenza a trazione perpendicolare alle facce</b>	<b>TR</b>	<b>KPa</b>	<b>≥ 150</b>	<b>EN 1607</b>
<b>Resistenza a flessione</b>	<b>BS</b>	<b>KPa</b>	<b>≥ 150</b>	<b>EN 12089</b>
Lunghezza	L	mm	L2 (± 2)	EN 822
Larghezza	W	mm	W2 (± 2)	EN 822
Spessore	T	mm	T2 (± 1)	EN 823
Planarità	P	mm	P4 (± 5)	EN 825
Ortogonalità	S	mm/m	S2 (± 2)	EN 824
<b>Conducibilità termica dichiarata</b>	<b><math>\lambda_D</math></b>	<b>W/m·K</b>	<b>0,031</b>	<b>EN 12667</b>
Massa volumica	-	kg/m <sup>3</sup>	17 (± 6%)	-
Fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo	$\mu$	-	30-70	EN 12086
Modulo di taglio	$G_m$	KPa	≥ 1000	EN 12090
Resistenza al taglio	$F_{tk}$	KPa	≥ 20	EN 12090
Assorbimento d'acqua a lungo periodo per immersione	WL(T)	%	≤ 2	EN 12087
Assorbimento d'acqua per immersione parziale	Wlp	kg/m <sup>2</sup>	≤ 0,5	EN 12087
Permeabilità al vapore in campo secco	$\delta_a$	kg/m·s·Pa	3,6·10 <sup>-12</sup>	EN 13163
Permeabilità al vapore in campo umido	$\delta_u$	kg/m·s·Pa	9·10 <sup>-12</sup>	EN 13163
Capacità termica specifica	$C_s$	J/Kg·K	1.450	EN 10456
Stabilità dimensionale	DS	%	DS(N)2	EN 1603
Reazione al fuoco	-	Classe	Euroclasse E	EN 13501-1

## • LASTRE DI VETRO

### DVH Y EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE UNA VENTANA

La capacidad de aislamiento térmico de una ventana está dada por la capacidad de aislación del vidrio por ser éste el que tiene la superficie predominante.

Utilizando DVH pueden emplearse superficies vidriadas de mayores dimensiones sin comprometer el confort ni el consumo de energía de climatización de un edificio o una vivienda.

El valor del aislamiento térmico de un elemento constructivo se mide con el coeficiente K que indica la cantidad de calor que pasa a través, cuya magnitud se mide en  $W/m^2K$  (watt sobre metro cuadrado por grado Kelvin) que en algunas publicaciones también puede ser indicado en grados centígrados ( $^{\circ}C$ ). La intensidad del flujo de calor depende de la diferencia entre las temperaturas del exterior y del interior del ambiente.

- Un vidrio de 5 ó 6 mm de espesor tiene un .....  $K = 5.7 W/m^2K$
- Un DVH compuesto por dos vidrios separados entre sí por una cámara de aire de 12 mm tiene un .....  $K = 2.80 W/m^2K$
- Un DVH constituido con un vidrio común y el otro de baja emisividad (Low-E) tiene un .....  $K = 1.80 W/m^2K$

Cuanto menor es el valor del coeficiente K -más aislante-, menor es el flujo de energía entre las temperaturas del aire a ambos lados del vidriado. El calor siempre fluye desde el punto más caliente hacia el menos caliente o frío.

### INFLUENCIA DEL DVH EN EL AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA VENTANA



En invierno el buen aislamiento térmico de la superficie vidriada de una ventana tiene una importancia fundamental, dado que disminuye significativamente la pérdida de calor de calefacción hacia el exterior frío, aumentando la sensación de confort.

En verano un DVH impide que calor del aire exterior ingrese al ambiente interior, más fresco, de un edificio o una vivienda. Sin embargo, para que el DVH sea eficiente en el período estival deberemos disminuir el calor solar que atraviesa el vidrio por radiación debido a su condición de material transparente.

Esto puede obtenerse empleando dispositivos de sombreado tales como persianas, aleros, parasoles, cortinas, etc. o bien reemplazando el vidrio incoloro exterior del DVH por un vidrio de control solar, coloreado en su masa y/o revestido con una capa reflectiva. Este tipo de vidrios no modifica el valor del coeficiente de aislación térmica K del DVH, pero sí mejora su capacidad para impedir el ingreso de los rayos solares. Dicha aptitud del vidrio se mide con el Factor Solar - FS y/o con el Coeficiente de Sombra - CS. Cuanto menor es su valor nominal, mayor es su capacidad de controlar el sol. Los vidrios de control solar también dejan pasar menos luz visible lo que permite disminuir las molestias de una luminosidad excesiva, en particular en vidriados de grandes superficies.

## PROPIEDADES DE TRANSMISIÓN

TIPO DE VIDRIO	COMPOSICIÓN VIDRIOS DVH mm	LUZ VISIBLE		ENERGÍA SOLAR TOTAL		UV	TRANSMISIÓN TÉRMICA K W/m <sup>2</sup> K	FACTOR SOLAR	COEFICIENTE DE SOMBRA
		Transmisión %	Reflexión %	Transmisión %	Reflexión %	Transmisión %			

### DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO - DVH

FLOAT® INCOLORO	3 / 12 / 3	81	15	71	13	56	2.8	0.76	0.89
	4 / 12 / 4	80	15	67	13	52	2.8	0.74	0.86
	5 / 12 / 5	79	15	65	12	49	2.8	0.72	0.84
	6 / 12 / 6	78	15	61	12	46	2.8	0.70	0.81

### DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO - DVH CON EL VIDRIO INTERIOR DE BAJA EMISIVIDAD LOW-E<sup>2</sup> #3

FLOAT® INCOLORO	3 / 12 / 3	75	18	58	17	45	1.8	0.70	0.82
	4 / 12 / 4	74	17	55	16	42	1.8	0.69	0.80
	5 / 12 / 5	74	17	54	16	40	1.8	0.67	0.78
	6 / 12 / 6	73	17	52	15	36	1.8	0.66	0.76

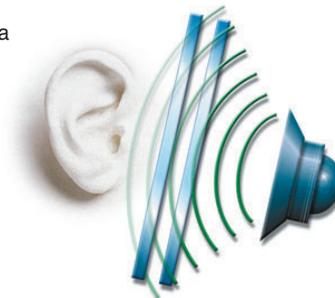
## DVH EN EL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE UNA VENTANA

Empleando DVH compuesto, por ejemplo, por dos vidrios de 4 mm de espesor se obtiene un mejor aislamiento acústico que el que se obtendría con un solo vidrio de 4 mm. La masa o peso de los vidrios adquiere una importancia fundamental cuando el objetivo es aumentar la capacidad de aislamiento acústico de una ventana.

El poco espesor - de 6 a 12 mm - de las cámaras de aire utilizadas en la manufactura de DVH no tiene la misma influencia para atenuar el paso del ruido que para impedir el paso de calor. Para que una cámara de aire tenga valor elevado de aislamiento acústico, su espesor debe tener no menos de 100 mm de ancho lo que impide, por el gran espesor total del vidriado, emplear dicho recurso en ventanas de edificios y viviendas.

Las medidas a tener en cuenta para obtener un alto índice de aislamiento acústico con DVH, en orden de importancia son:

- 1 Emplear aberturas de alta prestación, asegurando que sus hojas tengan un cierre hermético al paso del aire.
- 2 En la composición del DVH, deben emplearse cristales de fuerte espesor y/o laminados. Conviene que el espesor de los vidrios difiera en no menos del 20%.
- 3 Emplear vidrio laminado con PVB<sup>3</sup>, por su mejor respuesta para debilitar las ondas sonoras, permite disminuir el espesor y el peso total del DVH. Por ejemplo un vidrio monolítico de 10 mm, en general es acústicamente equivalente a un vidrio laminado de 3+3 laminado con PVB de 0.76 mm.



### NOCIONES DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

- El decibel (dB) es la medida de la presión sonora.
- Usualmente el oído no puede detectar una variación de presión sonora de 1 ó 2 (dB).
- Un cambio de 3 (dB) no será apreciado si existe un lapso entre ambos.
- Una variación de 5 (dB) puede ser fácilmente detectada si la presión sonora es alta.
- Un cambio de 7 (dB) siempre será apreciado por el oído, dado que prácticamente significa una duplicación de la presión sonora.
- Cada vez que la presión sonora se incrementa en 10 (dB) la intensidad del ruido crece en forma exponencial.

### POLUCIÓN ACÚSTICA EN LA CIUDAD

Ruidos urbanos típicos	Intensidad sonora
Calle con poco tránsito	60 (dB)
Calle con tránsito intenso	70 (dB)
Avenida de tránsito rápido	80/85 (dB)
Autopista a 20/30m	85/90 (dB)

### NIVELES RECOMENDADOS DE RUIDO INTERIOR

Destino Actividad	Nivel máximo de ruido
Dormitorios	30 a 40 (dB)
Biblioteca silenciosa	35 a 40 (dB)
Salas de estar	40 a 45 (dB)
Oficinas privadas	40 a 45 (dB)
Aula de escuela	40 a 45 (dB)
Oficinas generales	45 a 50 (dB)

## PROPIEDADES DE ATENUACIÓN ACÚSTICA DEL DVH

COMPOSICIÓN DEL VIDRIADO	DOBLE VIDRIADO HERMÉTICO - DVH AISLACIÓN ACÚSTICA EN (dB) - FLOAT <sup>®</sup> / CAMARA DE AIRE / FLOAT <sup>®</sup> (mm)					
	4/12/4	6/12/6	6/12/4+4 FLOAT <sup>®</sup> Laminado	10/12/6	10/12/3+3 FLOAT <sup>®</sup> Laminado	10/12/10+6 FLOAT <sup>®</sup> Laminado
Aislac. promedio R <sub>M</sub> (dB)	29	30	34	34	36	41
Aislac. compensada R <sub>W</sub> (dB)	31	33	36	38	40	45
Aislac. al tráfico R <sub>TRA</sub> (dBA)	25	26	29	32	34	37

• R<sub>M</sub>

Reducción acústica promedio. Es la media aritmética entre los valores de aislamiento acústico de un elemento constructivo en el rango de frecuencias entre 100 - 3150 Hz.

• R<sub>W</sub>

Es representativo del valor de aislamiento acústico de un elemento constructivo, tomando como referencia la respuesta del oído humano. Numéricamente puede ser hasta 5 (dB) más alto que el valor de R<sub>M</sub> promedio.

• R<sub>TRA</sub>

Ni el R<sub>M</sub> ni el R<sub>W</sub> pueden ser directamente usados para estimar el nivel de ruido interior. Para ello se adopta un espectro idealizado del ruido del tráfico. Representa la reducción en (dBA) que puede obtenerse de una ventana para mitigar el ruido del tránsito.



## Pilkington **Planar**™ System Information

### Pilkington **Planar**™ Triple



Pilkington Toughened and Heat Soaked Glass Outer Pane 10 mm	Pilkington Toughened and Heat Soaked Glass Centre Pane 6 mm	Pilkington Toughened and Heat Soaked Glass Inner Pane 6 mm	Light Transmittance LT	Light Reflectance LR	Total Solar Radiant Heat Transmittance	Total Shading Coefficient	U Value (W/m <sup>2</sup> K)
Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.69	0.19	0.59	0.68	1.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 73/42	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.62	0.14	0.36	0.41	1.1
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 70/39	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.60	0.15	0.34	0.39	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 69/37	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.59	0.15	0.32	0.37	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 62/29	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.52	0.12	0.26	0.30	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 50/27	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.42	0.11	0.24	0.28	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 30/17	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	0.26	0.25	0.17	0.20	1.0
Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.59	0.22	0.53	0.61	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 73/42	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.57	0.16	0.34	0.39	0.9
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 70/39	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.55	0.17	0.32	0.37	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 69/37	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.54	0.16	0.31	0.36	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 62/29	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.48	0.13	0.25	0.29	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 50/27	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.39	0.12	0.22	0.25	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 30/17	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>K Glass</b> ™	0.24	0.25	0.16	0.18	0.8
Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.68	0.16	0.47	0.54	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 73/42	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.61	0.13	0.35	0.40	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 70/39	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.59	0.14	0.33	0.38	0.7
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 69/37	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.58	0.14	0.31	0.36	0.7
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 62/29	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.52	0.11	0.26	0.30	0.7
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 50/27	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.42	0.11	0.23	0.26	0.7
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 30/17	Pilkington <b>Optifloat</b> ™ Clear	Pilkington <b>Optitherm</b> ™ S3	0.26	0.25	0.16	0.18	0.7
Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	0.76	0.21	0.74	0.85	1.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 73/42	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	0.68	0.15	0.40	0.46	1.1
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 69/37	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	0.65	0.16	0.35	0.40	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 62/29	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	0.57	0.13	0.27	0.31	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 50/27	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	0.47	0.12	0.25	0.29	1.0
Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	0.66	0.24	0.66	0.76	1.0
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 73/42	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	0.63	0.17	0.39	0.45	0.9
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 69/37	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	0.60	0.18	0.34	0.39	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 62/29	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	0.53	0.14	0.26	0.30	0.8
Pilkington <b>Planar</b> ™ Sun 50/27	Pilkington <b>Optiwhite</b> ™	Pilkington <b>K Glass</b> ™ OW	0.43	0.13	0.24	0.28	0.8

Please note that these are a selection of Solar Control glasses within the range and the performance data supplied is indicative only and can vary subject to the substrate used. Technical data has been calculated according to BS EN 410 and BS EN 673. The above table has been updated to take into account the declared values of radiation and thermal properties required for CE Marking. R<sub>g</sub> Value is indicative for PVB interlayer product only and will be subject to minor variations dependent upon the size of the glass panels and the number of fittings required. Due to the versatility of this product multiple combinations are possible. If you require different performance characteristics please contact Pilkington Architectural for advice.

Nel progetto, e di conseguenza nel modello di calcolo, è stata inserita come lastra centrale del triplo vetro la Pilkington Optiphon™, della quale si allega la scheda tecnica nella seguente pagina.



## Pilkington **Optiphon™**

	Spessore [mm]	R <sub>w</sub>	R <sub>w</sub> +C	R <sub>w</sub> +C <sub>tr</sub>	U <sub>g</sub> *
--	---------------	----------------	-------------------	---------------------------------	------------------

### Configurazione monolitica

Pilkington <b>Optiphon™</b> 6,5 mm	6,5	36	35	32	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm	8,5	38	37	34	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 10,5 mm	10,5	39	38	36	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,5 mm	12,5	40	39	37	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 6,8 mm	6,8	35	34	32	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,8 mm	8,8	37	36	33	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 9,1 mm	9,1	37	36	34	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 10,8 mm	10,8	38	37	36	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,8 mm	12,8	39	39	37	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 13,1 mm	13,1	40	40	38	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 16,8 mm	16,8	40	40	38	—
Pilkington <b>Optiphon™</b> 17,1 mm	17,1	41	41	39	—

### Configurazione in vetrocamera

4 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 6,5 mm	26,5	36	35	31	1,1
6 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 6,5 mm	28,5	39	38	34	1,1
4 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm	28,5	38	37	33	1,1
6 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm	30,5	41	39	35	1,1
8 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm	32,5	42	40	36	1,1
10 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm	34,5	45	43	39	1,1
8 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 10,5 mm	34,5	43	41	37	1,1
10 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 10,5 mm	36,5	45	44	40	1,1
8 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,5 mm	36,5	43	42	38	1,1
10 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,5 mm	38,5	45	44	40	1,1
Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm – 16 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,5 mm	37,0	49	46	41	1,1
Pilkington <b>Optiphon™</b> 8,5 mm – 20 mm Ar – Pilkington <b>Optiphon™</b> 12,5 mm	41,0	50	47	42	1,1

Ar = intercapedine riempita con Argon al 90%

R<sub>w</sub>, R<sub>w</sub>+C and R<sub>w</sub>+C<sub>tr</sub> sono conformi alla UNI EN 717-1

\* il valore U<sub>g</sub> è calcolato considerando l'utilizzo di Pilkington **Optitherm™** S3 posizionato con il coating in faccia 3

## Ringraziamenti

Al termine di questo lavoro di tesi, mi sembra doveroso ringraziare alcune persone.

Innanzitutto ringrazio le mie relatrici, la Prof.ssa Arianna Astolfi e la Prof.ssa Sara Viazzo, per aver saputo trasmettermi la loro passione per la disciplina, per aver creduto nella mia idea ed avermi supportata nel suo sviluppo. Un grazie va anche a Liliana Bonvecchi per aver seguito il nostro progetto ambizioso, e a tutti i professionisti argentini che mi hanno dato il loro prezioso aiuto.

Ringrazio poi i miei genitori, che da 25 anni mi supportano, mi appoggiano e mi spingono a superare i miei limiti: senza di voi non avrei avuto il coraggio né la possibilità di raggiungere tutto quello che ho fatto finora.

Ringrazio Leo e Miki, per essere le mie spalle, i miei complici e bodyguard da sempre e per sempre.

Devo poi dedicare qualche grazie ai miei amici. A quelli di sempre, Zicchi e Anna, e a chi lo è diventato strada facendo, Gius, Grazia, Ludo, Conny e Mariapia: perché per quanto lontano possa essere andata, al rientro sembra sempre come se ci fossimo visti il giorno prima.

Ad Adri, Gio, Lib, Massi, Pit, Sara, Silly, per avermi accolta nelle vostre famiglie ed avermi fatta sentire a casa in questi 6 anni, tra una sessione di studio notturna e un dolcino, tra un atelier e uno spritz da Carmen.

Ad Albi e Iso, "*i miei fratellini*", perché per 18 mesi siete stati famiglia-amici-coinquilini-e-empio e tanto altro. Ad Ila, la mia *commarella* nonché consulente di casi umani.

Agli *Ojitos*, a Nico, Sofi, Leila, Anto, Andre e Cata, perché senza di voi non mi sarei mai innamorata così tanto dell'Argentina e della cumbia: spero di poter festeggiare presto con voi e un Fernandito.

E infine, ultimo ma non meno importante, devo ringraziare il mio ragazzo Juan Pablo per avermi letteralmente supportata durante tutto il lockdown e la stesura della tesi, con gli sbalzi d'umore e le crisi, e per avermi tirata su tutte le volte in cui smettevo di credere in quello che stavo facendo.

Al final de este trabajo de tesis me parece necesario agradecerles a algunas personas.

Primero a mis profesoras, Arianna Astolfi y Sara Viazzo, por haberme transmitido su pasión por la materia, por creer en mi idea y soportarme en su desarrollo.

La agradezco también a Liliana Bonvecchi por seguir nuestro proyecto muy ambicioso, y a todos los profesionales argentinos que me dieron su preciosa ayuda.

Luego les agradezco a mis padres, que desde 25 años me soportan, me apoyan y me empujan a superar mis límites: sin ustedes nunca habría tenido ni el coraje ni las posibilidades para lograr todo lo que hice hasta ahora.

Gracias a Leo y Miki, que de siempre y para siempre son mis compañeros, cómplices y guardaespaldas.

Tengo que hablar luego de mis amigos. Gracias a los de siempre, Zicchi y Anna, y a los que se sumaron después, Gius, Grazia, Ludo, Conny y Mariapia, porque por lo lejos que me vaya, cuando vuelvo parece siempre que nos vimos el día anterior.

A mis amigos de Turín, Adri, Gio, Lib, Massi, Pit, Sara, Silly, por haberme recibido en sus familias y haberme hecho sentir como en casa en estos 6 años, entre una sesión de estudio nocturna y un postrecito, entre un proyecto y un spritz de Carmen.

A Albi e Iso, "*mis hermanitos*", porque por 18 meses fueron mi familia-amigos-compañeros-roomies-ejemplo y mucho más. A Ila, mi *comadre* y también experta de casos humanos.

A todos los *Ojitos*, a Nico, Sofi, Leila, Anto, Andre y Cata, porque sin ustedes nunca me habría enamorado así tanto de Argentina y, por supuesto, de la cumbia: espero poder festejar pronto con ustedes y un Fernandito.

Y en fin, último pero no menos importante, tengo que agradecerle a mi novio Juan Pablo, porque literalmente me aguantaste durante todo el encierro y la escritura de mi tesis, con mis cambios de humor y mis crisis, y por hacerme sentir mejor todas las veces que dejaba de creer en lo que estaba haciendo.