

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Edile**

Tesi di Laurea Magistrale

**Progetto di rifunzionalizzazione a scopi museali
del Padiglione Italia al World Expo 2010 di Shanghai**



Relatore

Carlo Ostorero

Candidata

Giulia Bufo

Correlatori

Giovanni Vincenzo Fracastoro

Enrico Fabrizio

Marzo 2020

*“Il successo non è mai definitivo,
il fallimento non è mai fatale:
è il coraggio di continuare che conta”*

Winston Churchill

INDICE

Abstract	1
Premessa	3
1 L'Expo 2010 di Shanghai: la via della sostenibilità urbana	4
1.1 Il tema	4
1.2 La rigenerazione urbana	5
1.3 Il ruolo in divenire delle Esposizioni Universali	6
1.4 Dalla scelta dell'area ospitante alla costruzione dell'Expo	8
2 Il Padiglione Italia	12
2.1 I principali caratteri distintivi.....	12
2.2 L'analisi del contesto operata durante la fase preliminare del Joint Studio	17
2.3 La distribuzione degli ambienti interni	42
2.4 Il cemento i.light®.....	47
2.5 Una macchina dal funzionamento bioclimatico	52
3 Una proposta di riqualificazione: dalla scala urbana al rapporto involucro-spazialità in occasione del Joint Studio a Shanghai.....	53
3.1 La presentazione del workshop.....	53
3.2 L'indagine in sito.....	56
3.3 L'inizio del workshop	64
3.4 L'elaborazione del masterplan e delle ipotesi di progetto.....	66
3.5 L'esito finale e la presentazione del lavoro svolto	73
4 La prosecuzione del Joint Studio in Italia	81
4.1 La crasi progettuale	81
4.2 La prosecuzione del Joint Studio	94
5 La riqualificazione energetica	98
5.1 La caratterizzazione climatica di Shanghai	98
5.2 La creazione del modello in Edliclima EC700.....	99
5.2.1 Le ipotesi di calcolo.....	99
5.2.2 Le caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi esistenti	105
5.2.3 La zonizzazione termica.....	112
5.3 Le strategie impiantistiche	116
5.3.1 Le soluzioni adottate per le sale espositive.....	116
5.3.1.1 La strategia di ventilazione a dislocazione	116
5.3.1.2 Le teche espositive climatizzate	117
5.3.1.3 La nuova distribuzione interna	120
5.3.2 Le soluzioni adottate per la corte centrale.....	123

5.4	Il retrofit dell'involucro.....	124
5.4.1	Le caratteristiche termiche e igrometriche dei nuovi componenti opachi.....	126
5.5	Il calcolo dei fabbisogni di energia utile.....	131
5.5.1	Il fabbisogno di energia utile durante la stagione invernale.....	131
5.5.2	Il fabbisogno di energia utile durante la stagione estiva.....	132
5.6	Il calcolo delle potenze in condizioni di progetto.....	134
5.6.1	Il calcolo della potenza termica invernale.....	134
5.6.2	Il calcolo del carico termico estivo.....	136
5.7	La valutazione delle condizioni di comfort termoigrometrico.....	138
5.7.1	Il bilancio termico del corpo umano.....	138
5.7.2	La determinazione dei termini di bilancio.....	140
5.7.2.1	Potenza termica latente scambiata per traspirazione attraverso la pelle.....	140
5.7.2.2	Potenza termica latente scambiata per respirazione.....	141
5.7.2.3	Potenza termica secca dispersa per respirazione.....	142
5.7.2.4	Potenza termica scambiata per conduzione.....	142
5.7.2.5	Resistenza termica del vestiario.....	142
5.7.2.6	Temperatura del vestiario.....	143
5.7.2.7	Potenza termica dispersa per irraggiamento.....	145
5.7.2.8	Temperatura media radiante.....	145
5.7.3	Il PMV (voto medio previsto) e il PPD (percentuale prevista di insoddisfatti).....	147
5.7.3.1	Il calcolo della temperatura media radiante.....	149
5.7.3.2	La determinazione del PMV e del PPD.....	154
5.7.4	La valutazione a lungo termine delle condizioni generali di comfort termoigrometrico secondo lo standard CEN/TR 16798-2:2019.....	157
	Conclusioni.....	161
	Ringraziamenti.....	163
	Bibliografia.....	166
	Sitografia.....	168
	Allegati.....	169

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Vista notturna dell'area dell'Expo, foto di Sheng Zhong Hai.....	6
Figura 2 - Vista dell'Expo Axis e del Padiglione cinese di notte, foto di Sheng Zhong Hai	10
Figura 3 - Mappa dell'Expo 2010 con, evidenziato in rosso nell'area C, il Padiglione Italia.....	11
Figura 4 – Vista sud-est del Padiglione Italia, con in evidenza il blocco di ingresso vetrato, foto di Luciano Romano	12
Figura 5 - Disegno di ispirazione per il progetto, a cura di Chen Zhiliang	14
Figura 6 - Vista nord-est del Padiglione, dalla quale è possibile intuire la percezione delle luci interne attraverso il cemento semi trasparente al calar del sole	15
Figura 7 - Scorcio di uno dei tagli in facciata, che genera una apertura alla quale si accede tramite la passerella che attraversa la lama d'acqua.....	15
Figura 8 - Esposizione dei tre book di analisi svolte dalle tre università, presso la fiera “Art and Education” a Shanghai	18
Figura 9 - Tavola di analisi urbana n°1.....	19
Figura 10 - Tavola di analisi urbana n°2.....	20
Figura 11 - Tavola di analisi urbana n°3.....	21
Figura 12 - Tavola di analisi urbana n°4.....	22
Figura 13 - Tavola di analisi urbana n°5.....	23
Figura 14 - Tavola di analisi urbana n°6.....	24
Figura 15 - Tavola di analisi urbana n°7.....	25
Figura 16 - Tavola di analisi urbana n°8.....	26
Figura 17 - Tavola di analisi urbana n°9.....	27
Figura 18 - Tavola di analisi urbana n°10.....	28
Figura 19 - Tavola di analisi urbana n°11.....	29
Figura 20 - Tavola di analisi urbana n°12.....	30
Figura 21 - Tavola di analisi urbana n°13.....	31
Figura 22 - Tavola di analisi urbana n°14.....	32
Figura 23 - Tavola di analisi urbana n°15.....	33
Figura 24 - Tavola di analisi urbana n°16.....	34
Figura 25 - Tavola di analisi urbana n°17.....	35
Figura 26 - Tavola di analisi urbana n°18.....	36
Figura 27 - Tavola di analisi urbana n°19.....	37
Figura 28 - Tavola di analisi urbana n°20.....	38
Figura 29 - Tavola di analisi urbana n°21.....	39
Figura 30 - Tavola di analisi urbana n°23.....	40
Figura 31 - Tavola di analisi urbana n°24.....	41
Figura 32 - foto del foyer vetrato durante l'Expo 2010.....	42
Figura 33 - immagine della sala "I - Tech" durante l'Expo 2010.....	44
Figura 34 - immagine della sala "A Bite Of Italy" durante l'Expo 2010	45
Figura 35 - immagine della corte interna durante l'Expo 2010.....	46
Figura 36 - Foto di un provino di cemento i.light® nei laboratori di Italcementi, fonte delle foto www.italcementigroup.com	48
Figura 37 - Fase di posa in opera dei pannelli i.light®	49
Figura 38 - Dettaglio della composizione di un pannello i.light®	50

Figure 39 / 39- Dal confronto tra le due immagini soprastanti è possibile percepire la duplice trasparenza del cemento, sia di notte che di giorno.....	51
Figura 40 - veduta dalle scale interne dell'effetto di trasparenza assicurato dal cemento semi-trasparente, fonte Wallpaper* Thai Edition, June 2010	51
Figura 41 - Foto dell'ex area Expo con, da sinistra, i padiglioni di Russia, Lussemburgo, Italia ed, in primo piano, Francia	56
Figura 42 - Vista del lato sud-ovest del Padiglione Italia, in cui è riconoscibile la superfetazione successiva sulla copertura.....	57
Figura 43 - Vista del lato sud-est del Padiglione Italia, con in primo piano l'ingresso vetrato a tutta altezza	57
Figura 44 - Stralcio del prospetto sud, con in evidenza il taglio vetrato che seziona il volume, proseguendo esternamente in pianta	58
Figura 45 – Particolare della superficie del pannello in cemento i.light®	59
Figura 46 - Vista della corte vetrata centrale, con in primo piano le scale mobili sormontate dalla ricostruzione della cupola del Duomo di Firenze del Brunelleschi.....	60
Figura 47 - Scorcio di uno dei corridoi scavati tra i blocchi megalitici.....	60
Figura 48 - Vista sulle strutture-ponte in acciaio che collegano, ai livelli superiori, i diversi blocchi dell'edificio	61
Figura 49 - Immagine di dettaglio sulla connessione tra i blocchi megalitici e la copertura vetrata, rievocando i tagli-vicoli della pianta	62
Figura 50 - Foto di una delle sale espositive al piano terra. È ben visibile l'effetto di trasparenza generato dal cemento i.ight®, che lascia penetrare la luce all'interno generando un ambiente confortevole	63
Figura 51 - Concept grafico delle tre proposte progettuali.....	65
Figura 52 - Planimetria generale del futuro allestimento dell'Expo Cultural Park, con evidenziato in rosso il Padiglione Italia	66
Figura 53 – Masterplan del gruppo 1	67
Figura 54 – Dall'immagine fotorealistica di progetto e dalla sezione territoriale è possibile comprendere il tema fondante l'idea del gruppo 1	68
Figura 55 – Masterplan del gruppo 2	69
Figura 56 - Sintesi dei concetti chiave del gruppo 2.....	70
Figura 57 – Immagine fotorealistica di progetto del gruppo 2, con la “nuova pelle” del Padiglione recante banner pubblicitari	70
Figura 58 - Masterplan del gruppo 3	71
Figura 59 - Sequenza progettuale dei concetti fondanti l'idea del gruppo 3	72
Figura 60 - Graficizzazione schematica del progetto della piastra pubblica proposto dal gruppo 3	73
Figura 61 - Padiglioni espositivi della “Art and Education Fair”	74
Figura 62 - Sequenza delle fasi di allestimento della mostra da parte del team Polito-Unifi	74
Figura 63 - Parete espositiva con gli sketch di progetto.....	75
Figura 64 -Modello realizzato dal gruppo 1.....	76
Figura 65 - Modello realizzato dal gruppo 2.....	76
Figura 66 - Modello realizzato dal gruppo 3.....	77
Figura 67 - Vista a volo d'uccello del progetto del gruppo 3.....	78
Figura 68 - Vista dall'alto del progetto del gruppo 3.....	78
Figura 69 - Vista prospettica del progetto del gruppo 3	79
Figura 70 – Foto del gruppo 3 in occasione della presentazione del lavoro alla fiera organizzata dal Future Lab di Shanghai.....	80
Figura 71 - Foto conclusiva del workshop a team riuniti, con la presenza del Consolato Italiano a Shanghai e dell'ex ministro dell'Istruzione, dell'università e della ricerca Lorenzo Fioramonti	80
Figura 72 - Masterplan di progetto	94
Figura 73 – Planimetria e sezione territoriale	95

Figura 74 - Focus sui laboratori sotto la piastra rivolti verso il lungofiume	95
Figura 75 - Piante della distribuzione interna del piano terra e del primo piano	96
Figura 76 - Piante della distribuzione interna del secondo piano e del piano terrazzato.....	96
Figura 77 - Sezione prospettica con evidenziata la scalinata distributiva.....	97
Figura 78 - Pianta piano primo con zonizzazione termica.....	112
Figura 79 - Planimetria in Edilclima del piano terra con zonizzazione termica e con la presenza del limitrofo padiglione del Lussemburgo, modellato ai fini del calcolo degli ombreggiamenti.....	113
Figura 80 - Visualizzazione 3D dell'edificio e del padiglione del Lussemburgo.....	113
Figura 81 – Valori ottimali per la conservazione dei manufatti, fonte Manuale dell'Architetto	118
Figura 82 - Valori ottimali per la conservazione dei manufatti, fonte Manuale dell'Architetto.....	119
Figura 83 - Valori limite raccomandati di concentrazione degli inquinanti aerodispersi, fonte Manuale dell'Architetto.....	119
Figura 84 - Vincoli conservativi relativi all'esposizione a fonti luminose, fonte Manuale dell'Architetto	120
Figura 85 - Pianta piano terra	121
Figura 86 - Pianta piano primo	121
Figura 87 - Pianta piano secondo	122
Figura 88 - Pianta piano copertura.....	122
Figura 89 - Legenda ambienti interni	123
Figura 90 – diverse tipologie di isolamento con materiali trasparenti per il risparmio energetico dell'edificio e il comfort diurno.....	125
Figura 91 - Grafico a torta della ripartizione delle dispersioni totali tra le cinque zone termiche	135
Figura 92 - Grafico a torta dell'incidenza delle diverse dispersioni sul totale.....	135
Figura 93 - Riassunto dei carichi termici per ogni locale alle ore 16:00 del mese di luglio.....	137
Figura 94 - Grafico a torta della ripartizione dei carichi termici totali tra le cinque zone termiche	137
Figura 95 - Grafico a torta dell'incidenza dei diversi carichi termici sul totale	137
Figura 96 - Riferimento fattore di vista (in piedi) fra parete orizzontale e superficie i-esima.	146
Figura 97 - Riferimento fattore di vista (in piedi) fra parete verticale e superficie i-esima.	146
Figura 98 - Grafico di correlazione tra PPD e PMV	147
Figura 99 - Pianta di progetto, primo piano	148
Figura 100 - Individuazione della posizione 1 in pianta	150
Figura 101 - Suddivisione della parete nord.....	150
Figura 102 - Suddivisione della parete est.....	151
Figura 103 - Suddivisione della parete sud.....	152
Figura 104 - Suddivisione della parete ovest.....	152
Figura 105 - Diagramma di Mollier con rappresentazione delle condizioni di comfort.....	156
Figura 106 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 1	158
Figura 107 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 2	159
Figura 108 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 3	159
Figura 109 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 4	160
Figura 110 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 5	160

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratteristiche geografiche di Shanghai	98
Tabella 2 - Caratteristiche del vento di Shanghai	98
Tabella 3 - Temperature di progetto di Shanghai.....	98
Tabella 4 - Valori medi mensili dei principali parametri caratterizzanti le condizioni climatiche di Shanghai	100
Tabella 5 - Tipologie di muri caratterizzanti l'edificio	100
Tabella 6 - Tipologie di pavimenti caratterizzanti l'edificio	100
Tabella 7- Tipologie di soffitti caratterizzanti l'edificio	101
Tabella 8 - Tipologie di ponti termici presenti nell'edificio	101
Tabella 9- Tipologie di componenti vetrati presenti nell'edificio.....	103
Tabella 10 - Stratigrafia M1	105
Tabella 11 - Stratigrafia M2	106
Tabella 12 - Stratigrafia M3	107
Tabella 13 - Stratigrafia P1	108
Tabella 14 - Stratigrafia P2	109
Tabella 15 - Stratigrafia S1.....	110
Tabella 16 - Stratigrafia S2.....	111
Tabella 17 - Calcolo delle potenze elettriche installate	115
Tabella 18 - Dati moduli fotovoltaici	116
Tabella 19 - Stratigrafia M1-2.....	126
Tabella 20 - Stratigrafia M2-2.....	127
Tabella 21 - Stratigrafia M3-2.....	128
Tabella 22 - Stratigrafia P1-2	129
Tabella 23 - Stratigrafia S1-2	130
Tabella 24 - Il calcolo del fabbisogno di energia utile invernale	132
Tabella 25 - Il calcolo del fabbisogno di energia utile estiva	133
Tabella 26 - Riassunto delle potenze disperse per zona termica	134
Tabella 27 - Calcolo delle temperature superficiali di tutte le superfici che delimitano la stanza	150
Tabella 28 – Calcolo T_{mr} parete nord	151
Tabella 29 – Calcolo T_{mr} parete est.....	151
Tabella 30 – Calcolo T_{mr} parete sud.....	152
Tabella 31 – Calcolo T_{mr} parete ovest.....	153
Tabella 32 – Calcolo T_{mr} pavimento.....	153
Tabella 33 – Calcolo T_{mr} soffitto.....	153
Tabella 34 - Valore della temperatura media radiante	153
Tabella 35 - Calcolo termini di bilancio	155
Tabella 36 - Calcolo PMV e PPD.....	155
Tabella 37 - Calcolo delle ore di discomfort nel periodo freddo ed in quello caldo	158

ABSTRACT

Questa tesi affronta il tema della rifunzionalizzazione a scopi museali del Padiglione Italia al World Expo 2010 di Shanghai. Nei primi capitoli troviamo lo studio di quello che è stata l'Esposizione Universale nella città cinese, seguito dall'analisi del contesto in cui si colloca, dei caratteri distintivi e delle tecnologie costruttive dell'edificio progettato dall'architetto Giampaolo Imbrighi, perfetto connubio tra tradizione e innovazione, con una attenzione all'ecologia e al rispetto del patrimonio culturale e sociale. Successivamente, si entra nel vivo di quella che è la proposta progettuale, elaborata attraverso una cooperazione tra il Politecnico di Torino, l'Università degli Studi di Firenze e la Tongji University di Shanghai, riassumibile nelle seguenti fasi: indagine preliminare, rilievo dello stato di fatto dell'edificio e workshop congiunto. Partendo dal futuro assetto dell'area, che diverrà un Expo Cultural Park, vengono prospettate la riorganizzazione degli spazi esterni ed interni, le strategie e le soluzioni progettuali di recupero e conservazione dell'identità propria del Padiglione, l'aggiunta di nuovi spazi aggregativi e culturali a corredo dell'esistente. Come risultato finale, sono state proposte soluzioni di retrofit energetico dell'involucro, corredate da possibili strategie impiantistiche, che mirano al controllo dei parametri di qualità ambientale sia per le opere d'arte sia per le persone.

This thesis addresses the theme of the refurbishment for museum purposes of the Italy Pavilion at the World Expo 2010 in Shanghai. In dealing with the study of the former Universal Exhibition in the Chinese city, the first chapters focus on the analysis of the surrounding context, as well as the main features and the constructive technologies of the building designed by architect Giampaolo Imbrighi. Inasmuch as it pays attention both to ecology and to cultural and social heritage, this construction is a perfect blend of tradition and innovation. Thereafter lays the core of the project proposal. It was arranged through a cooperation between the Polytechnic of Turin, the University of Florence and the Tongji University of Shanghai, and it can be summarized in the following steps: preliminary investigation, survey of the building's state of affairs and joint workshop. Starting from the future layout of the area, which will become an Expo Cultural Park, this work proposes the re-organization of the external and internal spaces, the strategies and design solutions for renovation and preservation of the identity of the Pavilion, the addition of new cultural and aggregate spaces to accompany the existing. As a final result, energy retrofit solutions have been proposed for the envelope, accompanied by possible systems strategies, which aim to control the parameters of environmental quality both for artworks and for people.

PREMESSA

Il presente lavoro di tesi magistrale va ad inserirsi nel complesso ambito del recupero e della conservazione dell'esistente, come esempio di intervento virtuoso finalizzato a ricucire le connessioni con il tessuto urbano. Nella città futura, estesa e densamente popolata, si prospetta l'esigenza di inclusione dei nuovi insediamenti periferici nella rete globale delle comunicazioni, di renderli sostenibili tramite l'impiego di tecnologie innovative ed eco-compatibili, di assicurare la fruibilità dell'offerta culturale al fine di incentivarne la partecipazione alla vita della comunità. Oggi più che mai, i nuovi agglomerati urbani possiedono gli strumenti scientifici ed economici per conseguire tali obiettivi, ma questi mezzi risultano efficaci solo se la filosofia dello sviluppo urbano si fonda sul rispetto della natura umana e mantiene come motivo centrale l'uomo, la sua dignità, le sue ambizioni e le sue relazioni sociali. *Città Ideale. Città dell'Uomo*. Questo il titolo del Padiglione Italia al World Expo 2010 di Shanghai, il caso studio affrontato in questo saggio, che si propone come modello per una nuova concezione di città, un edificio dalla spiccata modernità costruttiva e figurativa, ma con le radici nella secolare tradizione italiana. Una sfida nata dal Joint Design Studio tra le università di Torino, Firenze e Shanghai, che, partendo dalla riqualificazione urbana, attraverso lo studio di quelle che sono le identità caratterizzanti il costruito, arriva a conferire una nuova funzionalità all'edificio, con lo scopo di creare un epicentro culturale d'Italia a Shanghai. La vetrina delle eccellenze italiane sarà parte integrante del nuovo Expo Cultural Park, un progetto che, proponendo un corridoio verde verso il fiume Huangpu, dà vita ad aree diversificate per destinazione d'uso e sviluppo e ripristina la qualità ambientale della zona. Operando nell'ottica brandiana della riconoscibilità dell'intervento, in un workshop congiunto tra i tre atenei, vengono proposte diverse soluzioni di rifunzionalizzazione dell'edificio, mantenendo come attività cardine quella museale. L'opportunità di un dialogo internazionale e multiculturale ha giocato un ruolo indispensabile, che ha reso la visione progettuale unica e condivisibile dalle più disparate prospettive.

1 L'EXPO 2010 DI SHANGHAI: LA VIA DELLA SOSTENIBILITÀ URBANA

1.1 IL TEMA

Il 3 dicembre 2002, durante la 132° assemblea generale del BIE (Bureau International des Expositions), la Cina viene scelta come sede dell'Expo 2010. L'esposizione si è svolta dal 1 maggio 2010 al 31 ottobre 2010, per un totale di 6 mesi. Il tema, "Better City, Better Life" vuole porre l'attenzione sull'applicazione dei principi della sostenibilità alla riqualificazione dei centri urbani su scala mondiale, al fine di migliorare gli spazi delle città e le condizioni di vita degli abitanti. Franco Purini, docente della Facoltà di Architettura dell'Università di Roma "La Sapienza", nonché membro della Commissione Giudicatrice del concorso di idee per la progettazione del padiglione italiano per l'Expo 2010 a Shanghai, definisce il suddetto "la più importante dimostrazione visiva dell'attuale condizione del mondo, una situazione geopolitica divisa tra le resistenze delle culture locali e il diffondersi sempre più veloce e potente di logiche unificanti". Il tema viene articolato tramite forme di presentazione, visualizzazione, discussione e comunicazione che focalizzano l'attenzione sulla realtà metropolitana, sui rapporti fra città e natura e sulla vita quotidiana delle persone, favorendo l'approfondimento di idee che prefigurano le città e gli stili di vita del futuro.

La crisi della globalizzazione e dei suoi modelli di omologazione hanno creato i presupposti per l'emergere di un "nuovo umanesimo" che torna a guardare all'uomo come padrone indiscusso della propria vita, in grado di dare forma alla sua città ideale. Su questa riflessione si fonda l'idea del Padiglione Italia, in perfetta analogia con il tema portante dell'Esposizione Universale: un vero e proprio borgo in miniatura che coniuga la tradizione urbanistica dei centri storici italiani dal complesso reticolo di vie e vicoli, duplice omaggio, oltre che al paese d'origine anche a quello ospitante, date le analogie con le connotazioni delle antiche città cinesi, con una scienza del costruire attenta a ricerca e innovazione in termini di impiego di materiali eco-compatibili e tecnologie d'avanguardia nel rispetto

dell'ambiente e del patrimonio culturale e sociale. "Una struttura architettonica al tempo stesso popolare e tecnologica, creativa e consapevole, ardita e umile: perfetta sintesi del capitale artistico e culturale dell'Italia."¹ Sebbene il padiglione appaia internamente frazionato in più corpi di dimensioni diverse e irregolari, collegati da strutture-ponte in acciaio, esso acquista unitarietà formale grazie alla luce: luce che filtra attraverso i tagli obliqui delle pareti, luce che si propaga tramite i muri semi-trasparenti, luce che si riflette sulla lama d'acqua che circonda l'edificio. La luce non è che una metafora della vita, dell'energia positiva e della dirompente forza di un paese dinamico che guarda al futuro con la giusta prospettiva.

1.2 LA RIGENERAZIONE URBANA

Uno degli obiettivi principali di questa edizione dell'Expo è individuare una soluzione per costruire città in armonia con i principi dell'ecologia. L'edificazione di centri urbani che rispettino l'equilibrio fra ecologia naturale ed ecologia sociale, con lo scopo di innalzare la qualità della vita è una argomentazione più che mai attuale che non interessa solo i paesi in via di sviluppo, ma coinvolge anche i paesi sviluppati nella ricerca di una soluzione. Le città e altresì la vita che si svolge al loro interno sono un prodotto dell'uomo, che tramite il processo di costruzione urbana realizza i propri sogni e ricostruisce sé stesso. "L'Esposizione Universale è un'occasione importante di stimolo all'urbanizzazione, la storia dell'Expo è anzi legata indissolubilmente all'evoluzione di questo processo. Ogni Esposizione Universale è di fatto una variazione continua sul tema della città che promuove la rigenerazione urbana e lo sviluppo sostenibile, introducendo una tendenza alla riurbanizzazione" afferma nel 2014 Zheng Shiling, professore alla Tongji University, consulente per l'Expo di Shanghai 2010 e direttore del comitato per la strategia di sviluppo urbano della Commissione di Pianificazione di Shanghai². Secondo Shiling l'unico modo

¹ <http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2010/05/ArcVision22-shanghai.pdf>

² <https://www.area-arch.it/il-tema-dellexpo-shanghai-2010-e-il-suo-significato/>

per migliorare la vita quotidiana degli abitanti è sviluppare i centri urbani secondo modalità sostenibili, vale a dire come città costruite sulla base di principi quali ragionevolezza delle strutture, completezza delle funzioni urbane, diversificazione delle culture e comfort delle condizioni di vita. Questa è proprio l'interpretazione che l'Expo di Shanghai dà al tema sopracitato. Ne è chiaro esempio la scelta della sede ospitante, la zona industriale lungo il fiume Huangpu, simbolo del ruolo strategico svolto dal principio guida di uno sviluppo urbano sostenibile. Il percorso intrapreso diventa quindi un modello di rinnovamento urbano, di riorganizzazione delle strutture cittadine e di interazione con il sito dell'Esposizione Universale.



Figura 1 - Vista notturna dell'area dell'Expo, foto di Sheng Zhong Hai

1.3 IL RUOLO IN DIVENIRE DELLE ESPOSIZIONI UNIVERSALI

Durante la fase preliminare delle precedenti Esposizioni, la strategia di pianificazione e costruzione adottata dalle città ospitanti ne ha incentivato l'espansione. Molte hanno visto il loro tessuto mutarsi in quello di metropoli internazionali proprio grazie all'Expo e hanno beneficiato di uno sviluppo sociale, economico e culturale. Si può affermare che le Esposizioni Universali siano un vero e proprio elemento catalizzante, in grado di favorire il rinnovamento urbano, migliorando la qualità dello spazio e altresì ampliandolo incorporando aree nuove nel tessuto preesistente. Anche il trasporto regionale affronta una fase di eccezionale potenziamento, con conseguente miglioramento della qualità degli stili

di vita dei residenti. Trattandosi di eventi a risonanza mondiale, le Esposizioni hanno da sempre svolto un ruolo attivo nel promuovere l'immagine delle città ospitanti. I primi Expo hanno direttamente influenzato l'evoluzione dei contesti metropolitani che le hanno accolte, gettando le basi per il futuro sviluppo delle aree limitrofe. Oggi, il successo di una Esposizione Universale fonda le sue basi su alcuni prerequisiti fondamentali, ovvero la presenza di un ambiente urbano favorevole, una precisa ed esplicita strategia di sviluppo e una conseguente pianificazione attuativa. Nell'odierna era della globalizzazione l'Esposizione Universale, oltre che rappresentare la capacità competitiva della città ospitante, costituisce la forza motrice per il conseguimento degli obiettivi di sviluppo cittadini, svolgendo un ruolo cardine nella futura evoluzione della compagine urbana. L'Ufficio Internazionale delle Esposizioni (BIE), nella scelta della nazione ospitante tra le candidate, tiene conto in particolare del possibile rapporto strategico fra l'Esposizione e la realtà urbana proposta, considerando, tra gli altri, la coerenza fra il piano di sviluppo urbanistico e le strutture dell'Expo, ma anche quale ruolo esso potrebbe svolgere nel contesto dato. Un altro elemento fondamentale è la possibilità di sviluppo sostenibile successiva all'Esposizione, affinché il sito non resti un nucleo separato dal tessuto urbano. Questo perché se in principio il sito dell'Expo era un mero spazio all'interno della città, oggi è necessariamente una parte integrante del suo cuore pulsante. Quelli che prima erano singoli edifici sono diventati veri e propri complessi architettonici. Inoltre sono apparsi nuovi edifici supplementari a corredo del sito, come centri conferenze, auditorium, complessi polifunzionali e altre strutture di servizio. Il sito dell'Expo è una sorta di città in miniatura, dotata anche di un sistema infrastrutturale completo: stazioni ferroviarie e metropolitane, linee dell'autobus, parcheggi e altre strutture per i trasporti. Il successo dell'intero evento risiede nella collaborazione integrata tra la pianificazione urbanistica, quella edilizia, la sistemazione paesaggistica, gli allestimenti espositivi, la segnaletica stradale e altri sistemi. È altresì vero che un ruolo chiave per l'affermazione dell'Expo lo interpretano l'ubicazione della città scelta nella regione di pertinenza ed anche i legami che le due entità territoriali stabiliscono fra loro in termini di trasporti, ambiente e gestione urbanistica.

1.4 DALLA SCELTA DELL'AREA OSPITANTE ALLA COSTRUZIONE DELL'EXPO

Sebbene solo nel 1999 prenda veramente forma il progetto di candidare Shanghai come città ospitante, essa si prefigge l'obiettivo di ospitare un'Esposizione Universale fin dal 1984 e il piano regolatore generale lo ha da tempo considerato, destinando un'area specifica a questo scopo. Si tratta della zona lungo le rive del fiume Huangpu, fra i ponti Lupu e Nanpu, ed il 14 settembre 2001, durante un incontro con il BIE, la delegazione di Shanghai fa la sua proposta. Questa viene accettata poiché la città in quel periodo è un'ottima candidata: sta attraversando una fase di sviluppo che non può non essere incentivata e, oltre a questo, il tema proposto calza perfettamente con la sua crescente urbanizzazione. Shanghai, infatti, è la città che più di tutte in Cina sta subendo tale fenomeno. Da un lato si assiste al progressivo rinnovamento e allo sviluppo del quartiere di Pudong, mentre dall'altro lo spazio cittadino e le aree industriali si avviano verso un percorso di ristrutturazione. Nel contesto che si va delineando, il fiume Huangpu diventa il fulcro della città, imponendo di trasferire il porto e modificare in maniera radicale le zone industriali che si affacciano sulle sue rive. Per tale motivo, nel 2000, viene predisposto un piano generale per riqualificare le due sponde del fiume, comprendendo una superficie totale di 22,6 km². Il piano prevede di trasformare l'area industriale in spazio pubblico dove collocare l'Expo, sia su una riva che su quella opposta del Huangpu, riconvertendo quindi il lungofiume. Nel periodo tra settembre e ottobre 2001 l'ufficio urbanistico di Shanghai e il comitato per la candidatura della città all'Expo 2010 collaborano per definire a stretto giro il piano concettuale e progettare il sito, prevedendo sia la riqualificazione di tutti gli edifici industriali che la conservazione di quelli storici. A presentare i propri progetti, fondati su soluzioni eco-compatibili che rendano l'Expo di Shanghai un vero modello di sostenibilità ambientale, vi sono sette studi di architettura, provenienti da Australia, Italia, Francia, Spagna, Germania, Giappone e Canada, insieme a due studi di architettura cinesi. Gli interventi urbanistici afferiscono ad un'area di 6,68 km², mentre il solo sito dell'Expo riveste una superficie di 5,28 km², di cui 3,93 km² attinenti al quartiere di Pudong e 1,35 km² a quello di Puxi. La superficie coperta totale, invece, raggiunge i 3,28 km², dei quali 2,39 km² si trovano nel quartiere di Pudong e

0,98 km² in quello di Puxi. Un dato importante per capire la profonda trasformazione a cui è andato incontro il centro urbano è il numero di cittadini coinvolti dagli interventi urbanistici: ben 25000 famiglie e 326 soggetti fra imprese e organizzazioni, tra le quali una fabbrica di acciaio, diverse industrie chimiche, un cantiere navale, delle centrali elettriche, alcune fabbriche di macchinari navali e una zona portuale. Parliamo di un totale di 12 fabbriche, situate sul lato occidentale del sito dell'Expo, in una zona che ha visto nascere la prima impresa industriale della Cina: l'arsenale Kiangnan, aperto nel 1865 e i cui edifici principali erano da tutelare. Per riuscire a fare ciò e al contempo dare loro una nuova destinazione d'uso, alcuni di essi vengono convertiti in musei, uno dedicato alle costruzioni navali, uno al commercio e un terzo all'energia elettrica.

Da aprile a luglio 2004, ha inizio la successiva fase di pianificazione, coadiuvata dall'ufficio di coordinamento dell'Expo e da quello urbanistico di Shanghai, la quale vede partecipati lo studio Richard Rogers & ARUP dall'Inghilterra, lo studio Perkins Eastman dagli Stati Uniti, un consorzio internazionale facente capo alla Tongji University e 10 istituti di architettura e progettazione urbanistica di Hong Kong, Giappone, Germania, Francia e Canada. Nel dicembre 2004, il comitato organizzativo, dopo aver confermato il piano generale, affida ai progettisti Wu Zhiqiang, Xu Yisong e Shendi il compito di pianificare la configurazione del sito. Nel giugno 2005 avviene l'approvazione della progettazione completa e dettagliata dell'area dell'Expo, da parte dell'Istituto di ricerca sul design e la pianificazione urbanistica di Shanghai, la quale prevede 18 piani specifici, interessando una superficie calpestabile pari a 1,83 milioni di metri quadrati. Nel luglio dello stesso anno inizia la vera e propria progettazione urbanistica. Successivamente, da aprile a giugno 2007, si svolge il concorso per la progettazione del Padiglione cinese. Dopo diverse analisi da parte degli esperti, vengono scelti per la realizzazione il progetto di He Jingtang, supportato dall'Università di tecnologia della Cina meridionale, e quello proposto dallo studio di progettazione architettonica di Pechino, Qinghua-Andi, sostenuto dall'Università di Tsinghua.

L'ingresso all'area dell'Esposizione avviene tramite l'Expo Axis, un complesso longitudinale di 1045 metri disposto lungo la direttrice sud-nord del sito che collega tutti gli edifici principali, fra cui il Padiglione cinese, l'Expo Center, i padiglioni tematici e l'Expo

Cultural Center. Al suo interno sono collocati aree espositive, zone belvedere, spazi relax e ricreativi.



Figura 2 - Vista dell'Expo Axis e del Padiglione cinese di notte, foto di Sheng Zhong Hai

Il sito dell'Esposizione Universale di Shanghai 2010 è il più vasto nella storia dell'Expo. Il futuro sviluppo urbanistico della città sarà fortemente influenzato da un evento di queste proporzioni e sarà auspicabile un rinnovamento in termini di eco-compatibilità e migliori condizioni di vita. Oltre alla trasformazione delle infrastrutture cittadine, l'Expo genera effetti sull'economia e sullo sviluppo urbanistico della città e impone una immediata riflessione sulle future funzioni del sito al termine della manifestazione nonché la ricollocazione delle strutture impiegate. Per utilizzare le parole di Zheng Shiling, "l'utilizzo del sito dell'Expo al termine dell'evento è strettamente connesso con lo sviluppo sostenibile della città"³.

³ <https://www.area-arch.it/il-tema-dellexpo-shanghai-2010-e-il-suo-significato/>

2 IL PADIGLIONE ITALIA

2.1 I PRINCIPALI CARATTERI DISTINTIVI



Figura 4 – Vista sud-est del Padiglione Italia, con in evidenza il blocco di ingresso vetrato, foto di Luciano Romano

Il Padiglione Italia ad Expo Shanghai 2010 è situato nell'Area C dell'Expo Park, attinente al quartiere di Pudong, e presenta una pianta rettangolare:

- Il lato parallelo al fiume Huangpu è lungo 70 m;
- Il lato perpendicolare è lungo 60 m;
- Il totale di superficie coperta è pari a 4200 m²;
- L'altezza è di 20 m.

La facciata è costituita da 3774 pannelli di cemento trasparente i.light® (500x1000x50 mm), sviluppato dall'azienda italiana Italcementi, per una superficie totale di 1887 m²,

l'equivalente di circa il 40% dell'intera struttura architettonica. Questo materiale genera nell'edificio una sequenza di luci e ombre che cambia costantemente durante l'arco della giornata. Si tratta di un prodotto innovativo capace di offrire un effetto di trasparenza attraverso la miscelazione del cemento e di additivi con matrice a base di resine polimeriche. Il Padiglione è stato progettato da Giampaolo Imbrighi, docente presso la Sapienza Università di Roma nonché autore del progetto del Padiglione Italia, che, in un'intervista per Area nel 2014⁴, afferma "Il tema stesso dell'Expo ci ha lanciato la sfida verso una progettazione fatta di spazi a misura d'uomo, in simbiosi con modelli di vita sociale contemporanei che pongano sempre l'uomo al centro dell'attenzione". Il tema "Better City, Better Life" viene, difatti, declinato pensando al Padiglione Italia come ad una vetrina delle eccellenze italiane nei diversi ambiti che caratterizzano la qualità della vita urbana. Per raggiungere questo scopo vengono invitati ad esporre le nuove tendenze i campi dell'ingegneria, dell'architettura, del design, dei nuovi materiali e delle tecnologie innovative. A supporto di questa partecipazione vi è logicamente l'intera struttura del Padiglione, progettata secondo tecniche costruttive eco-sostenibili. Quello che esternamente può sembrare un unico volume puro, racchiude al suo interno più corpi edilizi a sé stanti collegati tra loro da ponti d'acciaio che lasciano intravedere i ballatoi di connessione, e vuole essere un tributo, oltre che alla cultura italiana, anche a quella della città ospitante. La sua forma, che inizialmente può ricordare il gioco cinese detto in Italia "Shanghai" (Figura 5), evoca non solo la complessità topografica dell'impianto delle città italiane medievali, con il loro succedersi di vie strette, corti e vicoli che si dilatano improvvisamente negli spazi aperti delle piazze, ma è anche una chiara analogia ai nuclei urbani cinesi tradizionali.

⁴ <https://www.area-arch.it/italy-pavilion/>

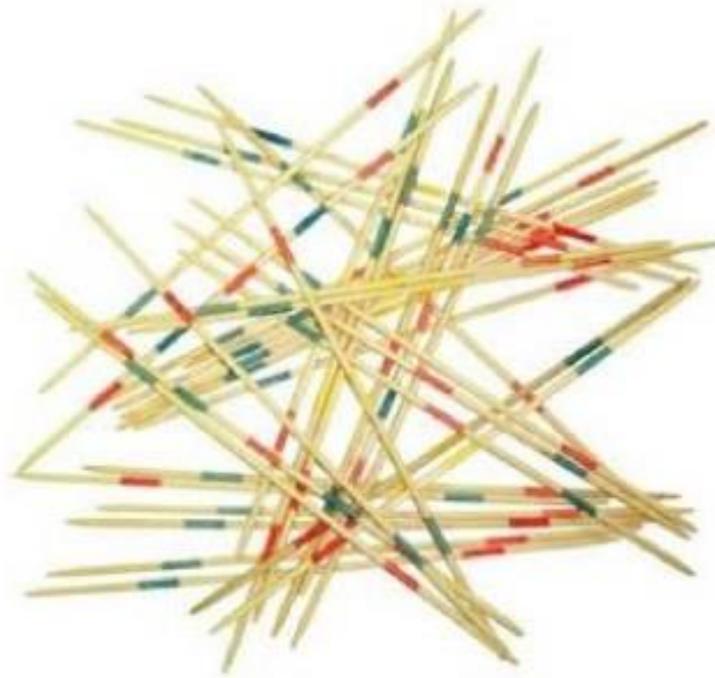


Figura 5 - Disegno di ispirazione per il progetto, a cura di Chen Zhiliang

Il legame con l'elemento naturale è rafforzato da diversi principi: la corte bioclimatica centrale, la lama d'acqua che avvolge il perimetro esterno, la luce naturale che si propaga attraverso i tagli laterali in facciata e il volume vetrato. È proprio la luce, che Imbrighi definisce l'elemento determinante il progetto dal punto di vista estetico, a rendere protagonista la trasparenza, a partire dalla immaterialità del vetro fino alle superfici diafane del cemento. Egli infatti, parlando del progetto, spiega: “Dodici, distinti volumi asimmetrici costituiscono un unicum architettonico dominato da un equilibrato rapporto tra pieni e vuoti, tra superfici opache e traslucide o trasparenti, sottolineato da bruschi cambiamenti percettivi veicolati esclusivamente mediante la luce. Si entra nella grande hall invasa dalla luce, spazio-polmone pensato anche per gestire i picchi d'afflusso dei visitatori, per poi iniziare un percorso articolato fra ambienti dilatati o ristretti, caratterizzati da intensità luminose differenti”⁵.

⁵ <https://www.area-arch.it/italy-pavilion/>



Figura 6 - Vista nord-est del Padiglione, dalla quale è possibile intuire la percezione delle luci interne attraverso il cemento semi trasparente al calar del sole



Figura 7 - Scorcio di uno dei tagli in facciata, che genera una apertura alla quale si accede tramite la passerella che attraversa la lama d'acqua

Imbrighi collabora con il team di Iodice Architetti e Luo Shaojian, Kong Rongkai e Chen Zhiliang dello Shenzhen General Institute of Architectural Design and Research. L'architetto progetta spazi a misura d'uomo, in cui egli possa sentirsi nuovamente al centro ed in simbiosi con l'ambiente che lo circonda, vivendo secondo i principi dell'ecologia, adottando soluzioni energicamente efficienti e sfruttando fonti rinnovabili. Questa sfida vede il suo compimento solo quando i diversi aspetti del progetto dialogano e collimano gli uni con gli altri. Tale tematica è sempre più cara ai progettisti del futuro, che modificano le loro competenze a seconda del mutato stato della società in cui vivono e, di conseguenza, anche della città. Caratteristica fondamentale delle città italiane del Rinascimento non è mai stata il territorio in cui venivano edificate, tantomeno il numero degli abitanti o la capacità offensiva in tempi di conflitto, bensì la coesione e il sistema di regole che ha unito i cittadini e che ha favorito la creazione di società armoniose, di economie fiorenti e di culture raffinate. In sostanza, le "grandi" città sono, nel pensiero italiano, non tanto città di ampie dimensioni quanto piuttosto città sostenibili che offrono ai residenti le migliori condizioni di sviluppo, che ne soddisfano le esigenze, che ne esaltano il potenziale. Città plasmate, per l'appunto, a misura d'uomo, vivibili e stimolanti, belle ed efficienti in cui si vive felicemente.⁶ Nell'ottica di un edificio-città vivibile ed armonioso il rapporto tra spazialità e funzionalità gioca un ruolo considerevole ed è fortemente influenzato dalla destinazione d'uso. Trattandosi di un padiglione espositivo, esso è pensato per essere temporaneo, flessibile, modulabile e riadattabile sotto un duplice aspetto: sia dal punto di vista delle funzioni interne – mostre, eventi, manifestazioni molto diverse tra loro ed alternate in tempi brevissimi – sia da quello di una possibile declinazione futura – dovendo prevedere l'eventualità che, alla fine dell'Expo, esso venga smontato e rimontato in un altro luogo. Questo duplice obiettivo viene raggiunto da Imbrighi e dal suo team utilizzando una tipologia strutturale che consente di realizzare grandi luci, idonee a garantire la massima flessibilità formale, funzionale e distributiva degli spazi. Si tratta del sistema a secco, realizzato con una struttura portante in acciaio. Questo ha agevolato anche la cantierabilità, riducendo sensibilmente i tempi di esecuzione. Il Padiglione Italia è stato premiato come migliore

⁶ https://www.arketipomagazine.it/whitepaper_library/padiglione%20Italia%20a%20Shanghai.pdf

struttura realizzata a Shanghai nel 2009, non solo in veste di modello di qualità architettonica e progettuale, ma anche come un eccellente esempio concreto e permanente dei grandi risultati ottenibili grazie allo sviluppo tecnologico e all'abilità degli italiani.

In sintesi, i concetti fondanti di questa città in miniatura sono: il tributo al regionalismo, alla poliedricità di usi e di costumi delle due nazioni analoghe Cina ed Italia, entrambe denotate da un antico ed importante background storico; la rilettura in chiave moderna della tradizione urbana sia italiana – con il riferimento all'impianto del borgo - sia cinese – tramite la costruzione della corte e dei vicoli; l'elemento naturale dell'acqua quale elogio alla fonte di sostentamento, vita e sviluppo delle popolazioni e dell'industria.

2.2 L'ANALISI DEL CONTESTO OPERATA DURANTE LA FASE PRELIMINARE DEL JOINT STUDIO

Il Joint Design Studio tra le università di Firenze, Torino e Shanghai ha inizio a fine settembre 2019 ed ha come obiettivo conclusivo la consegna di una proposta di riqualificazione a scopi museali del Padiglione Italia al Consolato Generale d'Italia a Shanghai, promotore dell'iniziativa. La fase preliminare, fissata tra ottobre e novembre 2019, vede operare i tre atenei separatamente e su tre distinti ordini di approfondimento: Torino si occupa dell'analisi del contesto urbano, prima e dopo l'Expo, Firenze del modello BIM dell'edificio e Shanghai dei progetti museali come casi studio di riferimento. I risultati verranno poi esposti presso la "Art and Education Fair" organizzata dal Future Lab che si terrà dal 26 al 29 novembre 2019 presso il West Bund Art Center di Shanghai, in occasione della visita di Lorenzo Fioramonti, ex Ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca della Repubblica Italiana e alla presenza di Roberto Pagani, Science and Technology Counsellor del Consolato Generale Italiano di Shanghai. Parallelamente, in occasione del workshop congiunto presso la Tongji University, si realizzerà la combinazione dei tre ambiti di analisi a formare le ipotesi progettuali.

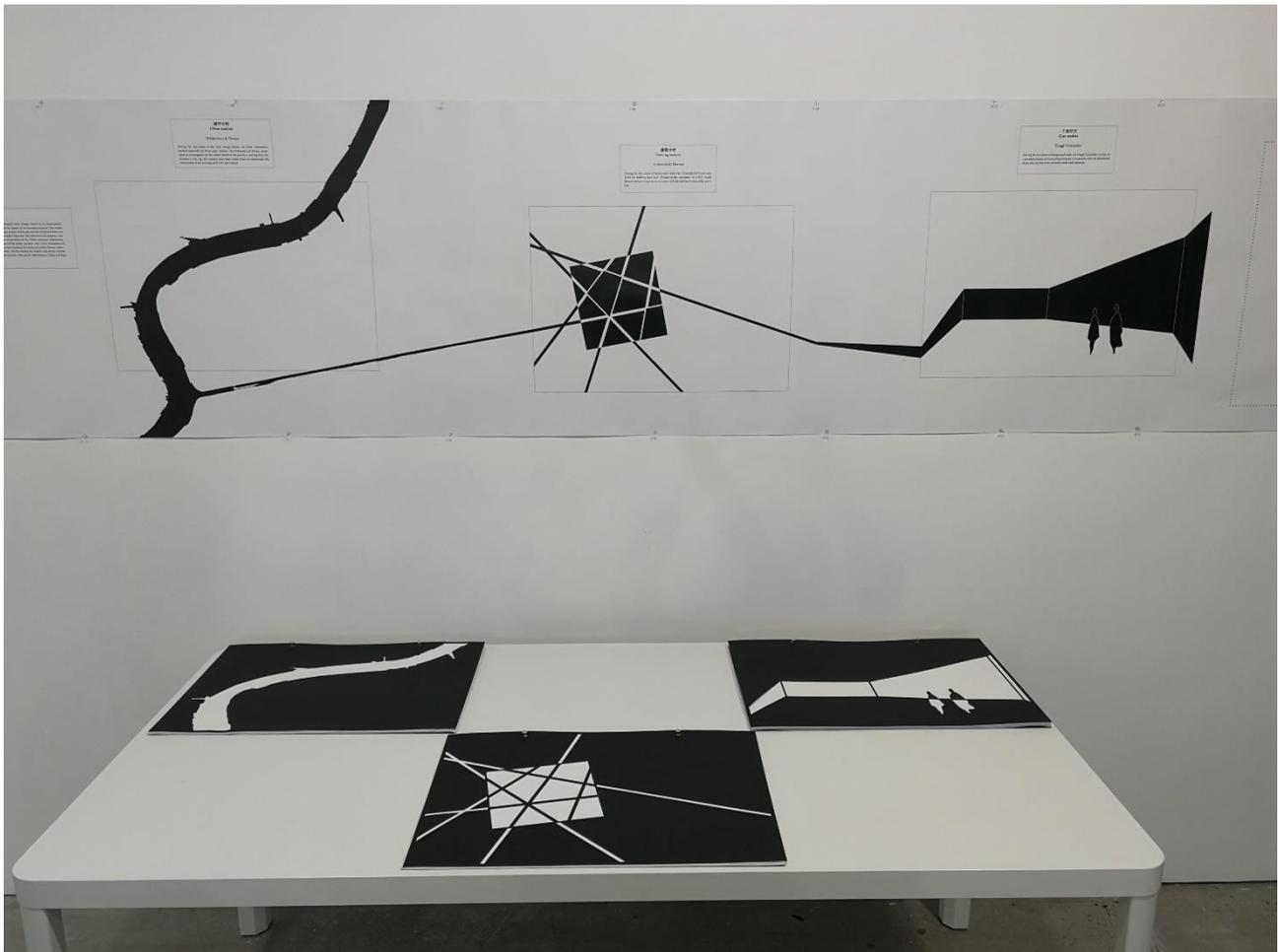


Figura 8 - Esposizione dei tre book di analisi svolte dalle tre università, presso la fiera "Art and Education" a Shanghai

Il lavoro svolto dal team del Politecnico di Torino, presentato dagli studenti durante l'esposizione alla "Art and Education Fair" organizzata dal Future Lab, viene riassunto nei seguenti schemi progettuali, che seguono il processo logico di analisi e studio delle preesistenze locali e dei punti di interesse che caratterizzano il tessuto urbano, partendo dalla macro scala fino a scendere nel dettaglio del lotto che ospita il Padiglione Italia. Gli studenti che hanno collaborato alla stesura dei seguenti elaborati sono: Giulia Bufo, Gianluca Basile, Laura Barrios, Azadeh Nickmanesh Elahi.

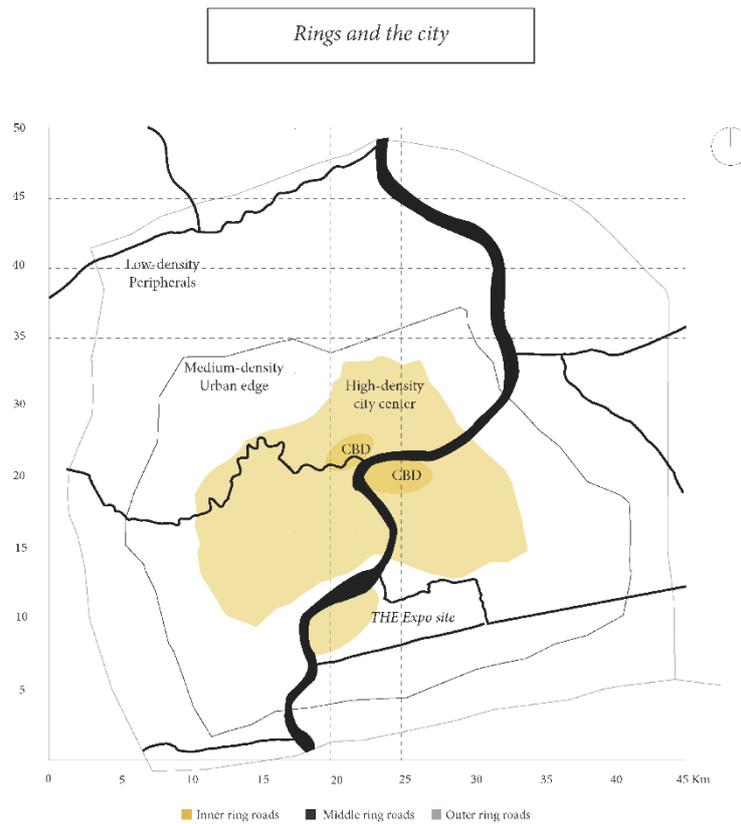


Figura 9 - Tavola di analisi urbana n°1

Per comprendere come meglio intervenire sul lotto di progetto si è partiti, in prima istanza, dall'analisi dell'assetto urbano della città di Shanghai. Essa è attraversata da un grande canale chiamato Huangpu – evidenziato in nero in Figura 9 – dal cognome del primo ministro cinese Lord Chunsen, che all'incirca nel terzo secolo A.C. ne ha voluto la realizzazione. Il fiume è il più grande della città, per questo motivo è detto anche “mother river” di Shanghai, ed è stato uno dei primi canali in Cina ad essere creato dall'uomo. Si origina dal lago Dianshan, nel Distretto Qingpu di Shanghai, per una lunghezza totale di 113 km fino ad essere tributario di destra del fiume Yangtze (fiume Azzurro) nella sua parte terminale che, in seguito, sfocia nel Mar Cinese Orientale. In media, il fiume è largo 400 m e profondo 9 m ed attraversa 10 distretti della città, dividendola in due sezioni: Pudong e Puxi. Shanghai è, inoltre, suddivisa in tre anelli principali, dalle periferie a poca densità abitativa, al confine urbano mediamente popolato, fino al centro città ad alta densità di popolazione.

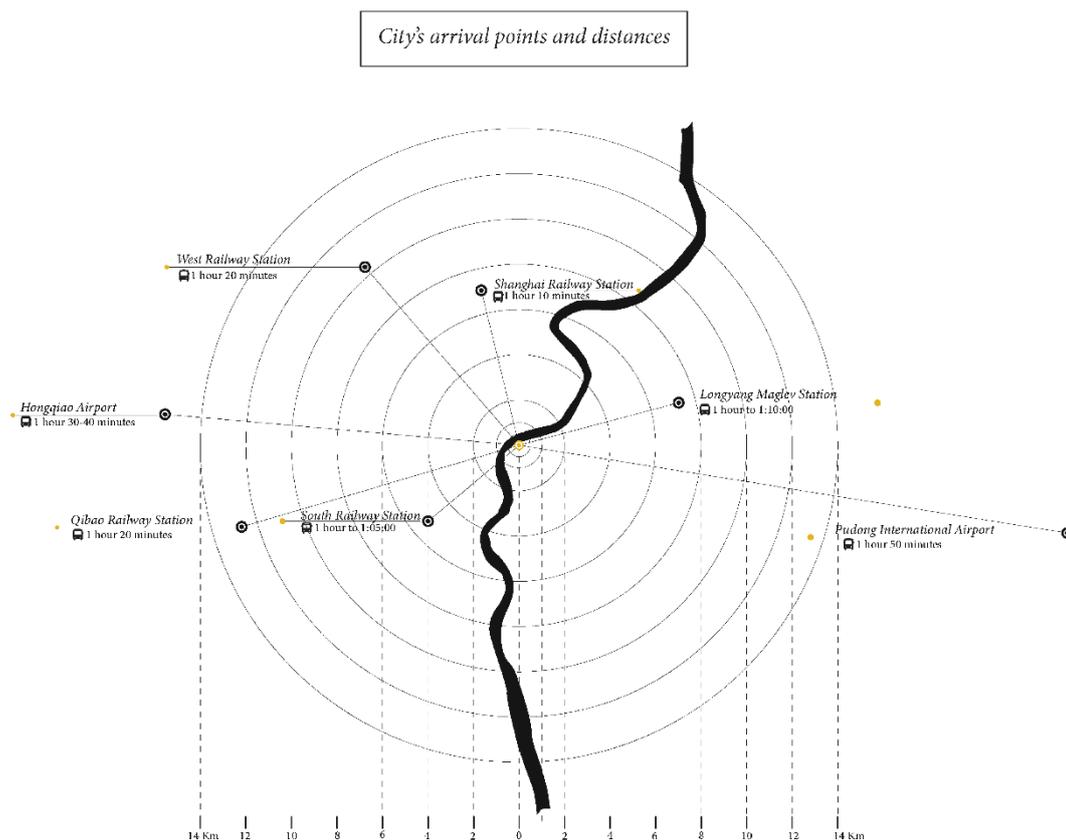


Figura 10 - Tavola di analisi urbana n°2

Successivamente, sono stati studiati i principali nodi di arrivo al centro cittadino, sia tramite il treno che l'aereo, e le rispettive distanze dall'area di progetto. È stata presa in considerazione anche la distanza dalla stazione di Longyang del Maglev, il treno a levitazione magnetica che attraversa la città fino a raggiungere una velocità di 431 km/h. Trattandosi di un centro urbano molto vasto, le distanze ed i tempi di percorrenza sono notevoli. Non c'è quindi da meravigliarsi se il minimo tempo che risulti per raggiungere la stazione più vicina sia di almeno un'ora. Questa è più che una consuetudine per chi vive in una metropoli come Shanghai.

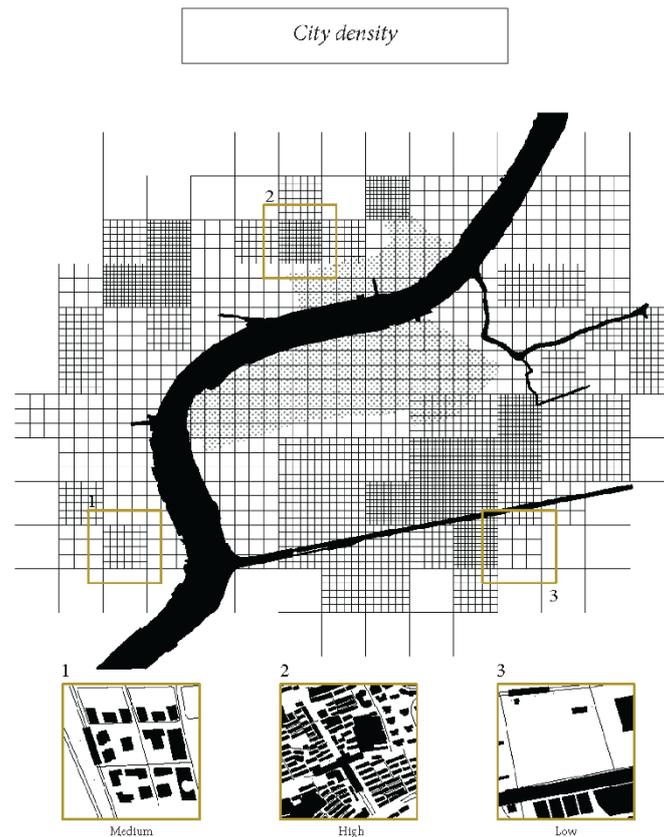


Figura 11 - Tavola di analisi urbana n°3

Si è, quindi, deciso di analizzare il tessuto urbano attraverso tre livelli di densità del costruito, bassa, media e alta, come mostrato in Figura 11. Si percepisce chiaramente come la disposizione dei fabbricati sia molto eterogenea e le zone ad alta densità siano quasi sempre lontane dalle sponde del fiume Huangpu. L'intera area adibita all'Expo 2010, che prima era il cuore dell'industria pesante di Shanghai, è ora quasi del tutto dismessa e disabitata. L'iniziativa di creare un nuovo parco culturale per la collettività è, quindi, fondamentale nell'ottica di una riqualificazione dell'intero lungofiume, intesa anche come miglioramento della qualità di vita degli abitanti.

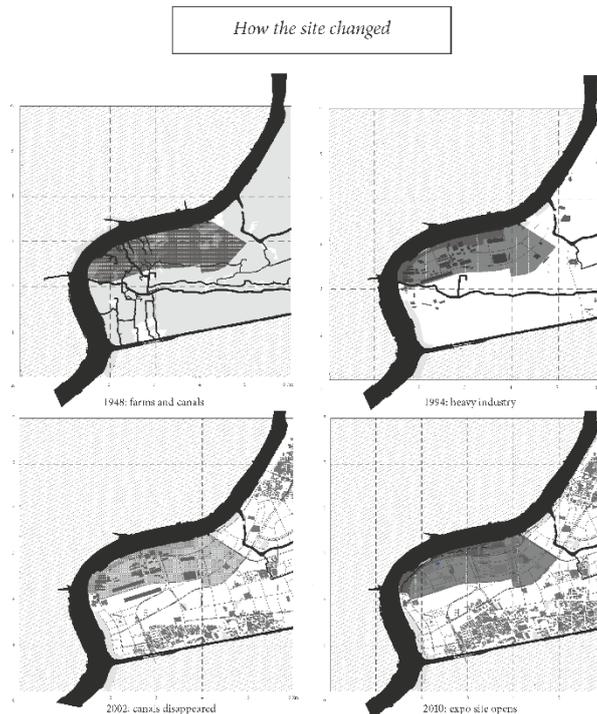


Figura 12 - Tavola di analisi urbana n°4

Le quattro mappe soprastanti mostrano l'evoluzione del sito dell'Expo e delle zone limitrofe al passare degli anni. Come detto in precedenza, l'area era sede dei più importanti impianti industriali di Shanghai, ma prima, fino agli inizi del 1900, il paesaggio era fortemente caratterizzato dalla presenza di numerosi canali e le attività che vi si svolgevano riguardavano prevalentemente l'agricoltura e l'allevamento. Già dal 1991, quando l'industria pesante era nel pieno del suo sviluppo, ed anche successivamente, con la riconversione della maggior parte dei fabbricati industriali in edifici espositivi e di servizio per l'Esposizione Universale, la stragrande maggioranza dei canali era stata eliminata. Nel 2010, l'unico elemento connotante l'assetto urbano dell'area in analisi rimane il fiume Huangpu ed il sito dell'Expo appare costellato dai padiglioni espositivi delle 186 nazioni e delle 47 organizzazioni internazionali partecipanti.

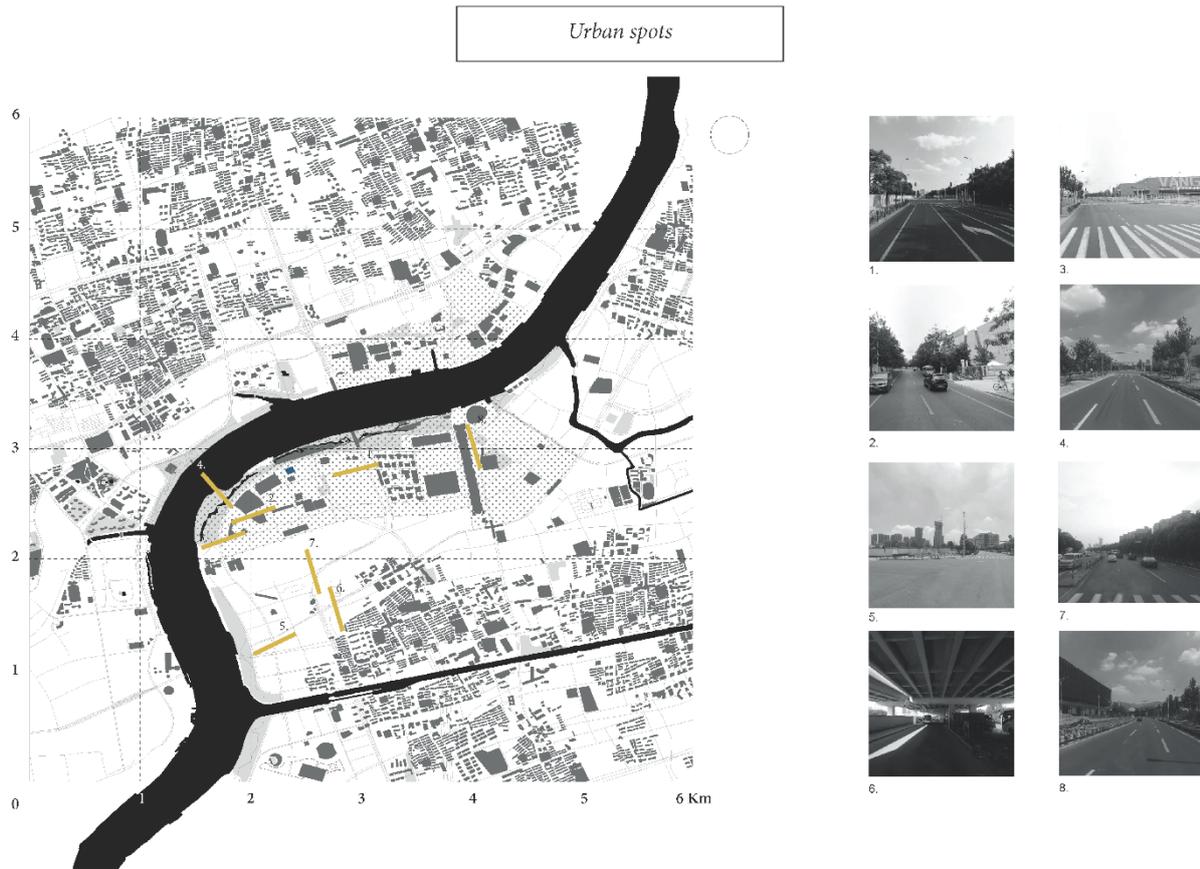


Figura 13 - Tavola di analisi urbana n°5

Dopo aver compreso quali fossero le preesistenze nell'area di progetto, sono state prese, come campione di studio, alcune sezioni urbane significative in modo da analizzare sia la larghezza, e quindi l'importanza, delle vie di percorrenza attorno al sito, sia il tipo di viabilità che vi si sviluppa. Un passo, questo, fondamentale per contestualizzare l'intervento che si andrà a proporre nella giusta scala dimensionale.

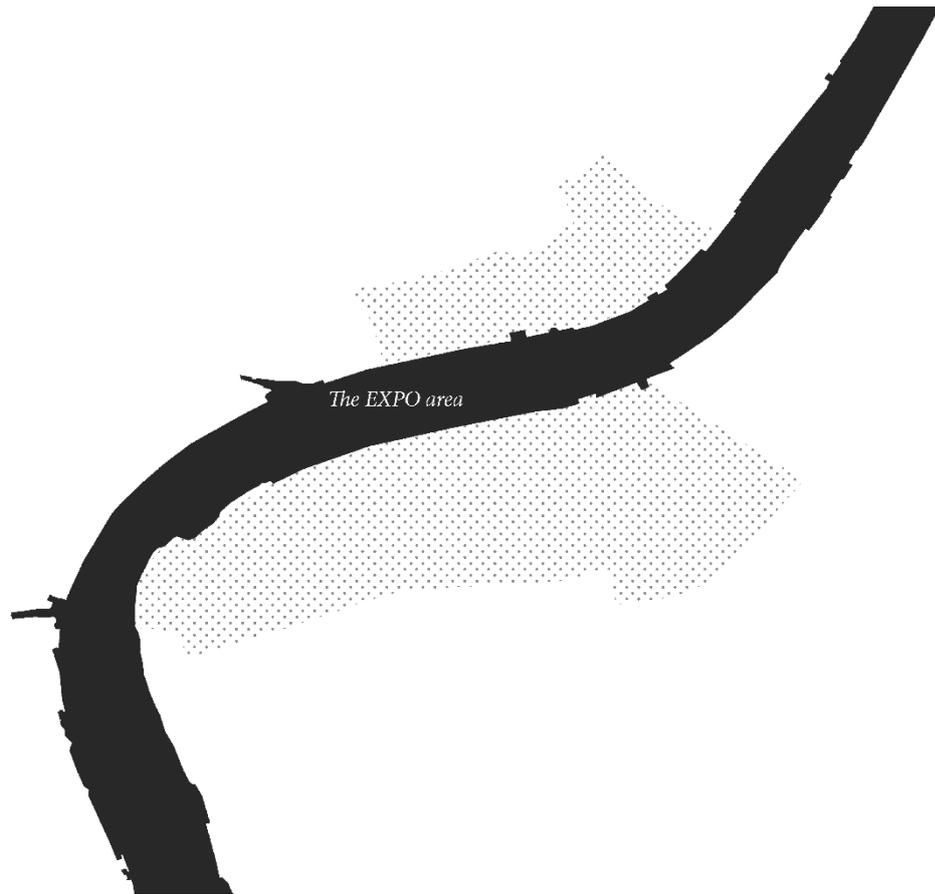


Figura 14 - Tavola di analisi urbana n°6

Proseguendo nello studio, si è reso necessario un ulteriore salto di scala, per indagare ad un livello più approfondito quello che è il sito che ha ospitato l'Expo 2010.

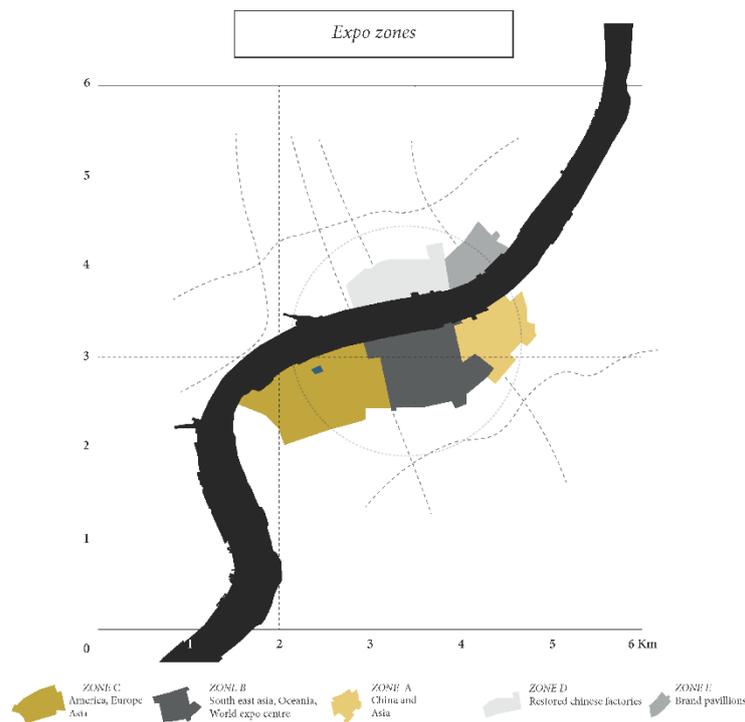


Figura 15 - Tavola di analisi urbana n°7

Come si vede dalla Figura 15, l'area era suddivisa in 5 zone: la zona A, con i padiglioni delle nazioni asiatiche, la zona B, ospitante i restanti padiglioni asiatici, l'Oceania e le organizzazioni internazionali, la zona C, dedicata ad America, Europa ed Africa, la zona D, dove vi erano le ex fabbriche industriali rifunzionalizzate e riqualificate come padiglioni espositivi, museali e di servizio, la zona E, principalmente adibita alle aziende e ad i brand pubblicitari.

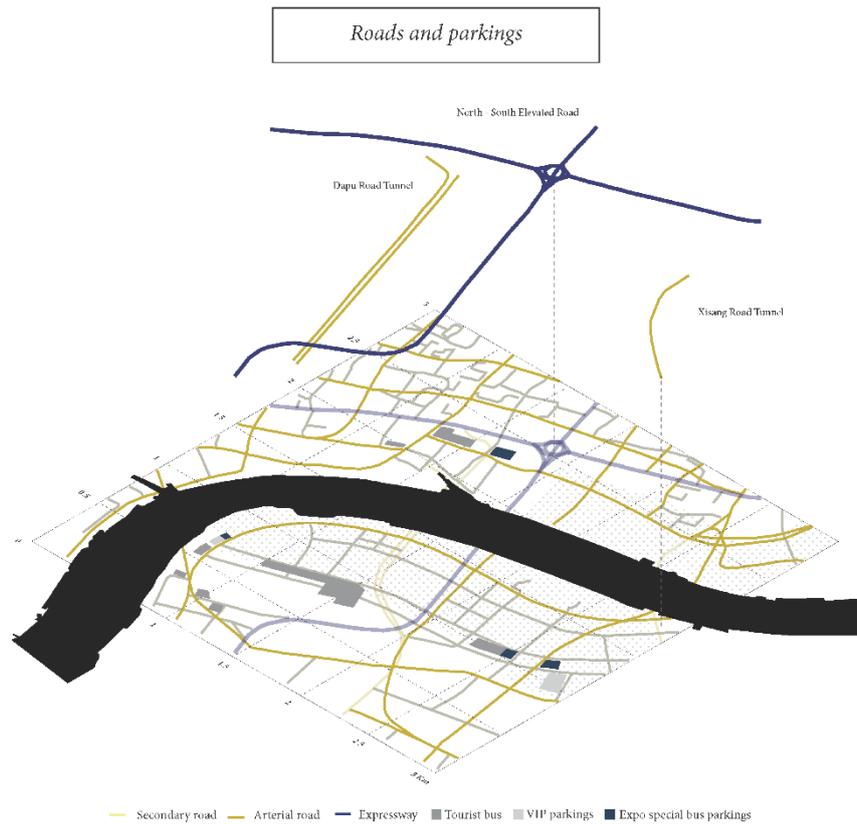


Figura 16 - Tavola di analisi urbana n°8

Analizzando l'assetto viario di Shanghai è emerso che oltre alla moltitudine di arterie secondarie, l'Expo è ben collegato al centro città tramite alcune strade principali e, in particolare, attraverso la superstrada sopraelevata che attraversa il fiume Huangpu, evidenziata in blu in Figura 16. Le due vie di fianco ad essa sono sotterranee e vi passano anche le linee della metropolitana. Nella fase preparatoria all'Esposizione Universale essa ha visto crescere il numero di linee in pochissimo tempo, fino a raggiungere le 16 odierne.

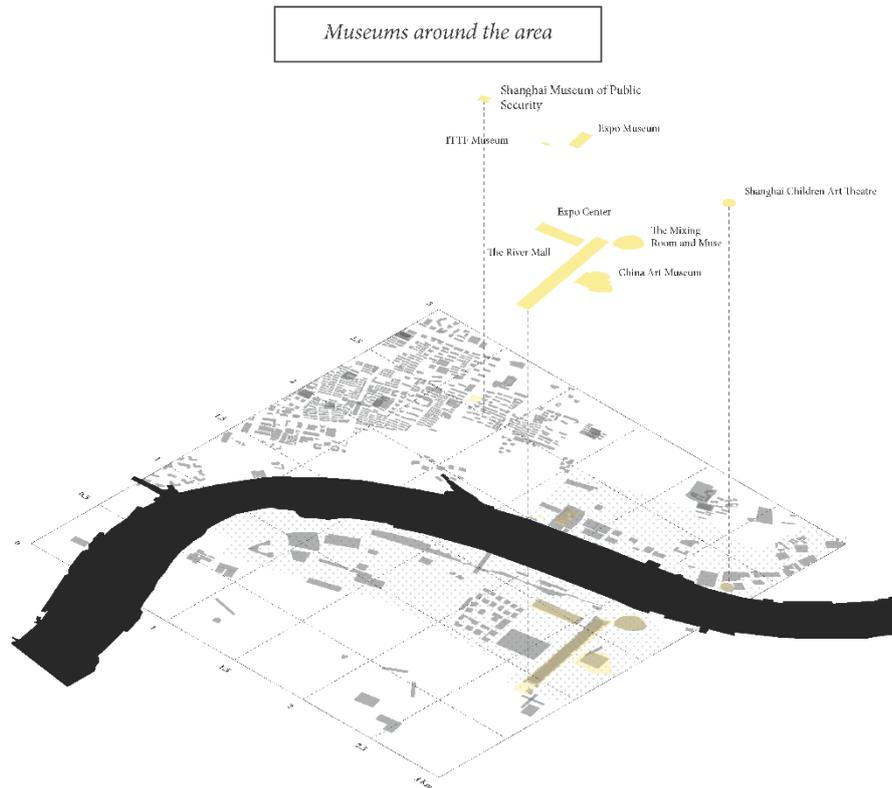


Figura 17 - Tavola di analisi urbana n°9

Successivamente è stato focalizzato lo studio su quelle che sono le attrezzature urbane a servizio dell'area. Partendo dall'ambito culturale sono state prese in considerazione le strutture museali che si trovano nelle immediate vicinanze del sito.

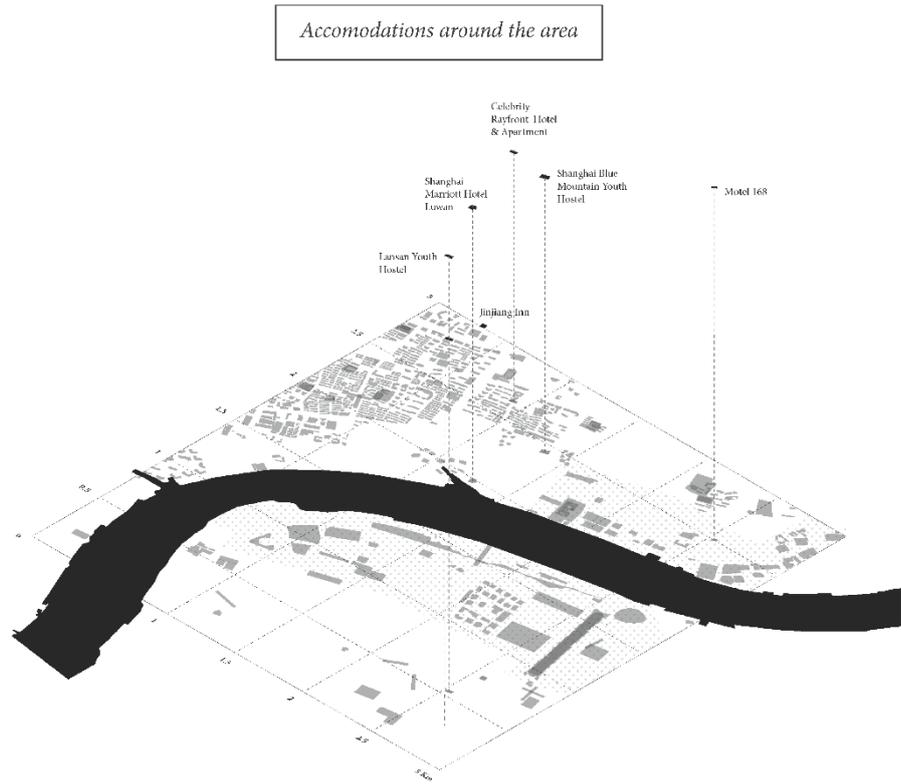


Figura 18 - Tavola di analisi urbana n°10

La ricerca è proseguita interessando le strutture che offrono pernottamento, sia alberghi che ostelli.

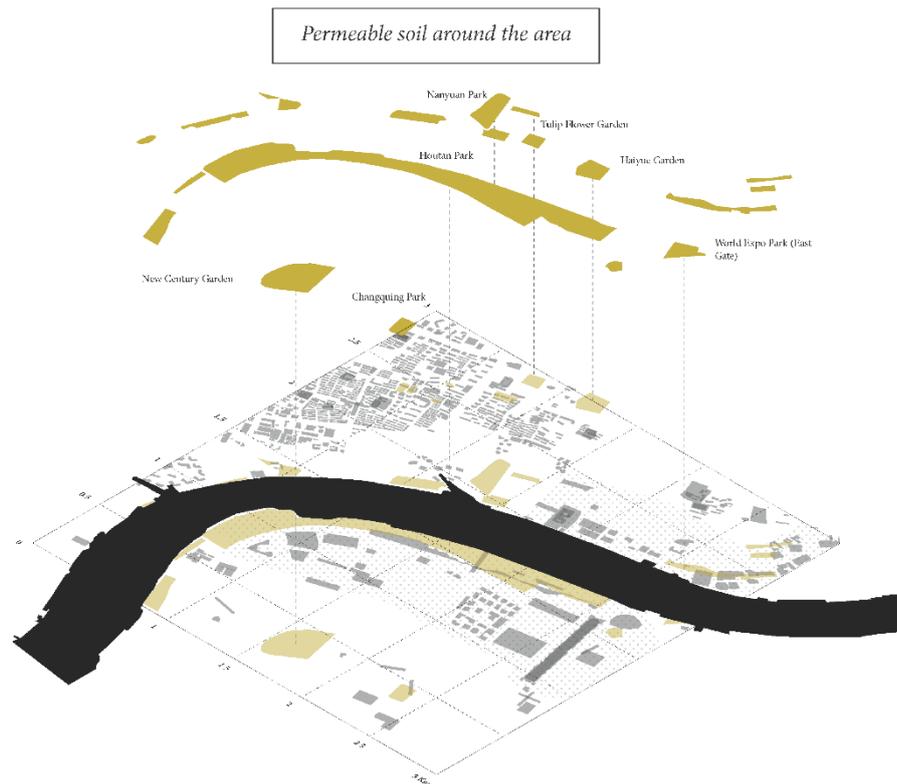


Figura 19 - Tavola di analisi urbana n°11

Non da ultimo, si è visto che il suolo permeabile riveste buona parte delle aree limitrofe al sito, in particolare il lungofiume dal lato di Pudong, con l'Houtan Park. Questo spazio verde ha una importanza vitale per il futuro progetto di riqualificazione del Padiglione Italia, in quanto rappresenta la possibilità di riconnessione del vecchio tessuto urbano al fiume Huangpu, una assoluta ricchezza per il nuovo parco culturale che si andrà delineando.

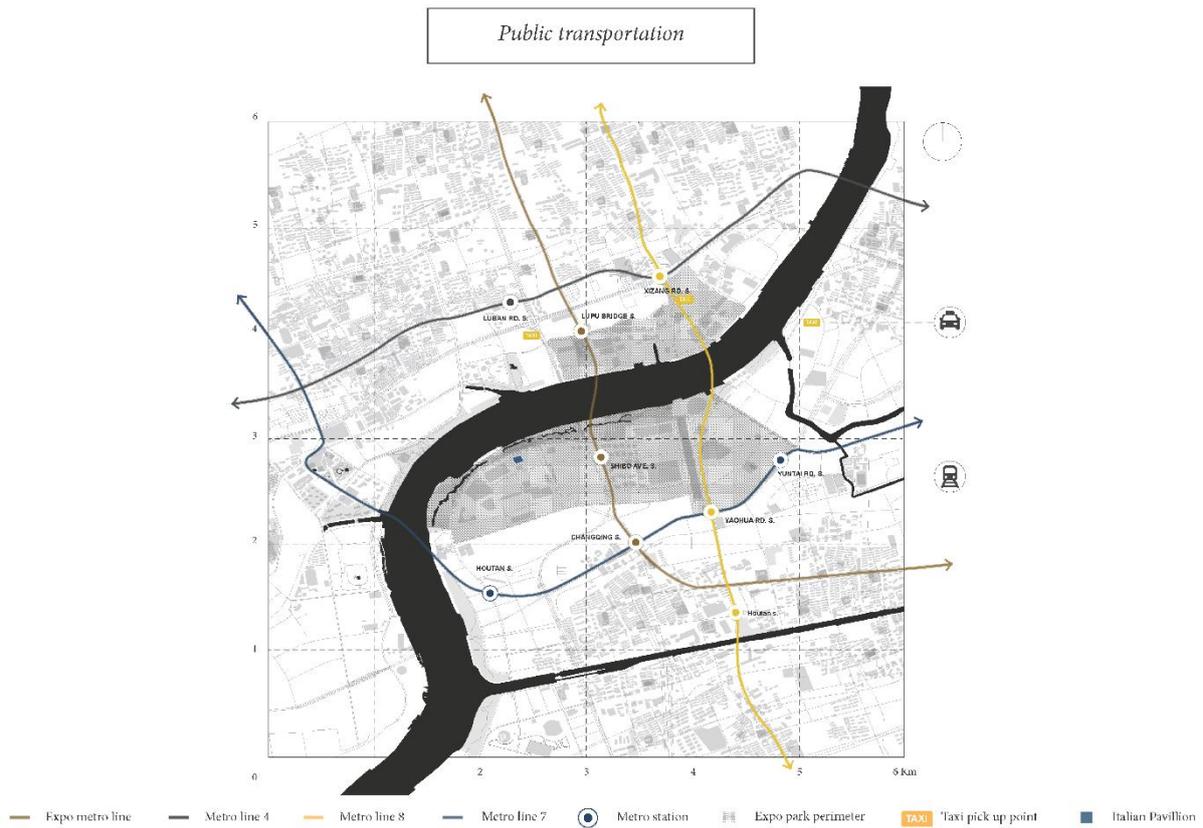


Figura 20 - Tavola di analisi urbana n°12

In Figura 20 sono mostrati i principali percorsi sia del trasporto pubblico, tramite la metropolitana, che di quello privato, con le stazioni dei taxi. Vi sono ben tre linee della metro che collegano l'area di progetto con il resto della città.

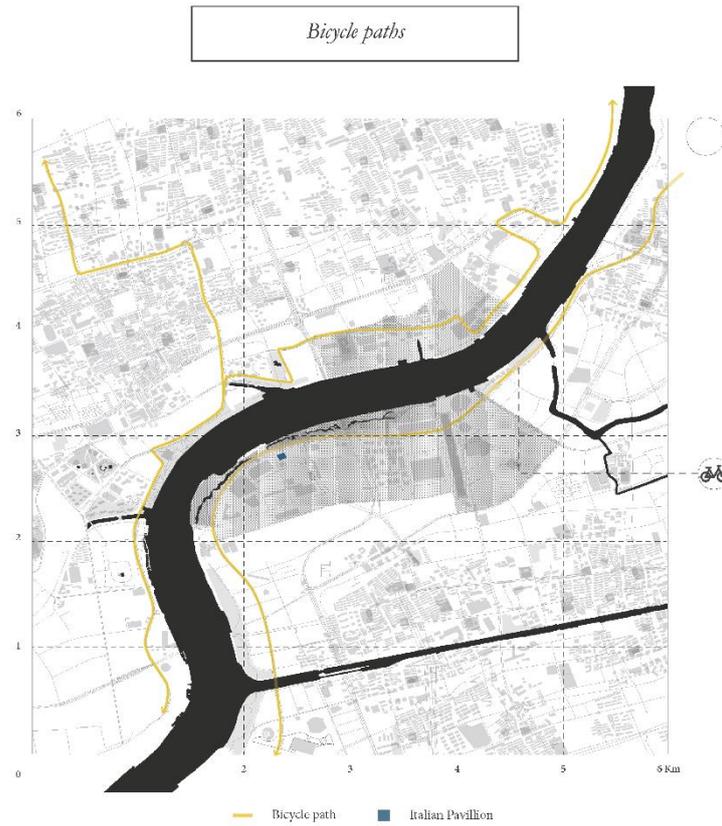


Figura 21 - Tavola di analisi urbana n°13

Vengono quindi analizzati, in Figura 21, oltre ad i mezzi di trasporto, anche i possibili percorsi ciclabili nelle vicinanze del sito.

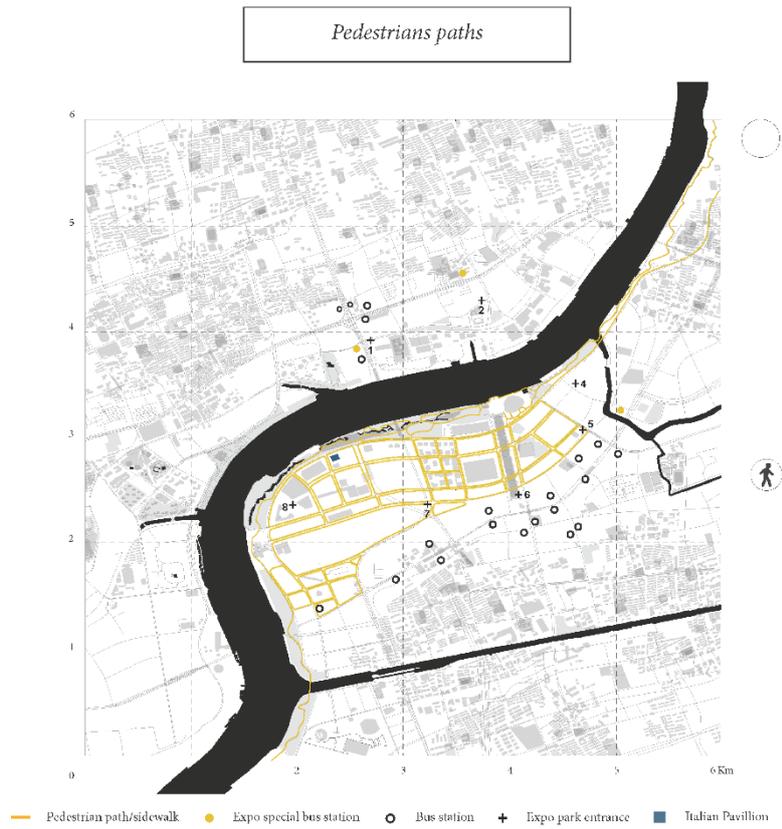


Figura 22 - Tavola di analisi urbana n°14

Infine, si è cercato di ricostruire quelli che sono i flussi pedonali all'interno del sito e nelle immediate prossimità.

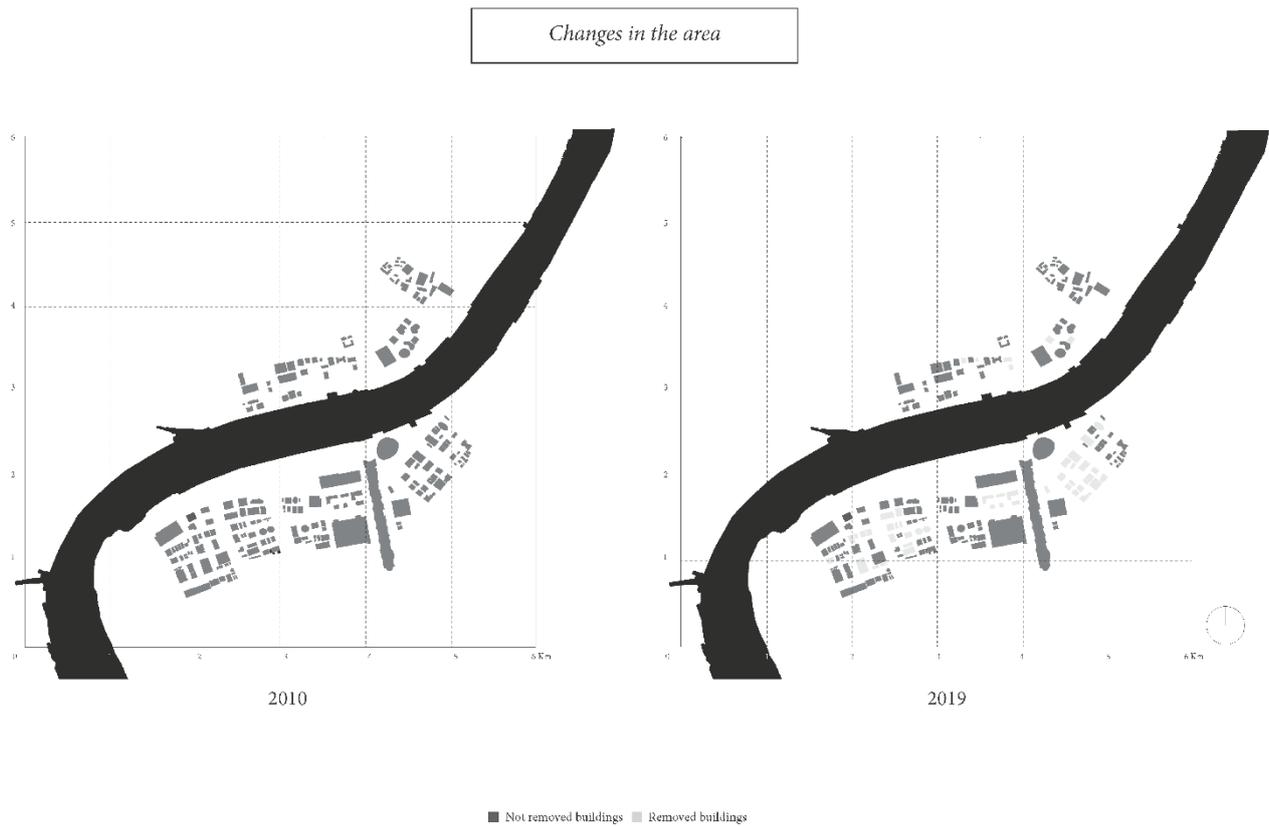


Figura 23 - Tavola di analisi urbana n°15

In seguito si è tentato di capire quali fossero i padiglioni attualmente rimasti e quali quelli rimossi. Dalle ricerche effettuate è emerso che oltre al Padiglione Italia sono ad oggi presenti quello della Cina, della Francia, della Russia e del Lussemburgo. Il resto dell'Expo area appare desolato e dismesso, in attesa di essere rifunzionalizzato e rivalorizzato.



Figura 24 - Tavola di analisi urbana n°16

Esaurito lo studio del sito dell'Expo nelle sue generalità, la ricerca si è focalizzata più nel dettaglio sulle aree adiacenti al Padiglione Italia.

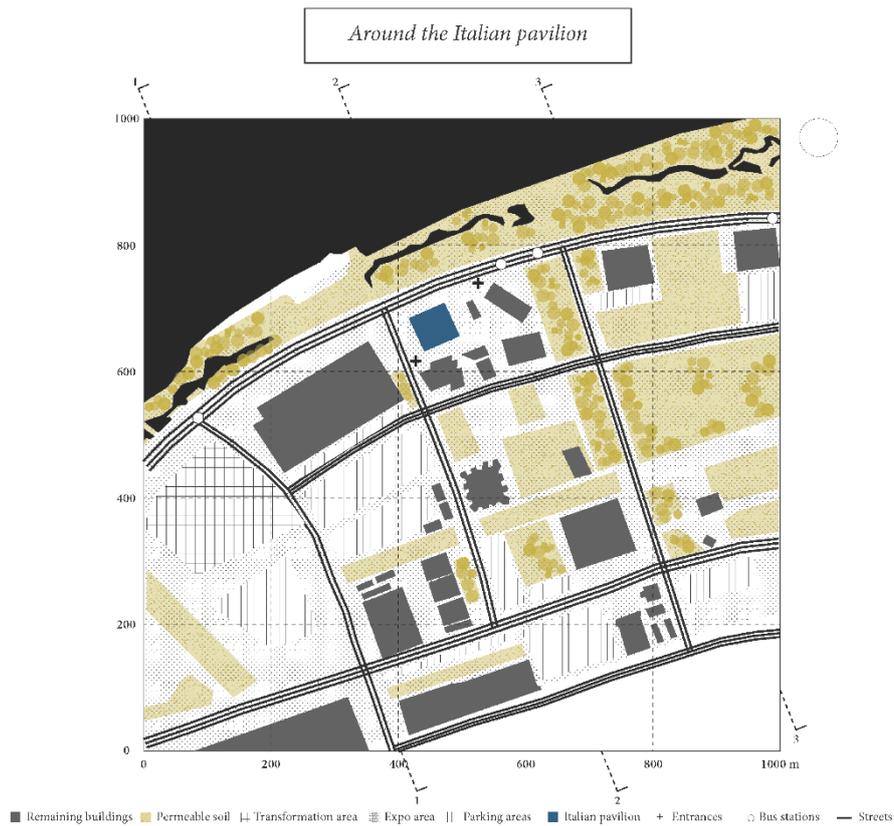


Figura 25 - Tavola di analisi urbana n°17

La scala di dettaglio viene ampliata a 1x1 km, in modo da:

- rendere visibili gli accessi e tutti i percorsi interni al sito;
- evidenziare i rapporti tra le volumetrie esistenti;
- individuare il suolo permeabile;
- percepire la distanza del Padiglione Italia dal fiume, in vista di una futura connessione.

Sono state studiate tre sezioni urbane, parallele al Padiglione, di seguito riportate.

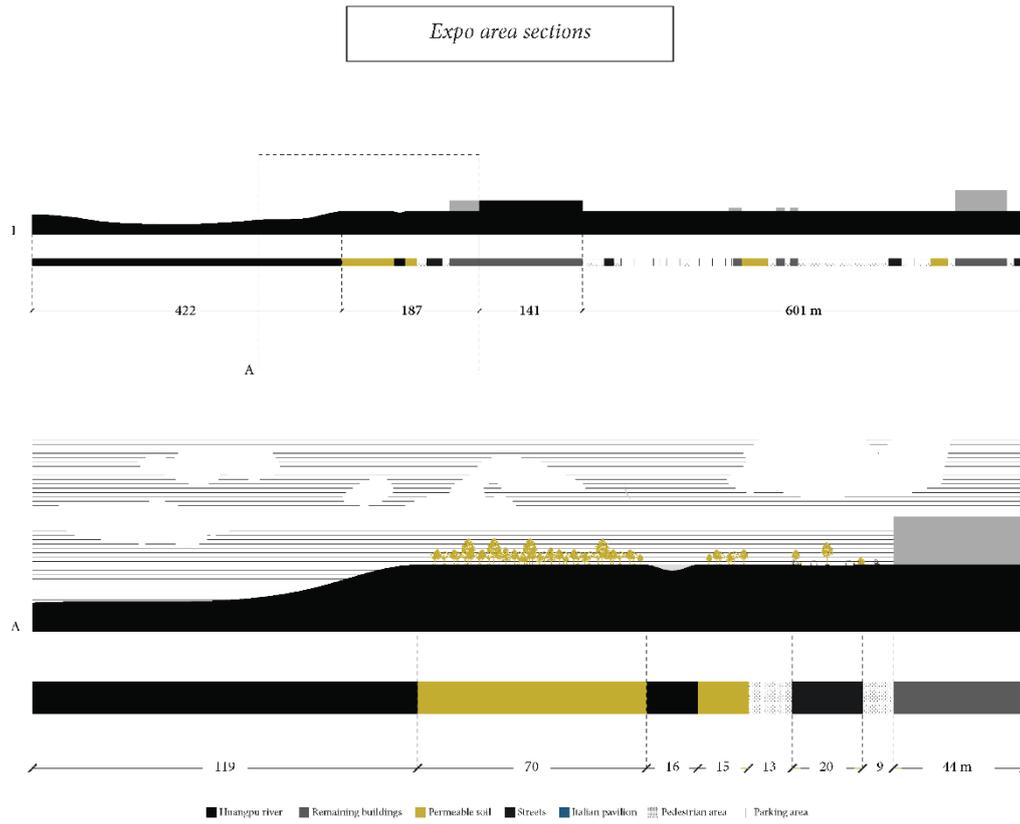


Figura 26 - Tavola di analisi urbana n°18

Sezione urbana numero 1, con focus sulla zona del lungofiume e dell'Houtan Park.

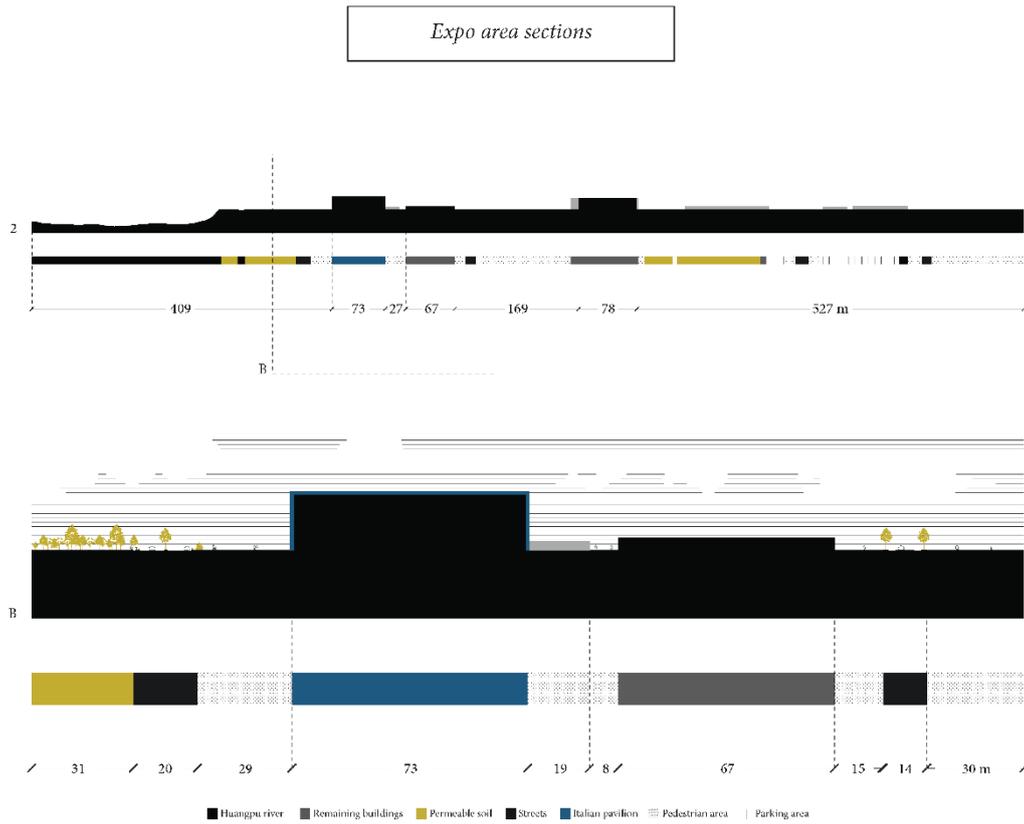


Figura 27 - Tavola di analisi urbana n°19

Sezione urbana numero 2, con dettaglio del padiglione Italia e delle sue immediate vicinanze.

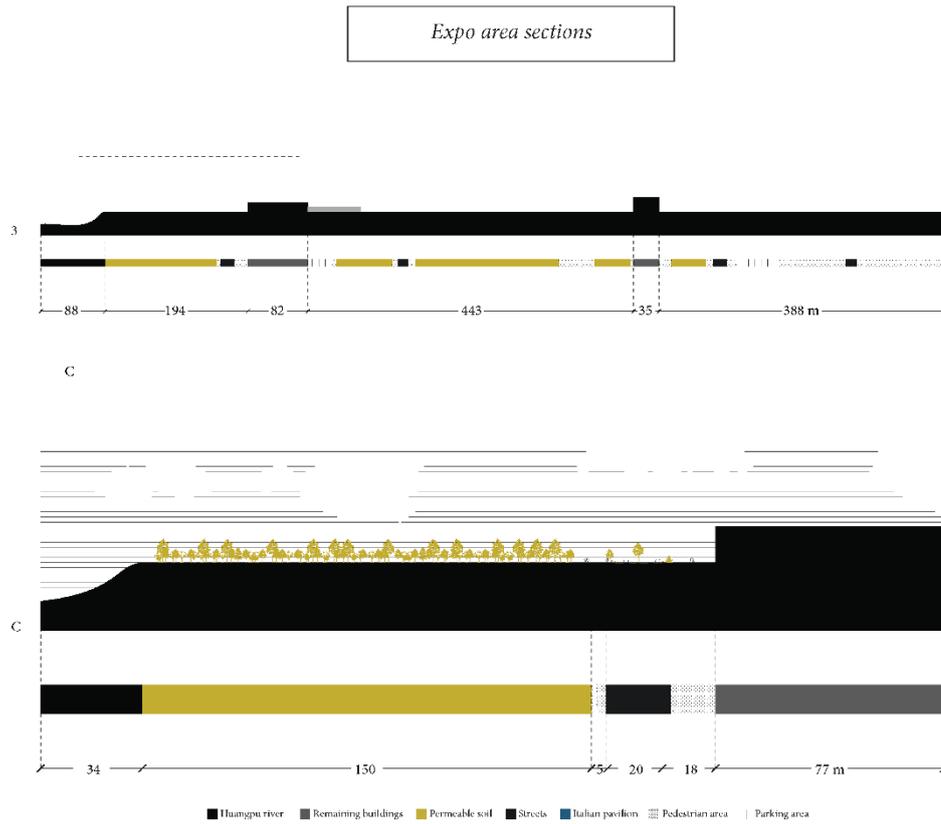


Figura 28 - Tavola di analisi urbana n°20

Sezione urbana numero 3, che mostra di nuovo l'Houtan Park e la strada a scorrimento veloce, costituita da sei corsie, che si frapponne tra il parco e l'area dell'Expo.

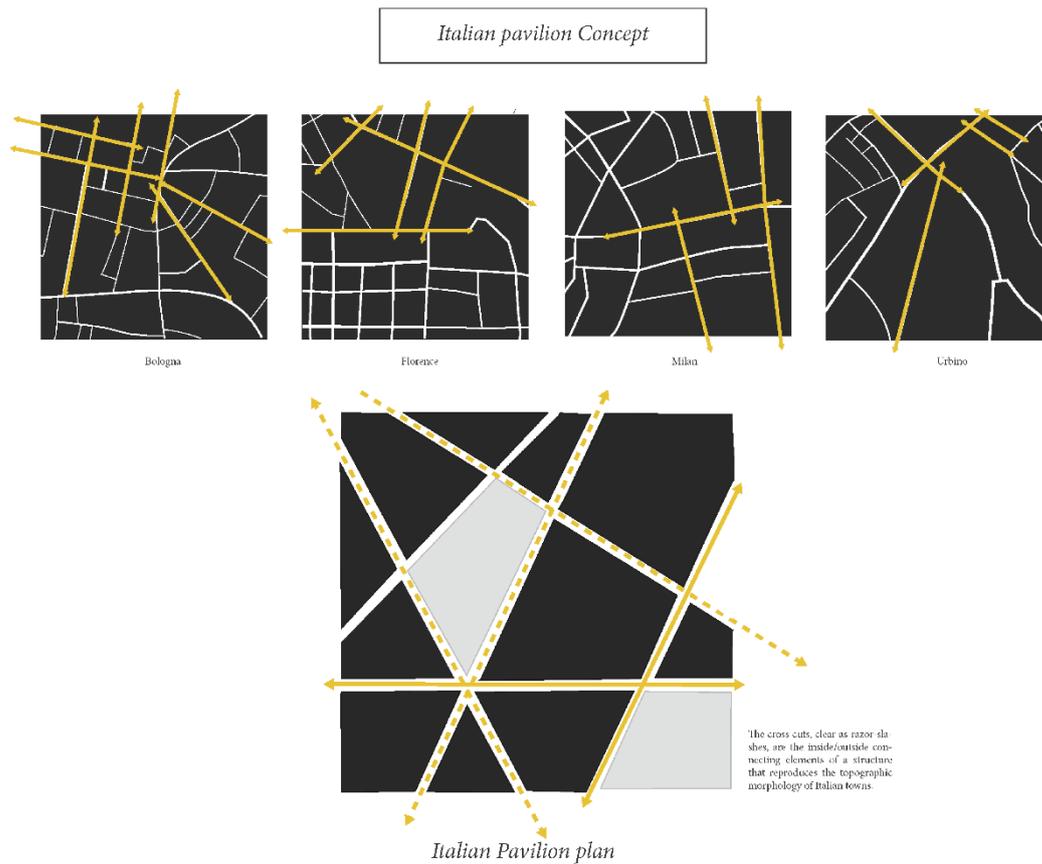


Figura 29 - Tavola di analisi urbana n°21

In Figura 29 vengono mostrati alcuni esempi di assetti planimetrici di importanti città italiane, a supporto dell'idea di progetto di Giampaolo Imbrighi: quella di riproporre, attraverso i tagli netti che sezionano il volume e si ripresentano in facciata come lame di luce, le vie, gli incroci, i vicoli che poi sfociano nelle grandi piazze, tipici degli antichi borghi italiani. Quello dell'architetto vuole essere anche un omaggio alla città ospitante, sottolineando le similitudini con la Shanghai antica, costituita dai caratteristici "shikumen".

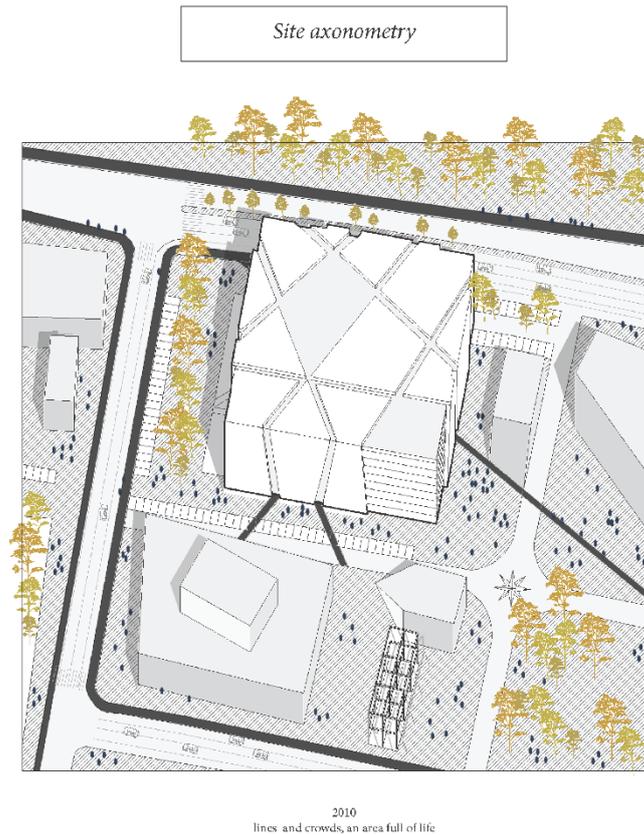


Figura 30 - Tavola di analisi urbana n°23

Questo schema grafico rappresenta la ricostruzione di come appariva il sito del Padiglione Italia nel 2010, durante l'Esposizione Universale. Vi erano folle di visitatori ovunque e lunghe file per accedere all'edificio-vetrina delle eccellenze italiane. A tale proposito, una problematica che vedremo affrontata nei capitoli successivi, è proprio quella della mancanza di un chiaro elemento che connoti lo spazio di ingresso, nonché di un sistema per schermare dai raggi solari i fruitori dell'edificio durante l'attesa fuori dallo stesso.

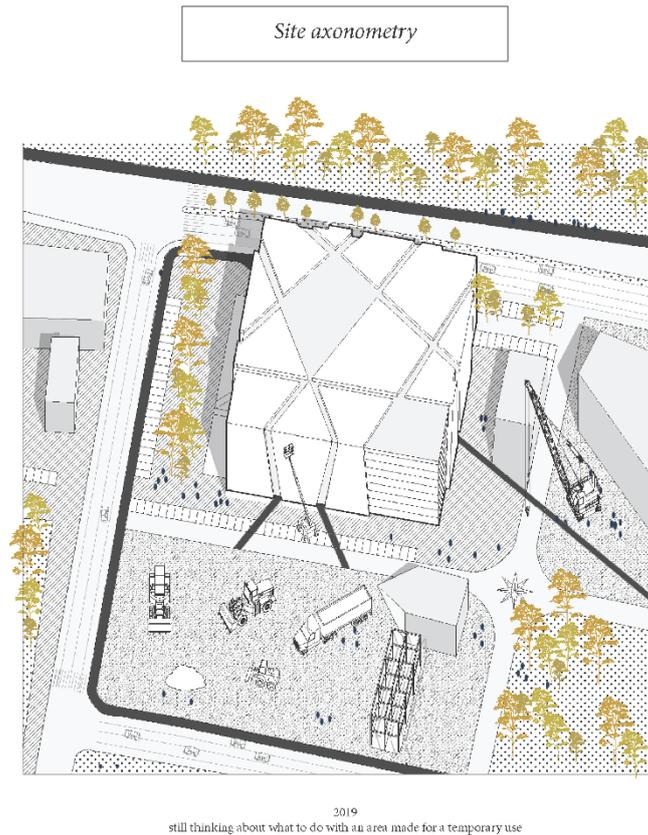


Figura 31 - Tavola di analisi urbana n°24

Il secondo schema presentato in Figura 32, invece, vuole esprimere lo stato attuale delle adiacenze al Padiglione Italia e, più in generale, dell'intera zona dismessa post Expo. Eccezion fatta per i restanti padiglioni di Cina, Italia, Francia, Russia e Lussemburgo, il resto dell'area è ad oggi deserto e privo di vita. Si tratta di una immensa superficie degradata e in disuso, che aspetta solo di essere rivitalizzata e rifunzionalizzata.

2.3 LA DISTRIBUZIONE DEGLI AMBIENTI INTERNI

Sviluppato su tre livelli, il Padiglione ospitava al piano terra l'esibizione permanente *"The City of Man – living in the italian style"*. La progettazione dell'esibizione, curata da Giancarlo Basili e dalla Triennale di Milano, racconta le storie dell'Italia, la sua arte e il suo design, la sua cultura e il suo straordinario artigianato, le sue notevoli conquiste in campo gastronomico, tecnologico e scientifico, in modo immediato in cinque stanze con installazioni sceniche.

Nel blocco vetrato è collocata l'entrata all'edificio, caratterizzata dalla ricostruzione del fronte scenico del teatro Olimpico a Vicenza di Andrea Palladio, operata da una compagnia totalmente italiana che lavora per Cinecittà. Alla sinistra del foyer d'ingresso, un corridoio conduce alla grande piazza centrale del Padiglione, dalla quale le scale mobili portano ai due livelli superiori, dove sono collocati due ristoranti, una biblioteca, un auditorium da 127 posti, un gift shop, gli uffici, le sale VIP e le aree dedicate alle mostre temporanee.

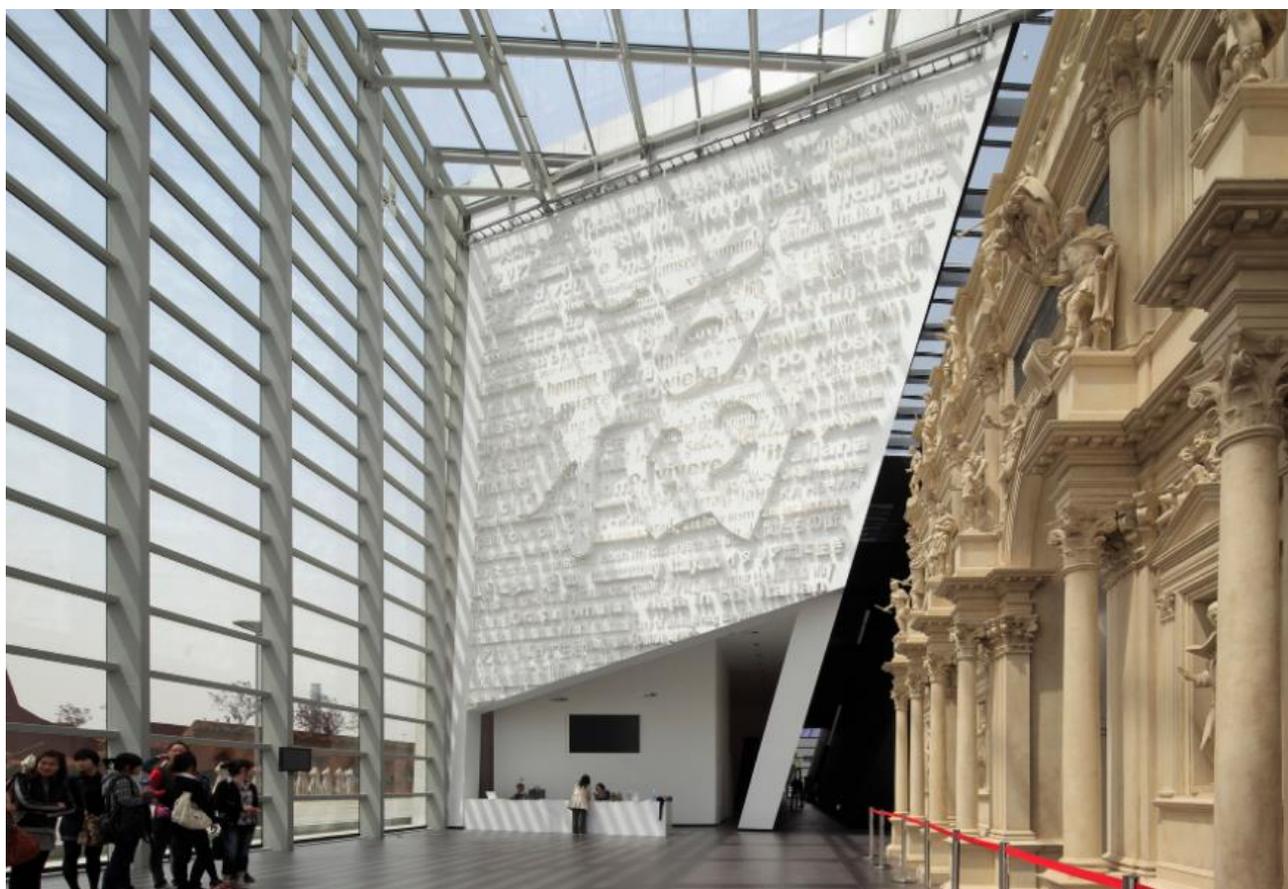


Figura 32 - foto del foyer vetrato durante l'Expo 2010

La prima sala della mostra permanente, anche detta "*Italy in Motion*", è dedicata al genio creativo italiano ed alle conoscenze tradizionali applicate nel presente. In essa vi sono le "icone" dell'industria motoristica italiana, dall'Isotta Fraschini, alla Ferrari, alle moto Aprilia.

La sala 2, "*The Making Of*", presenta le competenze degli artigiani italiani, evidenziando bellezza e qualità, mostrando in delle teche di vetro i maestri dell'intaglio, i liutai, i pasticceri, i sarti, i calzolai etc., mentre sono al lavoro, per esibire quali sono le abilità e le tecniche necessarie per raggiungere l'eccellenza. Vengono, infatti, riprodotti laboratori e botteghe di restauro nei quali è possibile comprendere e sperimentare, attraverso l'osservazione del lavoro quotidiano, lo stretto rapporto che nel "fare italiano" lega arte e tecnologia.

La terza stanza, "*Italian Architecture*", accoglie famose riproduzioni del contributo italiano alla scena dell'architettura, a partire dalla tradizione, come il Pantheon a Roma e il Teatro Massimo a Palermo, fino ad arrivare alle innovative proposte per il futuro, ovvero il ponte sullo stretto di Messina.

"*I-Tech*" è la sala 4, adiacente alla grande corte centrale e dedicata all'universo dello sviluppo tecnologico d'avanguardia. Essa presenta alcuni progetti e prodotti interessanti inerenti il tema dell'Expo, dalla domotica alle costruzioni ecosostenibili, dall'illuminotecnica alle scienze dei materiali, dalle case passive ai migliori progetti in fatto di riciclo domestico.



Figura 33 - immagine della sala "I - Tech" durante l'Expo 2010

Nella quinta ed ultima sala dell'esposizione permanente, "A Bite Of Italy", il cibo è un elemento importante, forse quello più calzante nel concetto di better life. In questa sala viene raccontato il tema dell'armonia tra salute, corpo e spirito. L'esposizione mostra l'importanza della catena alimentare, la grande industria della produzione e le filiere dell'agroalimentare, la rilevanza della tracciabilità alimentare e della genuinità. La stanza sorprende per due grandi piante secolari di ulivo che si stagliano dal terreno, sovrapposte, per 80000 spighe di grano e per 20000 papaveri che rappresentano la copertura di due larghe strutture, ospitanti centinaia di tipologie di vini e pasta. Il pavimento in legno e la diffusione di intensi profumi creano un'atmosfera suggestiva, alimentata dall'esposizione di grandi quadri di autori italiani dedicati alla ricchezza gastronomica italiana.

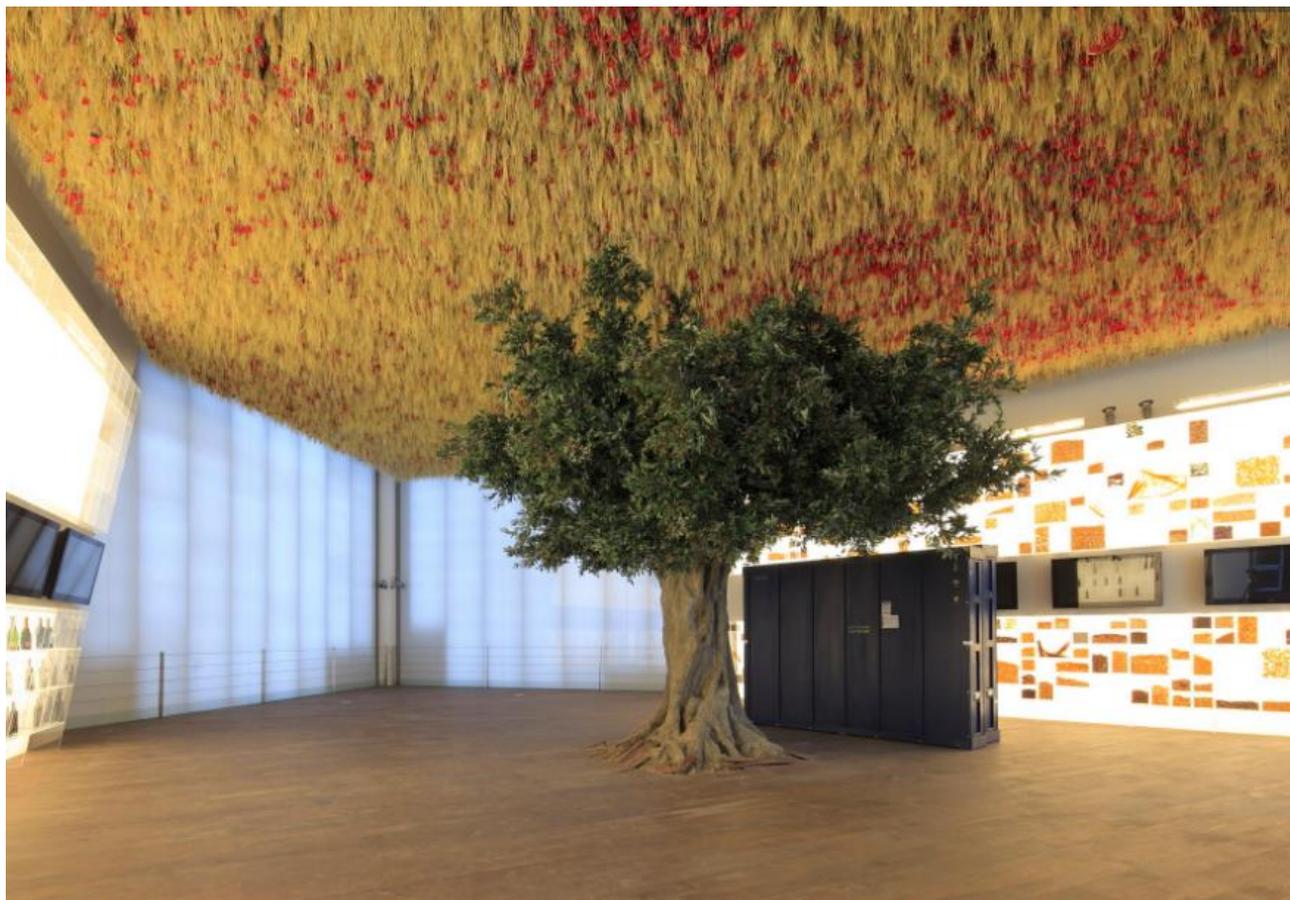


Figura 34 - immagine della sala "A Bite Of Italy" durante l'Expo 2010

"Italian Landscapes" è il titolo conferito alla serie di led-wall alti e stretti, nei quali scorrono immagini in movimento delle varietà paesaggistiche italiane a ciclo continuo, incassati nelle pareti lungo i corridoi di collegamento dei vari blocchi. Questi scenari riguardano non solo il paesaggio, ma anche i processi industriali, le arti creative e l'artigianato tradizionale, per arrivare alla domotica e alla robotica avanzate.

La corte interna al Padiglione, *"The Joy Of Living"*, rappresenta la piazza, lo spazio pubblico della città per eccellenza, un posto dove le persone si incontrano, "si mettono in mostra", si godono la vita. Moda, musica ed arte sono le protagoniste delle pareti della sala: partendo da una gigantesca ricostruzione in scala 1:2 di alcune facce della cupola del Duomo di Firenze sospesa sopra le scale mobili, si arriva alla celebrazione dell'idea di progresso industriale, cui è dedicata un'intera parete della piazza. L'inarrestabile avanzata di

quest'ultimo non è che una metafora della presenza italiana all'Expo 2010, dedicato proprio alla città moderna e alla sua evoluzione in "nuova città che sale"⁷.



Figura 35 - immagine della corte interna durante l'Expo 2010

⁷ <https://www.arketipomagazine.it/padiglione-italia-a-shanghai-expo-2010/>

2.4 IL CEMENTO I.LIGHT®

Il cemento innovativo i.light®, brevettato da Italcementi seguendo le idee sviluppate dall'architetto Giampaolo Imbrighi, non contiene fibre ottiche come fino a poco tempo fa si usava per i cementi trasparenti, bensì assicura l'effetto di traslucidità mescolando al cemento degli additivi sviluppati nei laboratori di ricerca dell'azienda. Grazie alla loro eccezionale fluidità, gli additivi legano una matrice di resine plastiche all'interno del materiale a base di cemento, senza generare fenomeni fessurativi o indebolire la struttura. "Le proprietà trasparenti del cemento – spiegano dall'azienda – sono rese possibili da particolari additivi opportunamente inseriti nel materiale. Si tratta di speciali resine, di differenti colorazioni, che sfruttano angolazioni di incidenza dei raggi luminosi superiori a quelle delle fibre ottiche. Interagendo sia con la luce artificiale che con quella naturale, creano una luce calda e morbida all'interno dell'edificio e un'immagine di chiaro nitore all'esterno"⁸. La superficie del padiglione appare, quindi, in parte diafana ed in parte trasparente, con integrati nelle facciate dei cristalli autopulenti. Inoltre, nel Padiglione è presente una selezione di materiali, tutti made in Italy, in grado di contribuire alla salvaguardia e alla tutela dell'ambiente: prodotti e tecnologie innovative, quali ad esempio le lastre in grès porcellanato *Active Clean Air & Antibacterial Ceramic*TM nate dalla ricerca di Graniti Fiandre e dalle caratteristiche antibatteriche ed antinquinanti, o il cemento "mangia-smog" *TX Active*® di Italcementi. La ricerca dell'impatto ambientale minimo è sostenuta anche dalle pelli decorative e di rivestimento interne ed esterne dell'edificio, come l'innovativa lastra a pavimento 120x60cm di Graniti Fiandre nel colore Anthracite, serie New Ground: una cromia profonda e al tempo stesso calda, perfettamente adatta come sfondo per i prodotti dell'eccellenza italiana. Si tratta di un materiale che ben rappresenta l'attenzione per l'ambiente e l'ecologia dell'azienda poiché rientra nei parametri richiesti dal LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), il sistema di valutazione della qualità in termini energetici ed ambientali nell'ambito della realizzazione o ristrutturazione

⁸ https://www.archiportale.com/news/2011/02/architettura/il-padiglione-italia-dell-expo-di-shanghai-resta-in-cina_21426_3.html

di edifici ecologicamente sostenibili. Un grès porcellanato composto per oltre il 40% di materiali riciclati a formare un impasto unico, compatto, ingelivo, impermeabile e resistente agli attacchi chimici e fisici. Ulteriore peculiarità dell'edificio è la prerogativa di essere gettato in opera, un notevole vantaggio in termini di economicità del processo costruttivo. Un processo, quello che va dalla ideazione alla fabbricazione e alla posa in opera dei pannelli, che ha coinvolto diverse aziende ed attori fondamentali, a partire da Beniamino Quinteri, il commissario del Governo italiano per l'Expo 2010, passando per Giampaolo Imbrighi, il cui progetto per il padiglione ha vinto tra 65 proposte, e per Enrico Borgarello, direttore della ricerca di Italcementi, fino a Stefano Cangiano, ingegnere punto di riferimento della ricerca Italcementi.

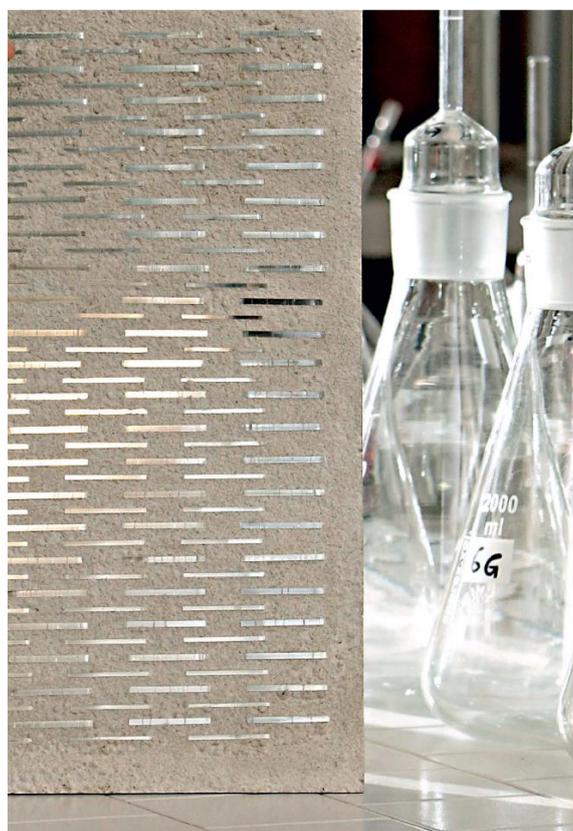


Figura 36 - Foto di un provino di cemento i.light® nei laboratori di Italcementi, fonte delle foto www.italcementigroup.com

La ricerca e le prove sui materiali sono state condotte nello stabilimento di Italcementi di Bergamo, mentre la produzione dei pannelli è avvenuta a Taiwan, dalla società Romastone,

che ha industrializzato il know-how di Italcementi. Infine, le operazioni di montaggio sono state affidate all'impresa Greenland di Shanghai.



Figura 37 - Fase di posa in opera dei pannelli i.light®

I pannelli sono stati realizzati al ritmo di circa 200 al giorno, per garantire l'ultimazione delle fasi di montaggio in tempi rapidi. Nel dettaglio, la procedura di realizzazione del cemento i.light® parte dall'assemblaggio delle resine plastiche nella forma di griglie, più o meno fitte a seconda del grado di trasparenza che si vuole raggiungere. All'interno di questi reticolati viene colato il premiscelato cementizio, opportunamente additivato in modo che possa legarsi alle resine. Le catene di resine plastiche realizzate sono circa 50, di uno spessore variabile tra i 2 e i 3 millimetri. Come detto in precedenza, al contrario delle fibre ottiche, che garantiscono la trasparenza solo quando la luce batte perpendicolarmente sulla parete, queste particolari resine colorate sono in grado di sfruttare tutte le possibili

incidenze della luce, “giocando” con ogni singolo raggio luminoso, qualsiasi sia la sua angolazione.

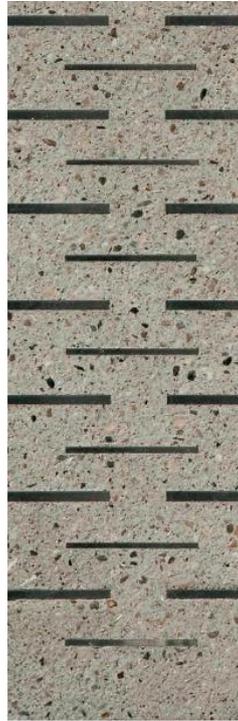


Figura 38 - Dettaglio della composizione di un pannello i.light®

I pannelli che vengono impiegati per il Padiglione Italia hanno una dimensione di 500x1000x50 mm, un peso di circa 25 kg ognuno, e hanno un grado di trasparenza pari al 20% della loro superficie. Vengono montati in coppia, a formare uno spessore totale della parete esterna di 100 mm. Rispetto alle prestazioni statiche, sulla base di test effettuati in laboratorio, come ad esempio la prova di flessione su tre punti, è stato visto che i pannelli i.light® sono in grado di sostenere un carico elastico pari a circa 2 kN, mentre il carico massimo a rottura rilevato è di circa 8 kN. Essi si propongono come veri e propri componenti architettonici, in grado di diffondere la luce, o ombreggiare dove necessario, e garantire anche un discreto isolamento termico, stante la bassa conducibilità della componente plastica.

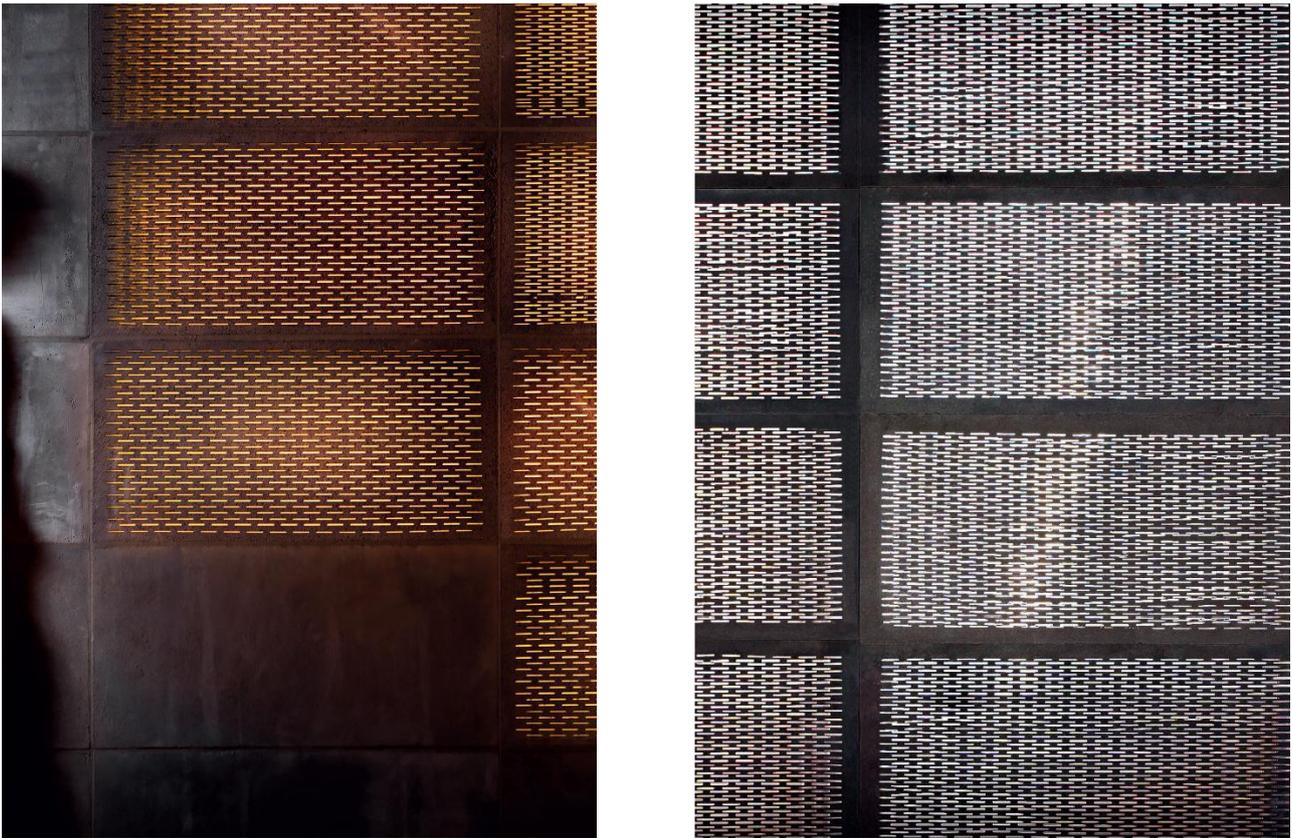


Figure 39 / 39- Dal confronto tra le due immagini soprastanti è possibile percepire la duplice trasparenza del cemento, sia di notte che di giorno



Figura 40 - veduta dalle scale interne dell'effetto di trasparenza assicurato dal cemento semi-trasparente, fonte Wallpaper Thai Edition, June 2010*

2.5 UNA MACCHINA DAL FUNZIONAMENTO BIOCLIMATICO

L'altro tema portante del progetto del Padiglione Italia risiede nel suo essere pensato come una macchina dal particolare funzionamento, che unisce una serie di strategie bioclimatiche attive e passive ad una accurata scelta di soluzioni impiantistiche, appropriate e poco invasive, che dialoghino con le suddette strategie. Il tema dell'Expo 2010 pone l'accento sull'esigenza di studiare e perseguire le migliori soluzioni progettuali nell'ottica della sostenibilità e dell'efficienza energetica. Questa è stata la linea guida di Imbrighi e Iodice Architetti, che hanno fondato la loro progettazione sull'integrazione tra gli aspetti architettonici, energetico-ambientali, impiantistici, tecnico-costruttivi e, non da ultimo, anche in termini di riciclabilità dei materiali. L'obiettivo che si è cercato di raggiungere è senza dubbio un significativo risparmio energetico, pur consapevoli della sua rilevanza minima trattandosi di un padiglione espositivo temporaneo, ma soprattutto un comfort interno che evochi e rimandi a quello naturale. L'approccio di Imbrighi intende porsi come modello per le future scelte nel campo del costruire, basandosi più sull'osservazione dei processi della natura che sulla scelta tecnica di impianti e terminali opportuni a riscaldare, rinfrescare ed illuminare. In poche parole, per trovare le risposte a problemi quali esposizione, schermature ed accumuli termici, basta osservare come queste stesse criticità vengono risolte in natura. Di qui la scelta del sistema dell'atrio di ingresso, che nel complesso microclima del Padiglione Italia, rappresenta una zona di transizione e di prima acclimatazione con gli altri spazi maggiormente climatizzati. Vengono sfruttate le radiazioni solari per il riscaldamento parziale nei mesi freddi, sia in modo diretto che sotto forma di energia grazie alla presenza in copertura di elementi schermanti vetriati, con inglobati pannelli fotovoltaici. Il sistema di condizionamento utilizza la convezione di correnti d'aria, rinfrescata da un flusso continuo di acqua. L'aria calda viene convogliata verso l'alto ed estratta naturalmente tramite un sistema a regolazione automatica, sfruttando anche il principio dell'effetto camino attraverso la corte centrale. Il condizionamento naturale non è limitato all'atrio, ma interessa l'intero edificio, grazie ai tagli nella facciata che, sezionando il volume, funzionano da gallerie del vento.

3 UNA PROPOSTA DI RIQUALIFICAZIONE: DALLA SCALA URBANA AL RAPPORTO INVOLUCRO-SPAZIALITÀ IN OCCASIONE DEL JOINT STUDIO A SHANGHAI

3.1 LA PRESENTAZIONE DEL WORKSHOP

Il primo meeting con gli studenti della Tongji University è avvenuto la mattina del 25 novembre 2019 presso la suddetta. Alla tavola rotonda erano presenti i professori del Politecnico di Torino, dell'Università di Firenze, dell'Università di Pavia, della Tongji University ed è intervenuto l'architetto Giuseppe Di Nicola, responsabile operativo della direzione lavori del cantiere del Padiglione Italia a Expo Shanghai 2010. Dopo una prima introduzione da parte del professore della Tongji, Liu Kan, l'architetto Di Nicola ha presentato il lavoro di general management svolto durante la fase di costruzione del Padiglione Italia, evidenziandone criticità e problematiche operative. In prima istanza sono stati forniti alcuni dati statistici in merito all'Expo 2010, per meglio inquadrare il fenomeno di portata mondiale: "Più di 70 milioni di visitatori, 192 nazioni partecipanti, 48 organizzazioni internazionali, 5 padiglioni a tema, 5,28 km² di area espositiva, un investimento di più di 50 miliardi." E ancora: "Il concetto cardine "Città dell'uomo" è ispirato ad un bisogno concreto: combinare la conoscenza italiana nel creare al meglio gli spazi tradizionali: piazze, vicoli, piccoli villaggi con innovativa ricerca scientifica, orientata verso scelte di materiali eco-compatibili, incontrando il futuro."

Di Nicola parla animatamente del lavoro di costruzione di un così grande progetto, evidenziando che si tratta della prima ed unica volta in cui il cemento traslucido viene applicato ad una costruzione. "La facciata viene montata tra il 2008 e il 2009. Il 25 aprile 2010 il padiglione è finito" afferma l'architetto. In tutto ci sono voluti solamente 8 mesi. L'intero masterplan dell'Expo è stato perfettamente progettato per la distribuzione dei visitatori. Nel padiglione italiano era possibile raggiungere più di 40000 persone al giorno e la sua è la più larga area dopo quella cinese e misura, comprensiva del contesto circostante, 9000 m². La piazza al centro è l'unica parte illuminata perfettamente. "Si poteva attraversare l'edificio

attraverso dei piccoli ponti in acciaio inossidabile, che collegavano le diverse aree e dai quali era possibile percepire tutta l'altezza della struttura. La piazza centrale era uno spazio nel quale era possibile vedere nuovamente la luce, percepire l'aria" continua Di Nicola. La facciata è completamente continua e difficile da costruire sui muri del padiglione, perché sono tutti inclinati. Essa doveva mantenere tutto il peso, per questo motivo hanno lavorato creandovi dietro una *metastruttura*. Hanno rinforzato tutto il muro retrostante e hanno coperto con un pannello retroilluminato per evitare di vedere la struttura dietro. Per quanto riguarda l'istallazione interna sulla parete inclinata in legno dove c'erano tutti gli strumenti dell'orchestra, ad esempio, la grancassa pesava più di 80 kg e quindi era ancorata completamente dietro il muro, nella metastruttura, per evitare che cadesse. Di Nicola, in una notte, ha convinto tutti gli operai a smantellare il muro in legno e crearne uno rinforzato dietro in acciaio inossidabile e legarlo alla struttura principale del padiglione, coprirlo con il legno e attaccare gli strumenti musicali. Inoltre ha deciso di svuotare tutto il pianoforte e lasciare solo lo scheletro poiché il metallo dentro, a causa delle dilatazioni, dopo due o tre mesi avrebbe rotto il legno. Si è deciso di ancorare prima la struttura al cemento e, successivamente di inserire il pavimento galleggiante. Erano presenti in tutto quattro nuclei ascensore: due per la movimentazione dei materiali necessari per la parte più alta della struttura e due ascensori per il pubblico, uno per raggiungere direttamente il teatro e l'altro per lo staff del terzo piano, dove c'erano tutti gli uffici direttivi ed amministrativi e le sale riunioni. La cosa più difficile, ricorda Di Nicola, è stata spostare tutto ciò che serviva per costruire i livelli soprastanti attraverso l'ascensore e non dall'esterno.

L'architetto Di Nicola era a capo della costruzione e ci dice che un aspetto fondamentale in questo mestiere è l'attitudine al problem solving in un minimo periodo di tempo. Lui doveva stare lì finché fosse tutto finito, era una sua responsabilità ed anche il suo obiettivo. "Ci vuole una notevole forza fisica. Bisogna essere come un combattente, pronto a tutto. Alcune volte, raggiungendo determinati orari notturni, non c'era niente vicino dove prendere del cibo e non mangiavamo anche per 12 ore di seguito. Quando abbiamo montato l'esposizione di Bulgari non ho dormito per circa 48 ore" continua l'architetto.

Egli racconta di come siano riusciti a finire il padiglione 15 giorni prima dell'apertura dell'Expo, in modo tale da poter fare tutte le ispezioni e le verifiche necessarie. Al termine del suo appassionante ed interessante excursus, corredato da foto delle fasi costruttive, c'è tempo per alcune domande. La prima è del professor Ostorero, del Politecnico di Torino, che si chiede cosa l'architetto, che meglio di tutti conosce la struttura, si auspichi nell'ottica di una futura riqualificazione. Di Nicola risponde che innanzitutto bisogna pensare alla mutata destinazione d'uso dell'edificio. Esso in futuro non sarà più un padiglione all'interno di un parco Expo, bensì un museo all'interno di una nuova area culturale, quindi sarà necessaria un'entrata appropriata e ben evidente ed anche sistemi di schermatura solare, per la sosta degli utenti fuori dall'edificio. Di Nicola racconta che in un giorno all'incirca un milione di persone entrava nell'intera area dell'Expo e c'erano file ovunque. Fuori dal Padiglione Italia la fila poteva essere anche di 7 ore e, come già menzionato in precedenza, si raggiungevano più di 40.000 persone al giorno all'interno. Per cui un altro elemento di criticità è rappresentato dalla distribuzione interna di tutto quel flusso di persone. Bisogna ripensare alla *distribuzione verticale*, quando si entra bisogna continuare ad entrare e camminare, non fermarsi senza sapere dove andare. Secondo Di Nicola sarà molto importante la scenografia, cioè il lasciar scoprire il padiglione passo dopo passo. Inoltre, per favorire questa distribuzione, un elemento cardine rimarrà sicuramente *l'area centrale*, che andrà riconvertita. Gli unici elementi da mantenere, sostiene Di Nicola, sono i muri inclinati, poiché l'acciaio inossidabile parte dal terreno e continua inclinato. Sarà necessario ricreare livelli separati e giunzioni tra essi separate. Altro elemento caratterizzante l'edificio sono i tagli in facciata, eco di quelli in pianta che rievocano l'assetto planimetrico delle città medievali. Essi forniscono un aiuto per ridurre la luce artificiale necessaria per lo svolgimento delle diverse attività all'interno. Introdurre il più possibile la luce naturale in un edificio è molto difficile, ma al contempo necessario ed auspicabile. Il progetto della facciata del Padiglione Italia è legato alla percezione di chi si trova dentro e fuori da esso. La professoressa Mugnai, dell'Università degli studi di Firenze, chiede se l'obiettivo di Imbrighi di creare, tramite la traslucidità del cemento, un gioco di luci e ombre sia stato davvero raggiunto. La risposta di Di Nicola è che la vera percezione della luce si ha solo di

notte dall'esterno, osservando le luci interne che trapassano l'edificio, mentre di giorno la permeabilità all'aria e alla luce naturale non è poi così pregnante come era stata pensata.

3.2 L'INDAGINE IN SITO

Al termine del meeting un pulmino viene a prenderci e ci rechiamo presso il sito del Padiglione Italia nella zona C dell'area dove sorgeva l'Expo del 2010. Colpisce immediatamente la desolazione del luogo. Gli unici padiglioni restanti, oltre quello italiano, sono quelli del Lussemburgo, della Russia, della Francia e della Cina.

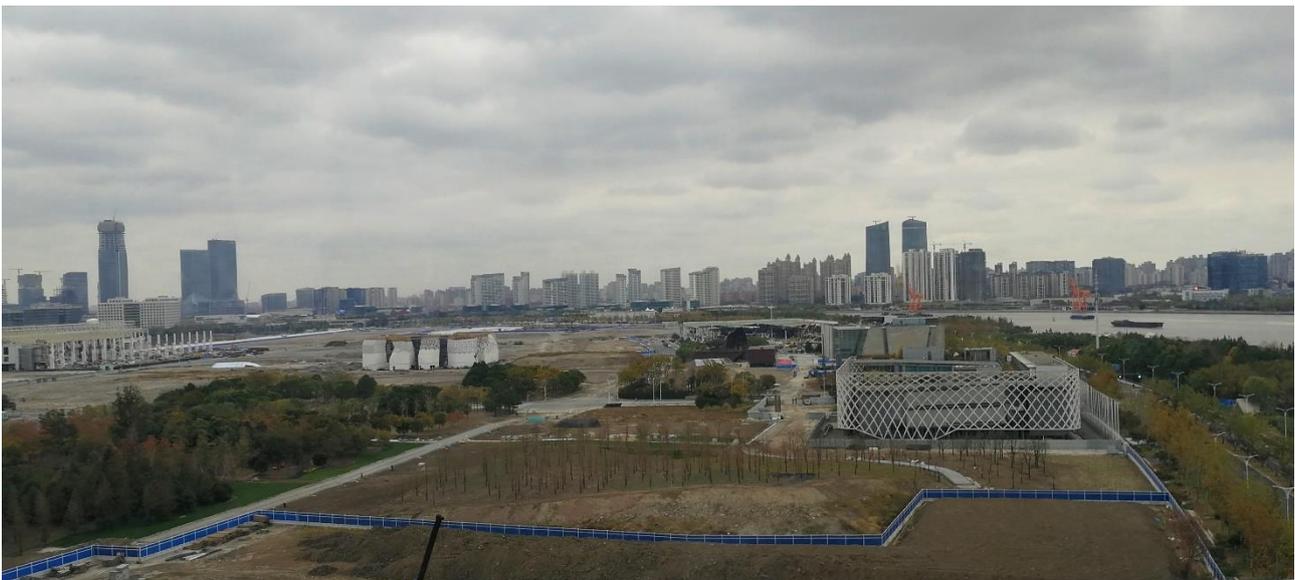


Figura 41 - Foto dell'ex area Expo con, da sinistra, i padiglioni di Russia, Lussemburgo, Italia ed, in primo piano, Francia



Figura 42 - Vista del lato sud-ovest del Padiglione Italia, in cui è riconoscibile la superfetazione successiva sulla copertura



Figura 43 - Vista del lato sud-est del Padiglione Italia, con in primo piano l'ingresso vetrato a tutta altezza



Figura 44 - Stralcio del prospetto sud, con in evidenza il taglio vetrato che seziona il volume, proseguendo esternamente in pianta

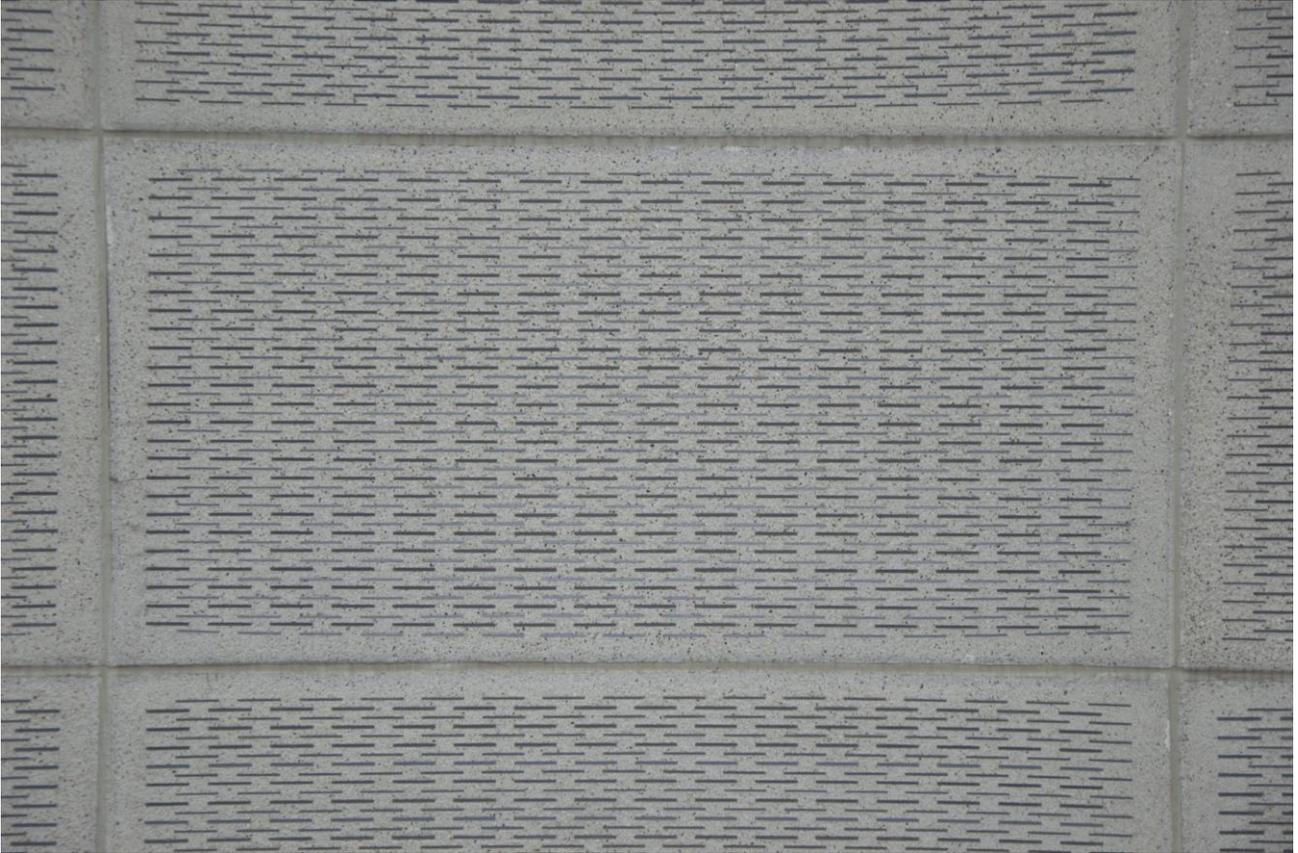


Figura 45 – Particolare della superficie del pannello in cemento i.light®

Entrati nell'edificio si percepiscono all'istante le successive mutilazioni subite da esso nel corso degli anni. È rimasta solo la carcassa sventrata di quello che poco meno di dieci anni fa conteneva la rappresentazione delle eccellenze italiane.



Figura 46 - Vista della corte vetrata centrale, con in primo piano le scale mobili sormontate dalla ricostruzione della cupola del Duomo di Firenze del Brunelleschi

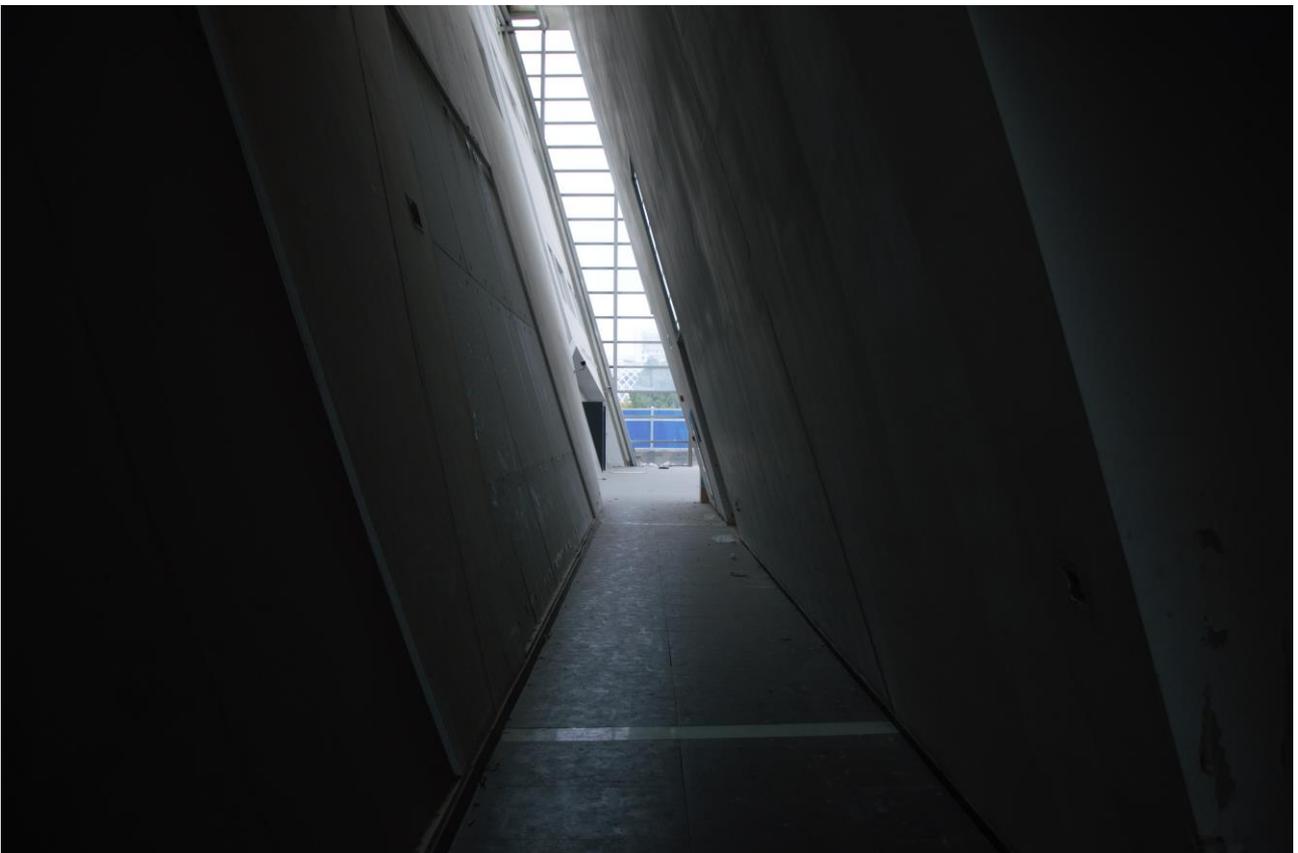


Figura 47 - Scorcio di uno dei corridoi scavati tra i blocchi megalitici



Figura 48 - Vista sulle strutture-ponte in acciaio che collegano, ai livelli superiori, i diversi blocchi dell'edificio

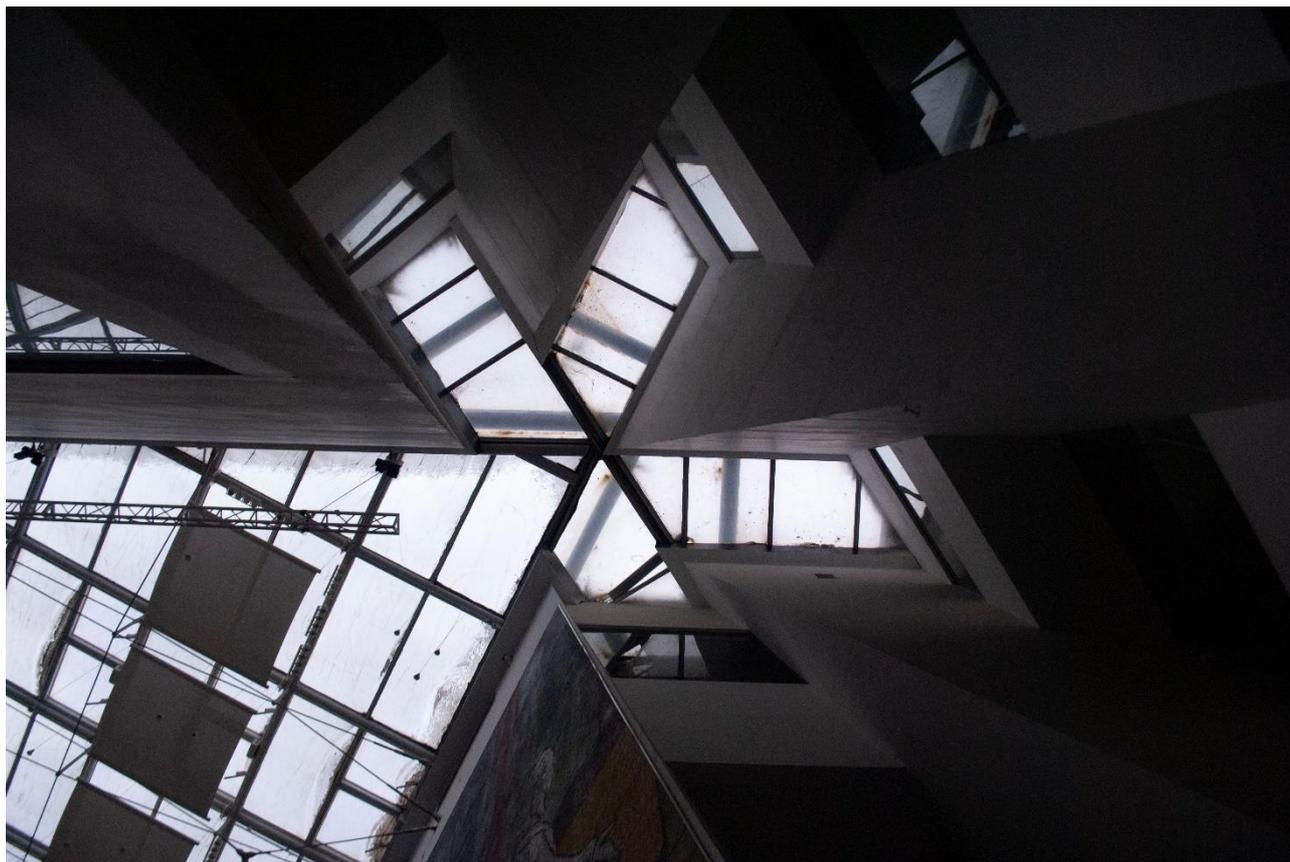


Figura 49 - Immagine di dettaglio sulla connessione tra i blocchi megalitici e la copertura vetrata, rievocando i tagli-vicoli della pianta



Figura 50 - Foto di una delle sale espositive al piano terra. È ben visibile l'effetto di trasparenza generato dal cemento i.ight®, che lascia penetrare la luce all'interno generando un ambiente confortevole

Liu Kan, professore della Tongji University, sottolinea che oltre a pensare alle strategie possibili per riqualificare la struttura ed inserire nuove funzioni, è necessario ragionare sulla sistemazione esterna. Prima c'era il parco Expo, ma in un futuro prossimo questo sarà il secondo edificio più grande insieme alla *Shanghai Grand Opera House* di Snøhetta e quindi la sua funzione principale sarà quella di servire il nuovo parco culturale e artistico, ma anche collettivo, che si sta delineando. È importante capire quale sarà l'utenza che usufruirà del parco, in modo da giustificare l'investimento del governo in questo progetto. Ed è quello su cui si focalizza l'intero workshop, sul riqualificare la struttura, ripulirla e ripensare ad un nuovo uso.

3.3 L'INIZIO DEL WORKSHOP

Il 26 novembre 2019 si entra nel vivo del lavoro congiunto, in cui noi studenti veniamo suddivisi in tre team misti italo-cinesi. Il punto di partenza è l'interscambio delle conoscenze acquisite dalle tre università nei mesi precedenti questo incontro e l'obiettivo finale è arrivare a definire una proposta progettuale per ogni gruppo, frutto delle analisi, delle riflessioni e dei casi studio affrontati. Dopo aver imbastito qualche bozza concettuale, i professori che collaborano al Joint Studio passano tra i tavoli di lavoro per osservare i primi risultati prodotti ed invitarci a porre il focus su tre macro tematiche:

- Un nuovo masterplan, ovvero un disegno urbano degli assi principali, delle connessioni tra l'edificio ed il contesto, del sistema di accessibilità e fruibilità del sito;
- Alcune possibili strategie e soluzioni progettuali, ad esempio quella di rimuovere la superfetazione in copertura successiva all'Expo o quella di preservare la facciata e la macro-distribuzione interna, elementi caratterizzanti l'edificio. Un aspetto fondamentale su cui porre l'attenzione è quello funzionale: bisogna mirare a conferire al Padiglione una destinazione principale, ossia quella museale, e restituire quindi una nuova immagine, quella di Epicentro Culturale dell'Italia a Shanghai. La trasparenza rappresenta, senza dubbio, l'identità dell'edificio, ma è possibile lavorare su una nuova pelle, che, pur mantenendo l'effetto di traslucidità risolva al contempo le problematiche energetiche;
- L'aggiunta di nuovi spazi: riprogettare l'ingresso in modo che sia chiaramente leggibile da ogni angolazione, ripensare alla distribuzione verticale, creare una promenade di collegamento dal punto di arrivo della linea metropolitana e dal lungofiume verso il Padiglione, realizzare dei nuovi spazi pubblici di aggregazione.

Per rendere le proposte progettuali accattivanti e di facile lettura, i tre gruppi lavorano sulla creazione di una forte astrazione visiva che rappresenti graficamente il concept proposto. Il filo conduttore delle tre tematizzazioni è rappresentato dalla celebrazione della cultura e della tradizione italiana, accompagnato da un rimando alle caratteristiche del paese ospitante. Il gruppo 1 propone l'idea di teatro interrato, il gruppo 2 quella di giardino rinascimentale, il gruppo 3 quella di piazza pubblica.



Figura 51 - Concept grafico delle tre proposte progettuali

3.4 L'ELABORAZIONE DEL MASTERPLAN E DELLE IPOTESI DI PROGETTO

Ai gruppi di lavoro viene fornito il masterplan dell'assetto territoriale che avrà il futuro parco culturale come base su cui contestualizzare le proprie proposte.

总平面图
MASTERPLAN



Figura 52 - Planimetria generale del futuro allestimento dell'Expo Cultural Park, con evidenziato in rosso il Padiglione Italia

Nelle pagine successive si riportano le ipotesi di progetto elaborate dagli studenti delle tre università: Giulia Bufo, Gianluca Basile, Laura Barrios per il Politecnico di Torino; Andrea Martini, Brunella Guerra, Mariasofia Quaresima, Riccardo Zucco per l'Università di Firenze; Bayaramdurdy Bekmyradov, Cheng Jiajing, Frazzica Martina, Grugni Francesco, Guo Sitong, Jiang Yuwei, Kobayashi Masato, Li Yanxi, Nallbani Ambela, Pan Yiting, Xu Gefei, Xu Xulin, Zhang Yuning, Zhang Zihan per la Tongji University.

Il primo gruppo elabora un masterplan sul concetto di teatro interrato come area pubblica con spazi laboratoriali ed ingresso al museo dal lato nord est, riproponendolo anche sul corridoio di affaccio al fiume Huangpu.



Figura 53 – Masterplan del gruppo 1

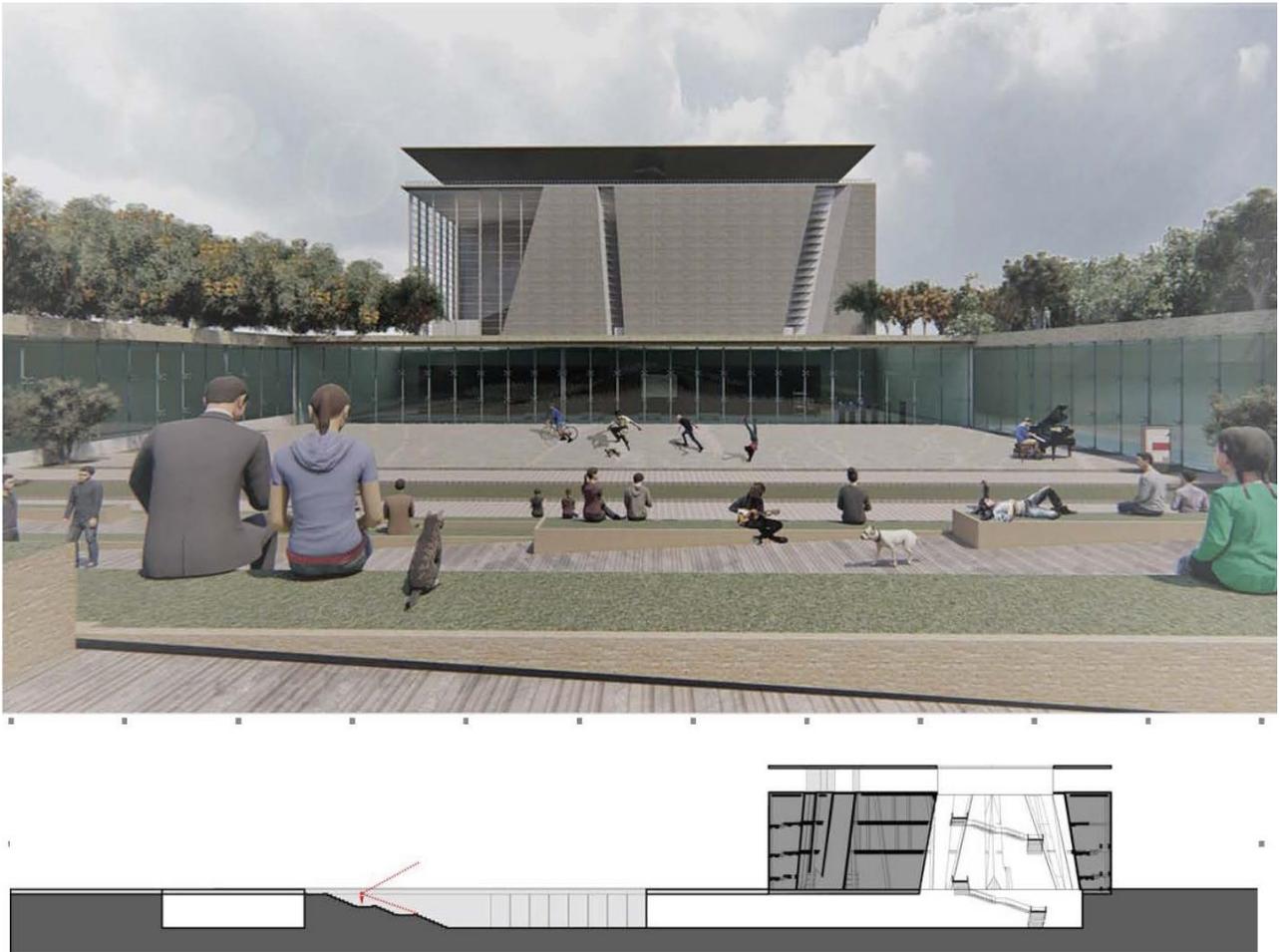


Figura 54 – Dall'immagine fotorealistica di progetto e dalla sezione territoriale è possibile comprendere il tema fondante l'idea del gruppo 1

Il secondo gruppo, invece, parte dalla rievocazione dei tradizionali giardini rinascimentali italiani per sviluppare una proposta basata sull'ordine e sull'armonia tra la componente naturale ed il costruito, assimilando il Padiglione ad una villa circondata dal verde.



Figura 55 – Masterplan del gruppo 2

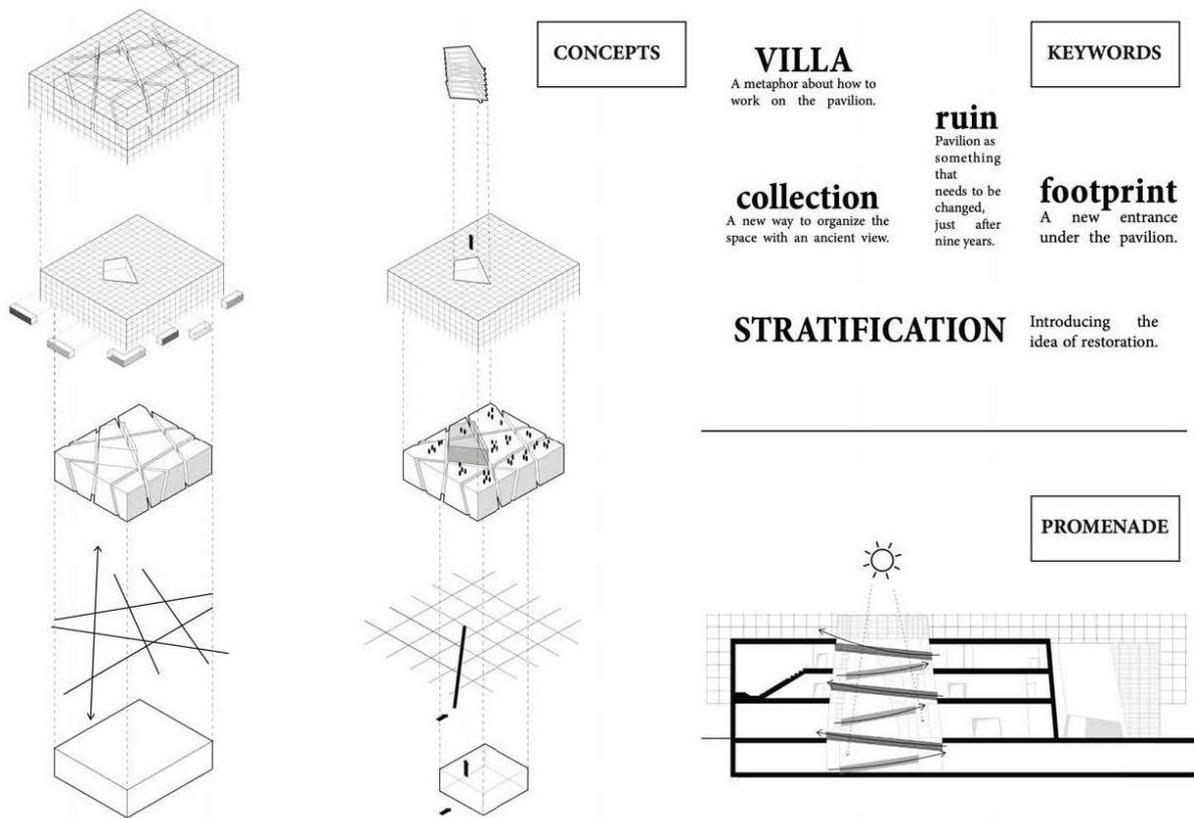


Figura 56 - Sintesi dei concetti chiave del gruppo 2



Figura 57 - Immagine fotorealistica di progetto del gruppo 2, con la "nuova pelle" del Padiglione recante banner pubblicitari

Il terzo gruppo parte dall'intento di progettare una nuova piazza pubblica di connessione tra l'edificio e il lungofiume. Si disegna una piastra lunga e sottile che, andando a sezionare in orizzontale il volume, genera al di sotto degli spazi per le attività pubbliche e ai livelli soprastanti le funzioni museali. Vengono, inoltre, pensati alcuni blocchi separati sotto la piastra per ospitare i "laboratori del fare", con artigiani che rappresentino le eccellenze italiane.



Figura 58 - Masterplan del gruppo 3

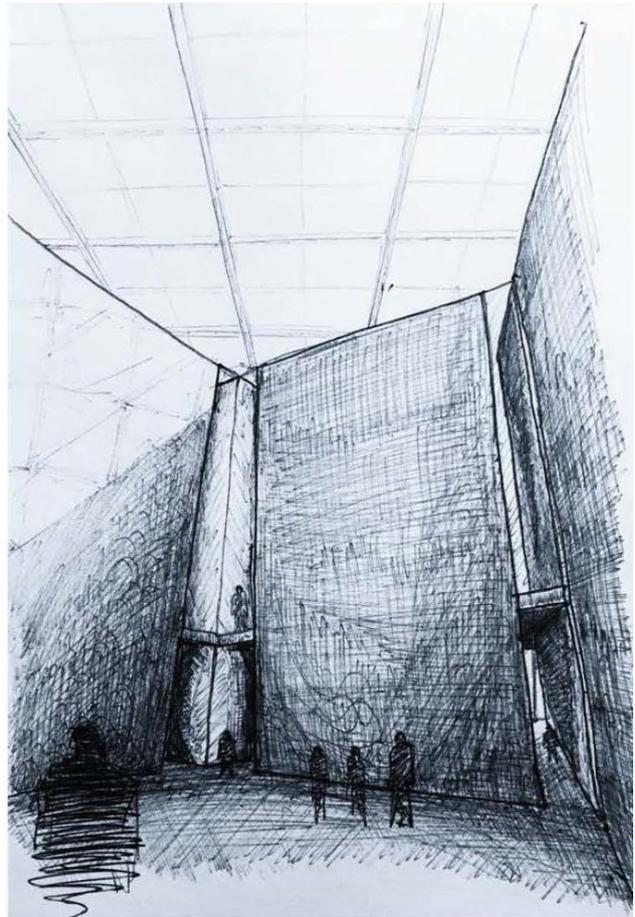
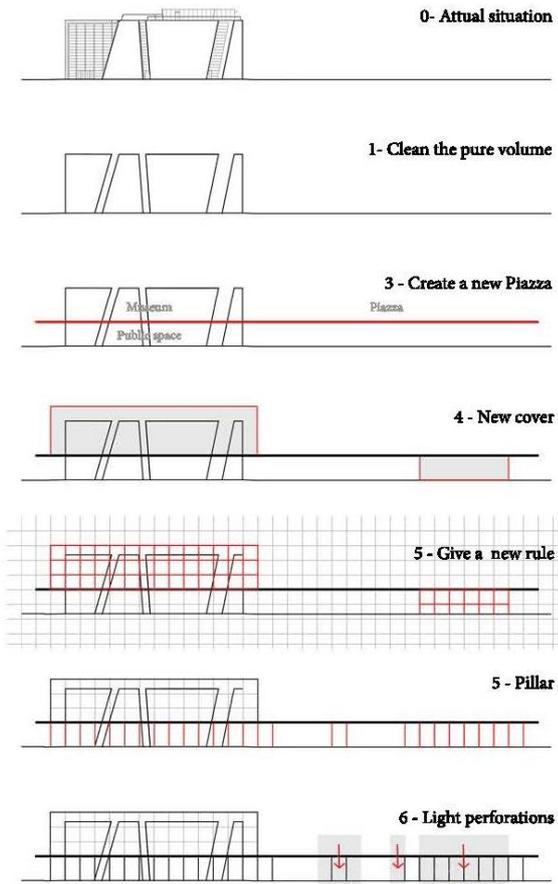


Figura 59 - Sequenza progettuale dei concetti fondanti l'idea del gruppo 3

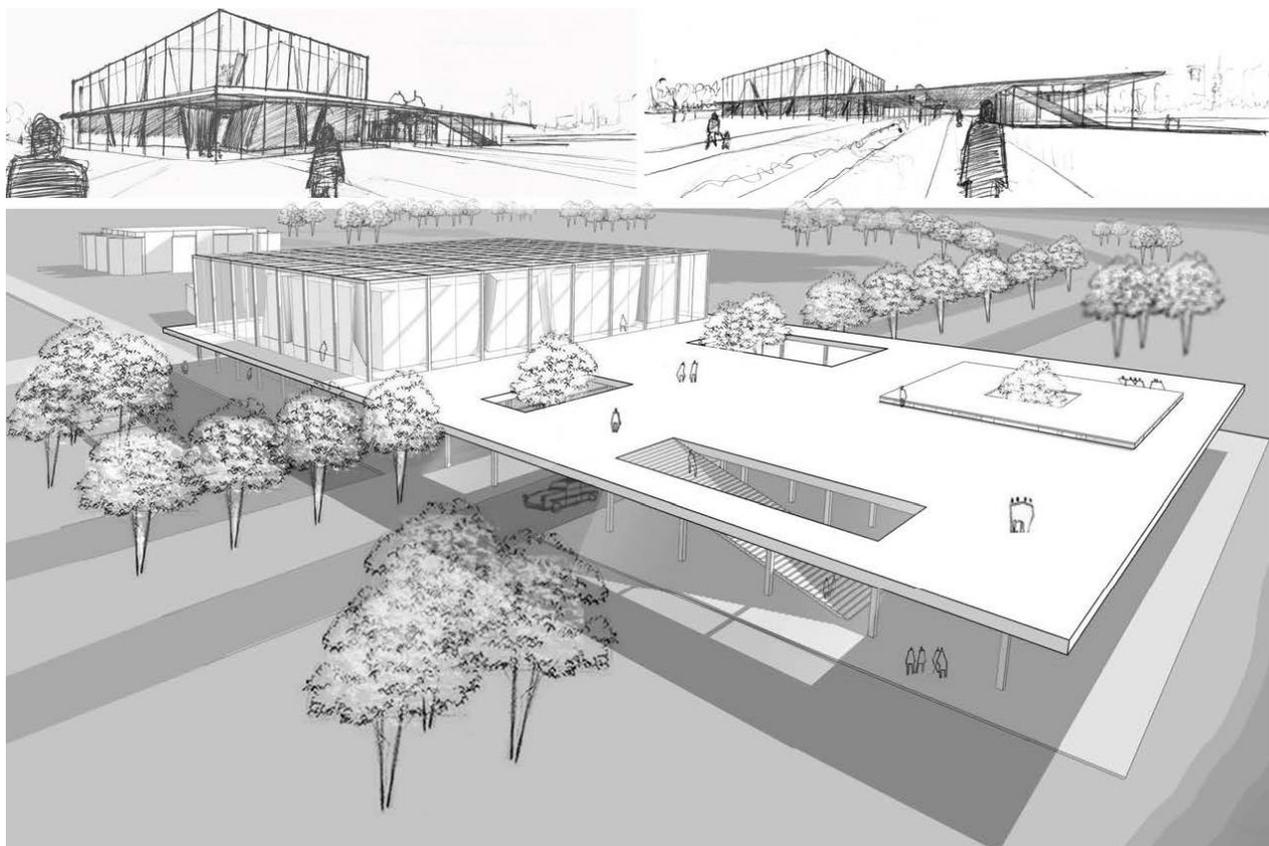


Figura 60 - Graficizzazione schematica del progetto della piastra pubblica proposto dal gruppo 3

3.5 L'ESITO FINALE E LA PRESENTAZIONE DEL LAVORO SVOLTO

Parallelamente all'attività di workshop gli studenti di Torino e Firenze sono impegnati nell'allestimento dello stand espositivo delle loro università alla "Art and Education Fair", presso il West Bund Art Center di Shanghai. È lì che il giorno conclusivo del lavoro di gruppo, ovvero il 29 novembre 2019, vengono presentati i risultati raggiunti dai tre gruppi durante il Joint Design Studio presso la Tongji University.



Figura 61 - Padiglioni espositivi della "Art and Education Fair"

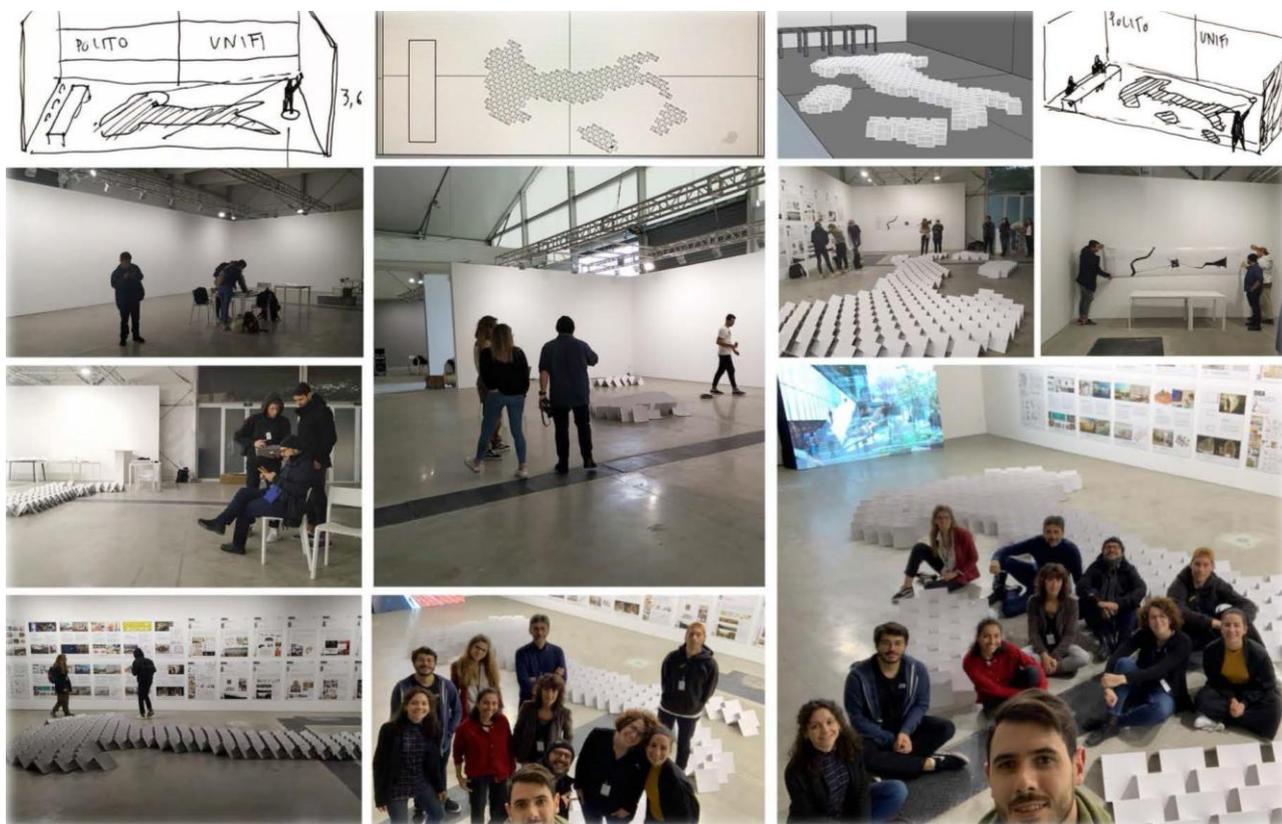


Figura 62 - Sequenza delle fasi di allestimento della mostra da parte del team Polito-Unifi

Durante il workshop vengono prodotti numerosi schizzi concettuali, molti dei quali vengono appesi ad una delle pareti dell'area espositiva, in rappresentanza del work-in-progress e dell'iter progettuale seguito. A corredo, vengono scritte le parole chiave fondanti le ipotesi proposte.

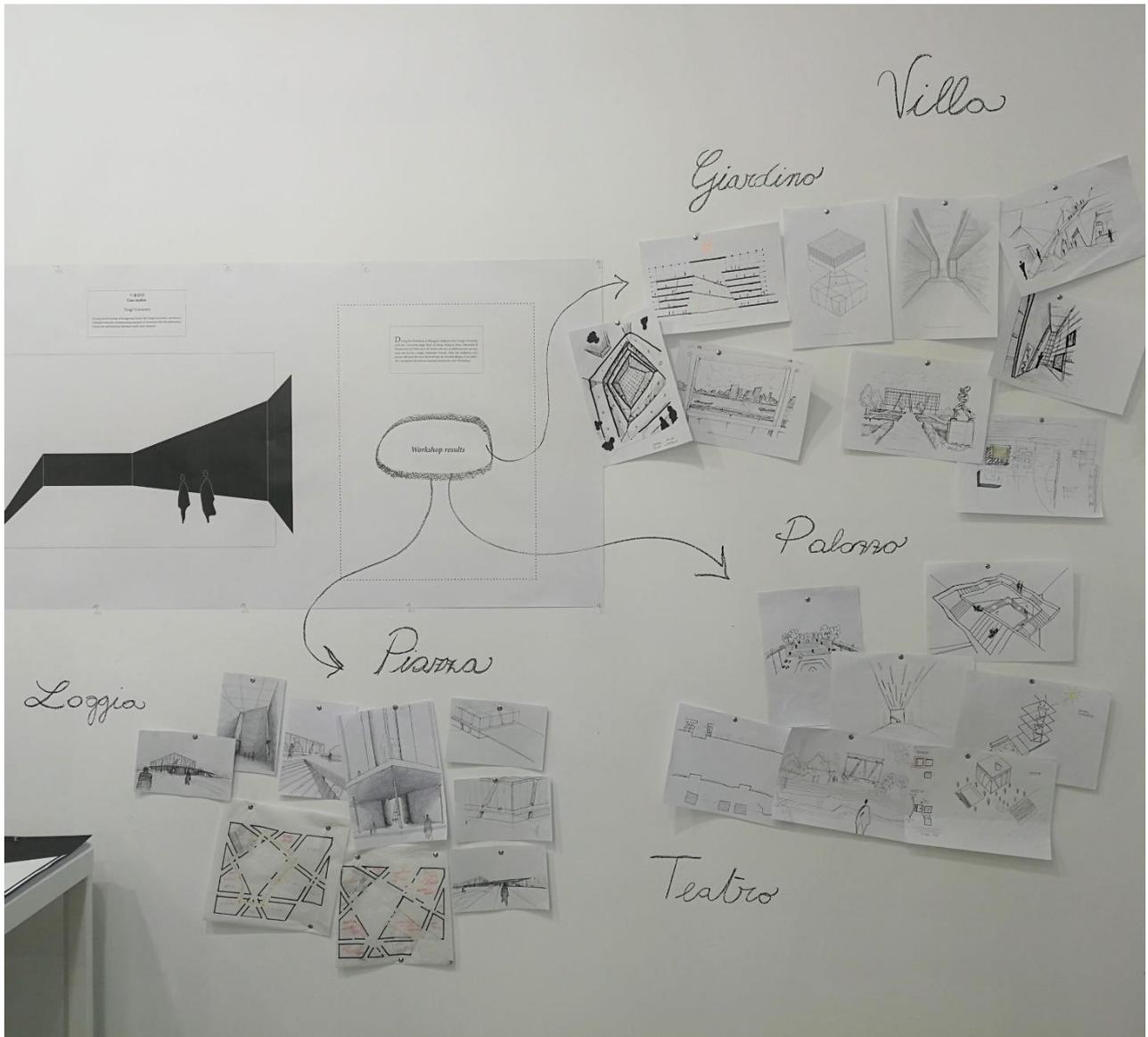


Figura 63 - Parete espositiva con gli sketch di progetto

Ciascun gruppo realizza un modello tridimensionale della propria proposta progettuale, per meglio inquadrare il contesto di riferimento e poter esporre le proprie idee davanti ad i professori.



Figura 64 -Modello realizzato dal gruppo 1



Figura 65 - Modello realizzato dal gruppo 2



Figura 66 - Modello realizzato dal gruppo 3

Il mio gruppo di lavoro è stato il terzo, quello che ha prodotto l'idea della piastra-giardino pubblica che seziona il volume arrivando fino al lungofiume. Di seguito vengono riportate alcune foto di dettaglio:

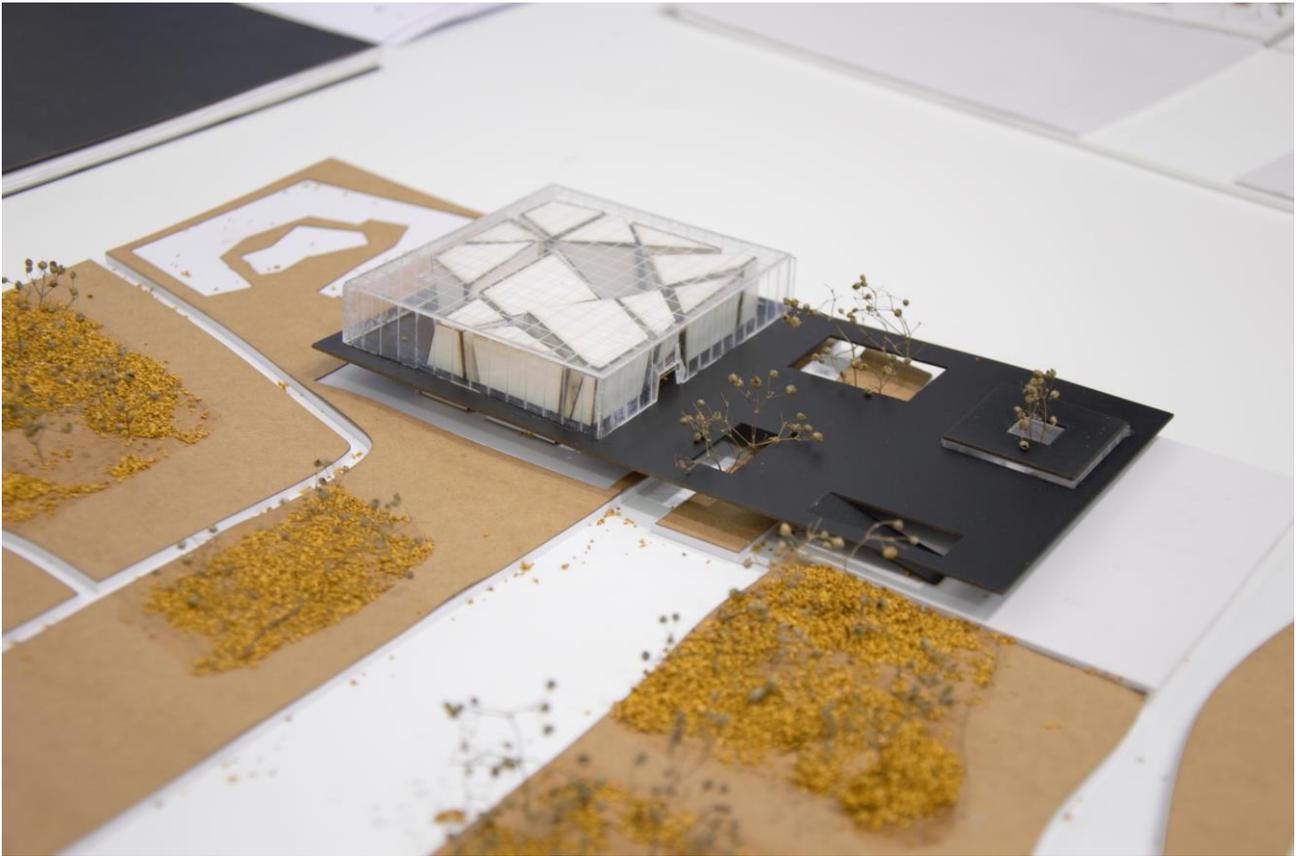


Figura 67 - Vista a volo d'uccello del progetto del gruppo 3



Figura 68 - Vista dall'alto del progetto del gruppo 3

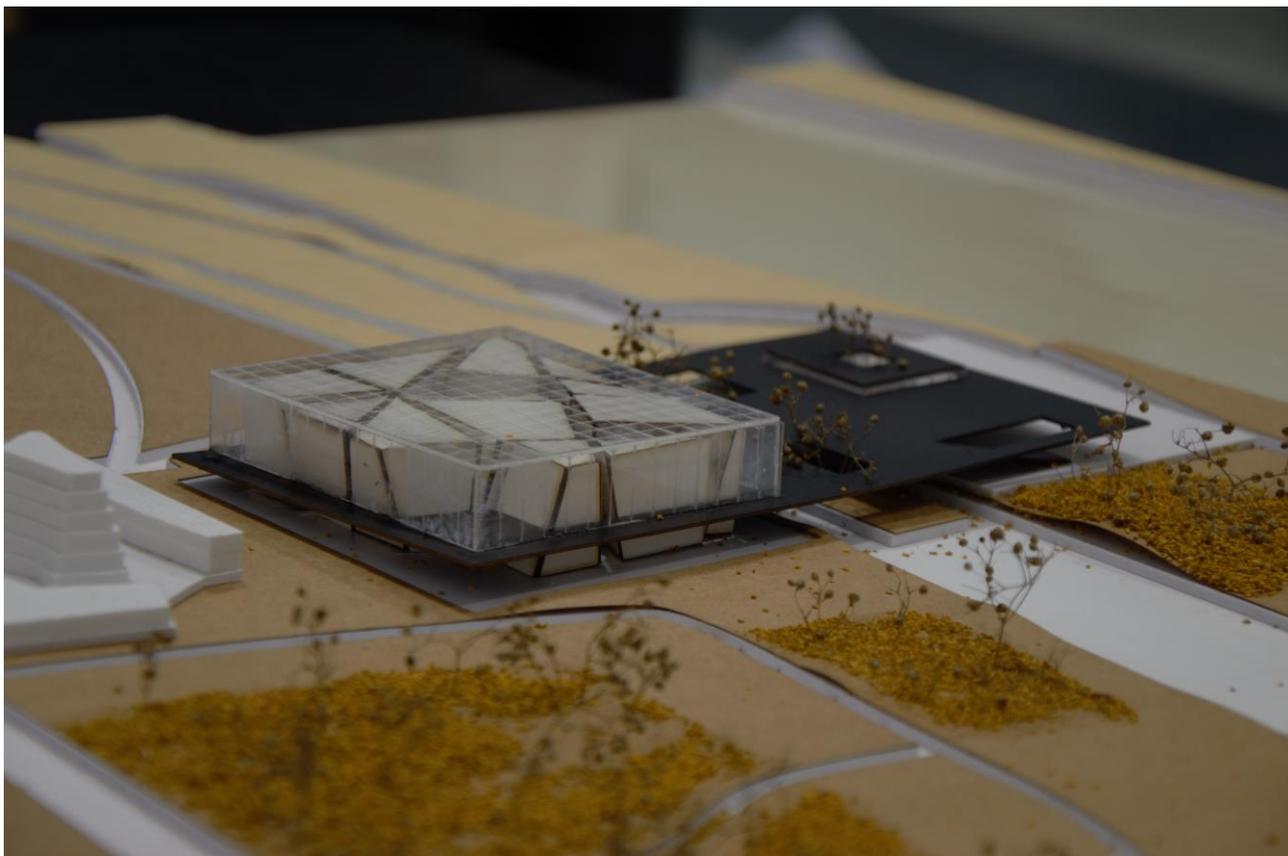


Figura 69 - Vista prospettica del progetto del gruppo 3

Condividere i miei pensieri con un team internazionale e multiculturale è stato motivo di crescita sia sul piano professionale che su quello personale.



Figura 70 – Foto del gruppo 3 in occasione della presentazione del lavoro alla fiera organizzata dal Future Lab di Shanghai



Figura 71 - Foto conclusiva del workshop a team riuniti, con la presenza del Consolato Italiano a Shanghai e dell'ex ministro dell'Istruzione, dell'università e della ricerca Lorenzo Fioramonti

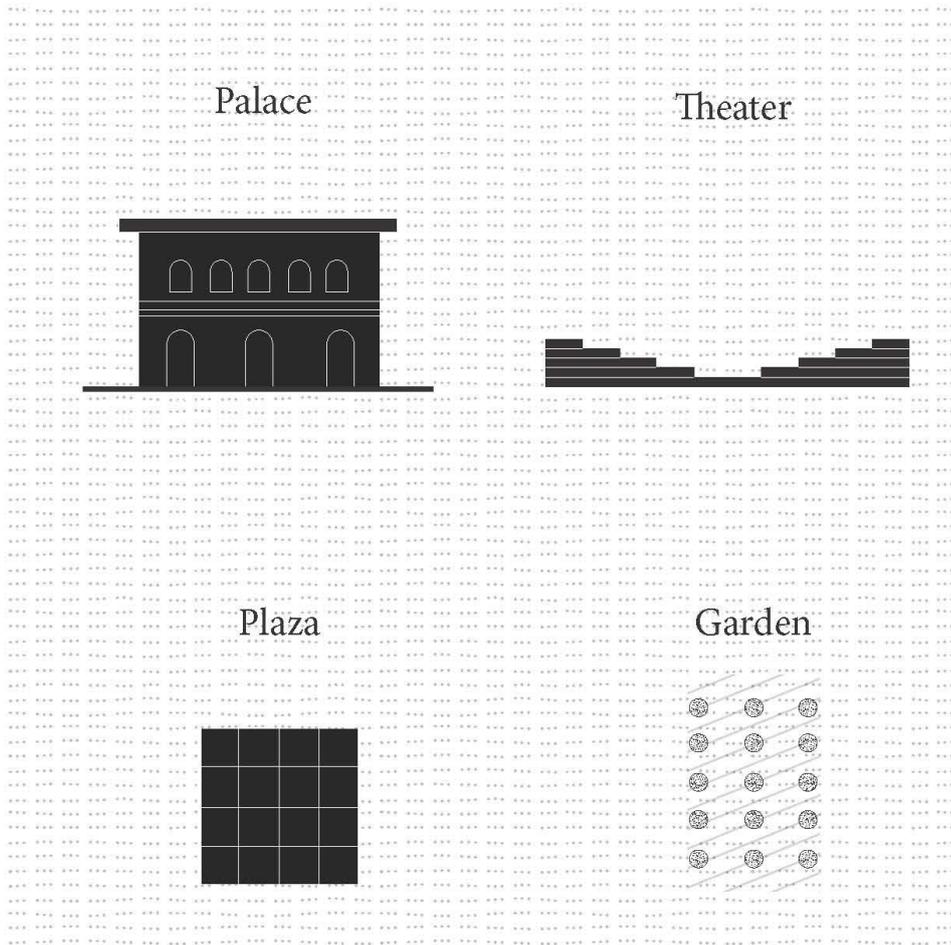
4 LA PROSECUZIONE DEL JOINT STUDIO IN ITALIA

4.1 LA CRASI PROGETTUALE

Seguendo le linee guida stabilite in occasione del workshop a Shanghai, i due atenei di Torino e Firenze hanno proseguito il lavoro progettuale. Un primo passo è stato quello di elaborare i seguenti schemi narrativi, che riassumono i concetti fondamentali del progetto:

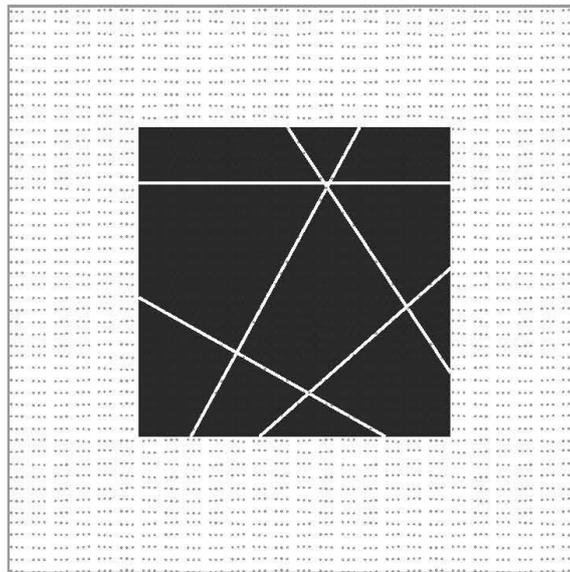
Narrative schemes
Palace- Plaza- Theater

Four Urban elements connecting
architecture and city



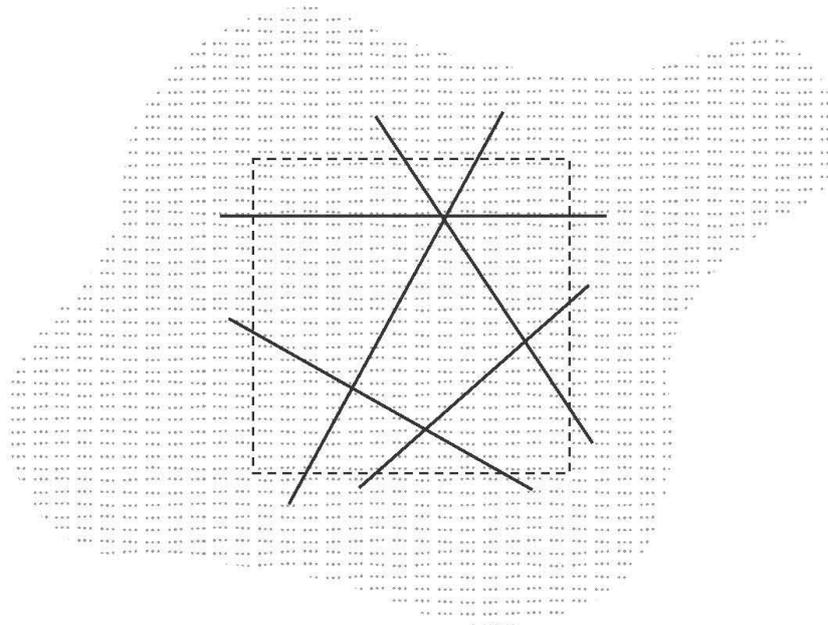
Expo 2010

Building as an object
representing urban complexity
inside it

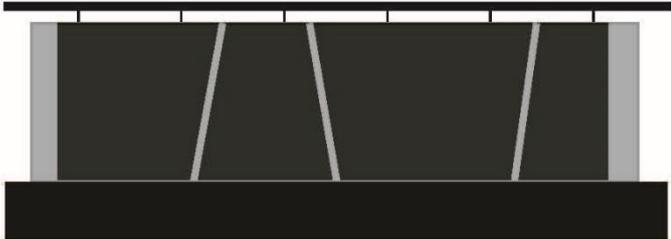
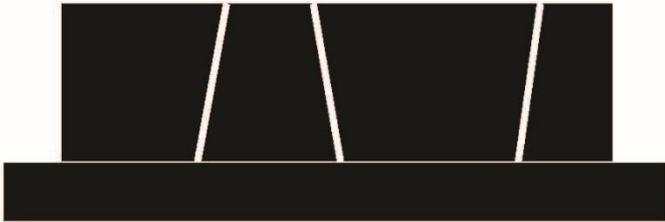


Expo Cultural Park

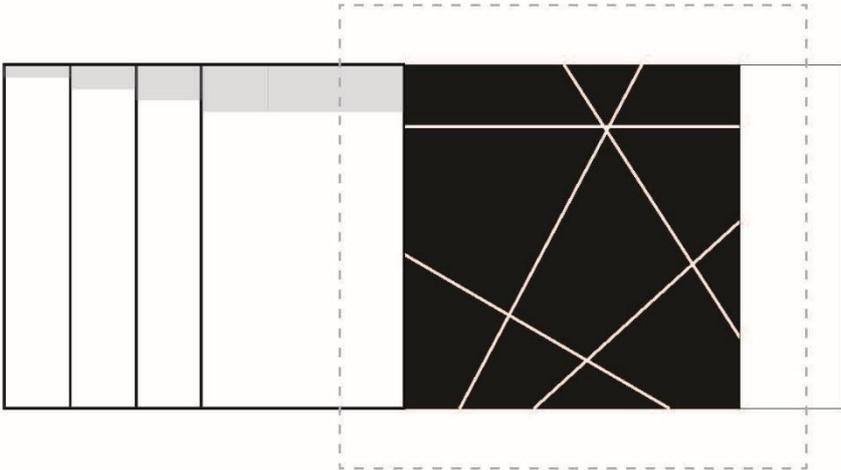
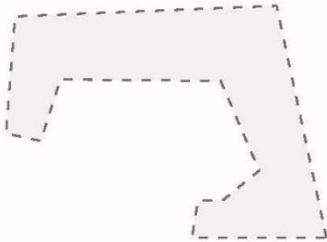
Building as a system, opening to
urban complexity through four
elements



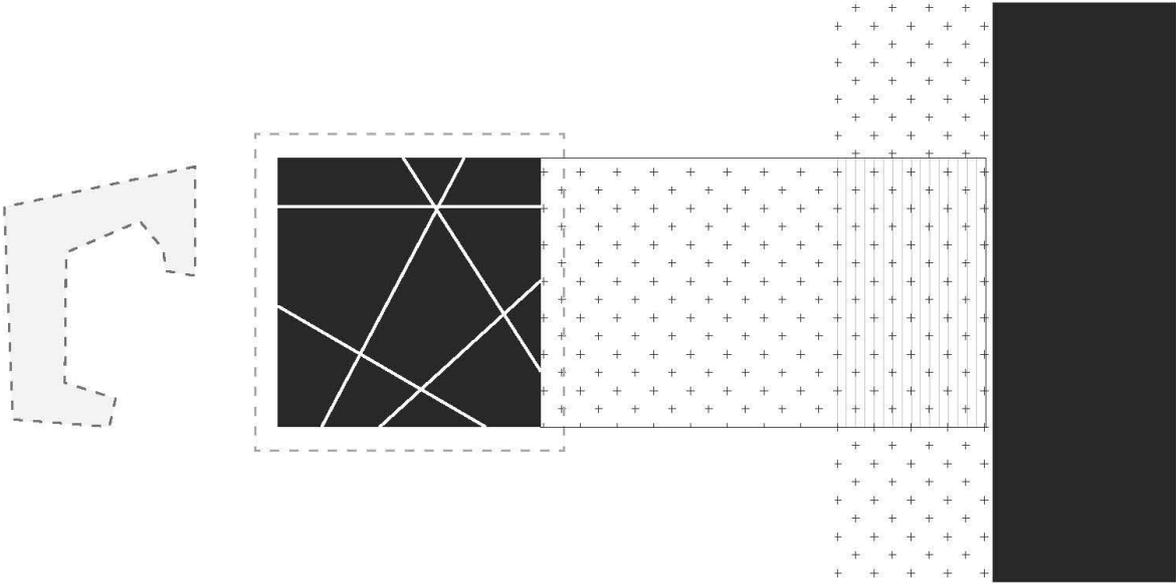
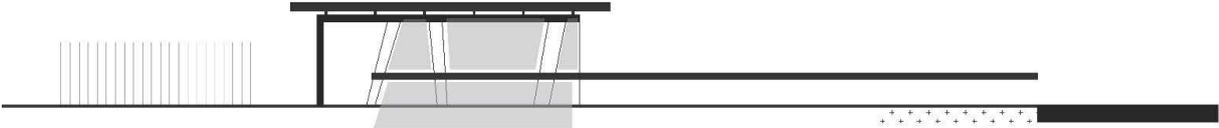
Palace



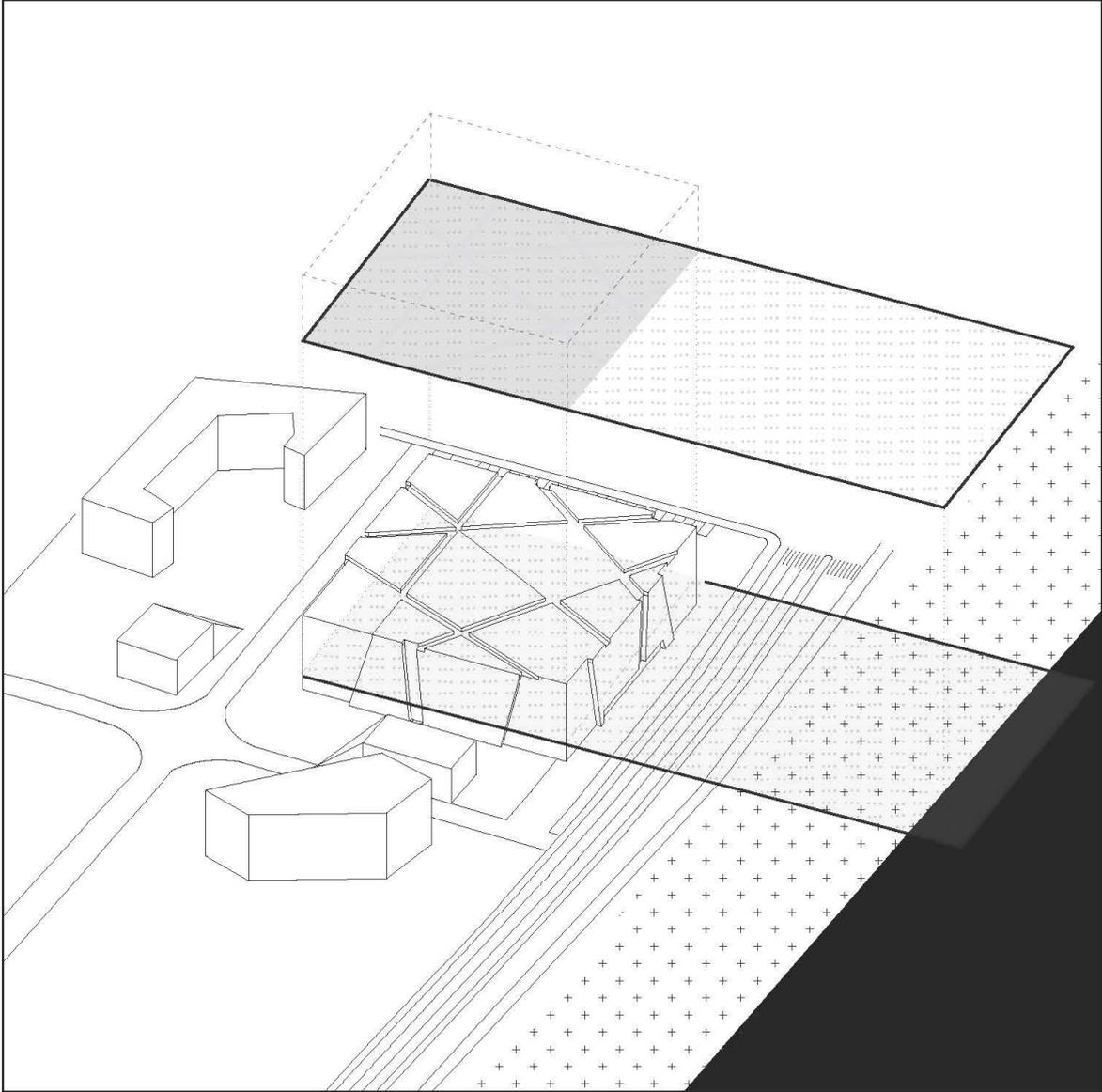
Theater



Plaza



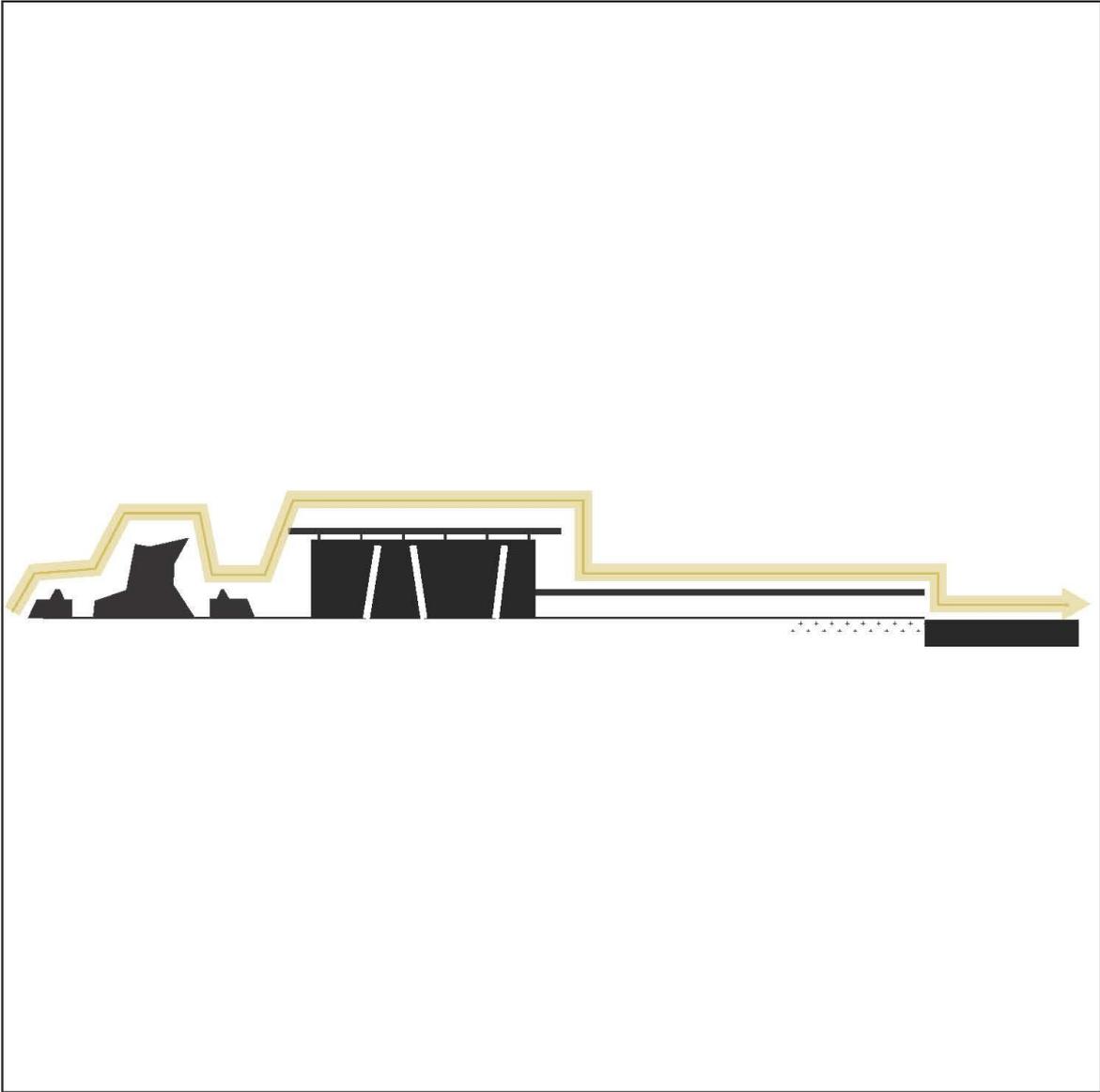
Plaza axo



Masterplan variation



Schematic section



Territorial section



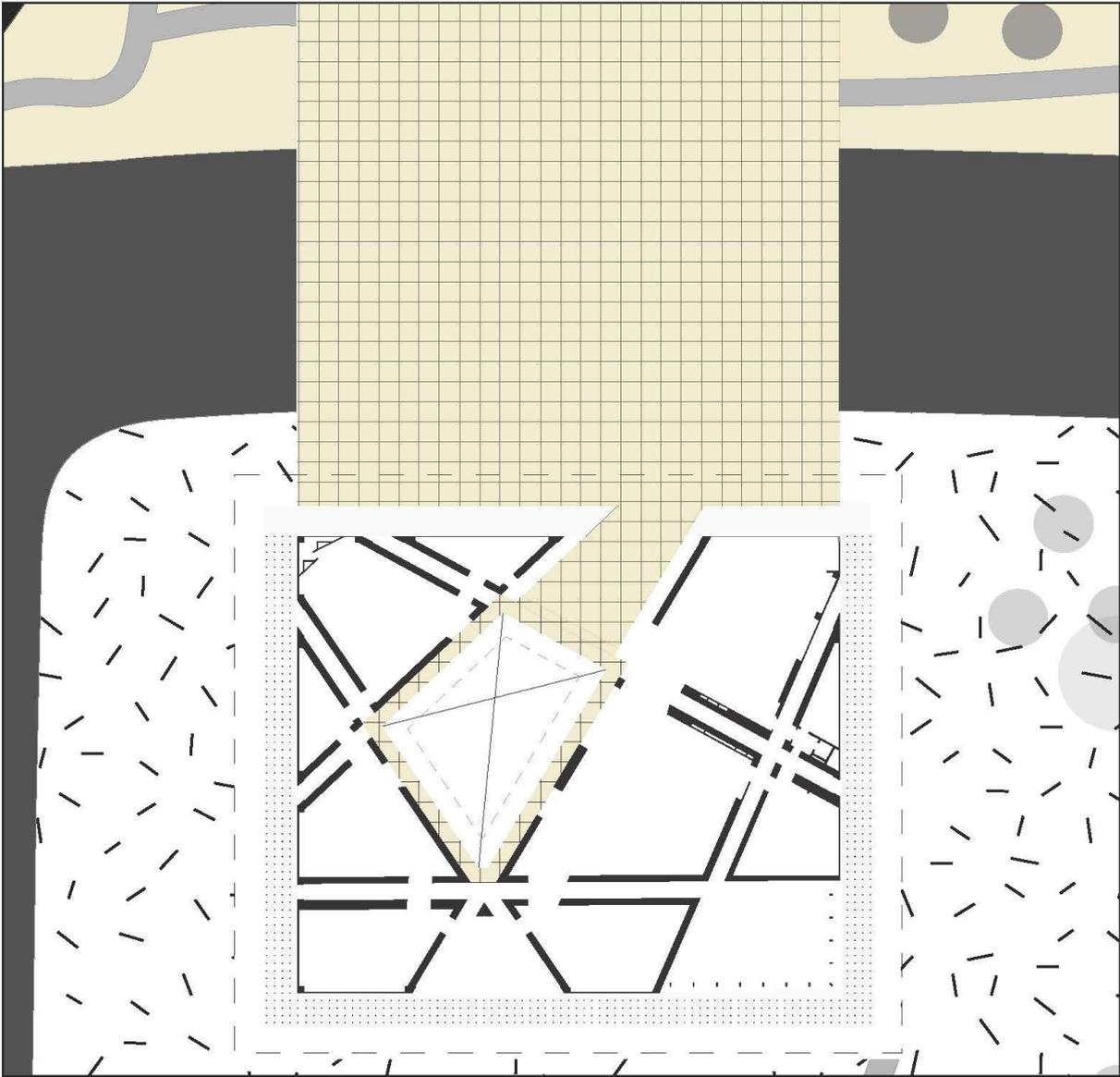
Section



North elevation



Floorplan



4.2 LA PROSECUZIONE DEL JOINT STUDIO

Nella fase successiva all'elaborazione degli schemi narrativi, si è andati a progettare più nel dettaglio quelli che sono i concetti fondanti del futuro intervento di riqualificazione:

- la creazione della piastra-giardino di connessione verso il fiume, nonché piazza aperta al pubblico, che entra nel Padiglione;
- la realizzazione degli spazi "laboratori del fare" al di sotto della piastra, che guardano il fiume Huangpu;
- la prosecuzione del volume vetrato della corte centrale fino alla nuova copertura;
- la nuova distribuzione verticale data dall'imponente scala centrale, che collega i vari livelli ed è direttamente accessibile dalla piastra;
- la riprogettazione degli spazi interni, con duplice destinazione d'uso: mostre temporanee al piano terra e mostra permanente ai due livelli soprastanti.
- l'utilizzo dell'ex copertura del padiglione come tetto-terrazzo ospitante i panoramici ristorante e lounge bar.

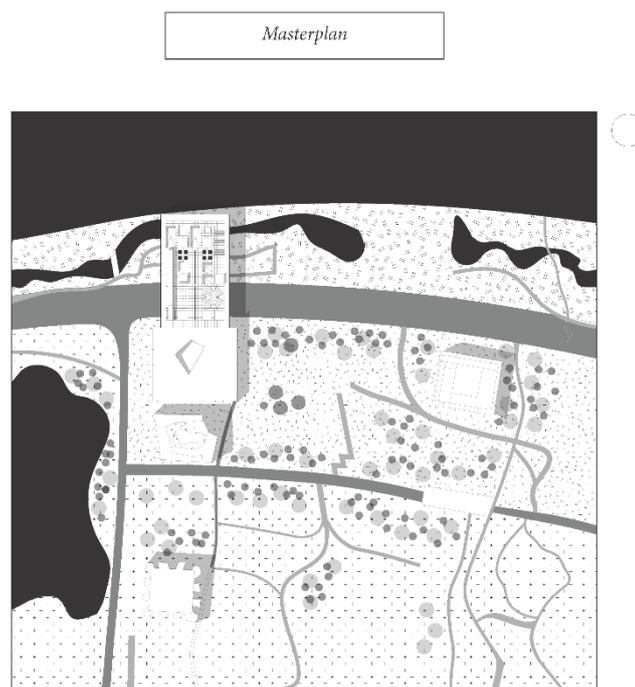


Figura 72 - Masterplan di progetto

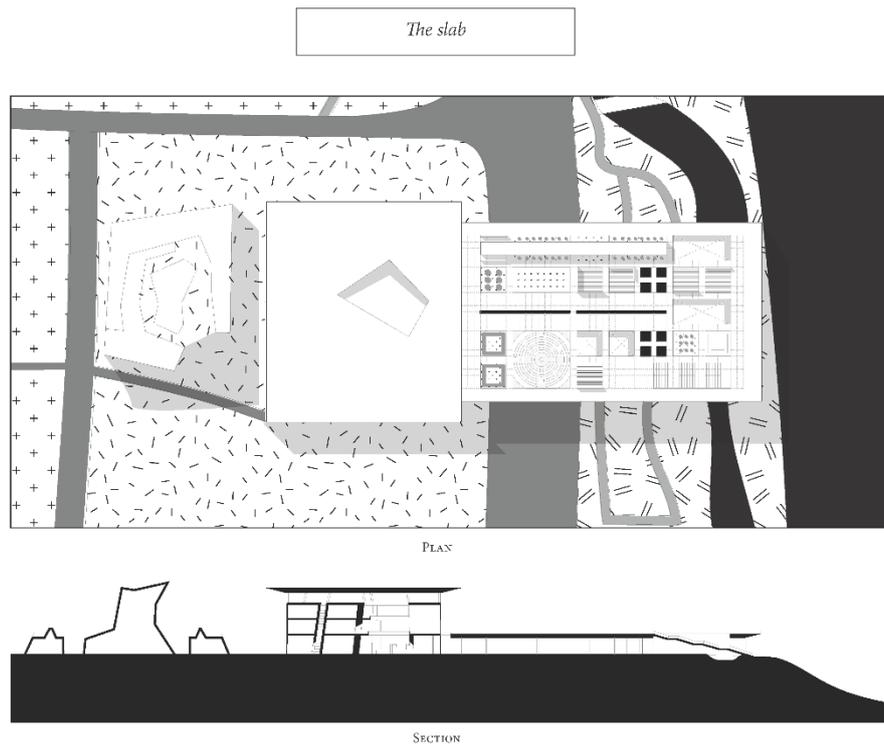


Figura 73 – Planimetria e sezione territoriale

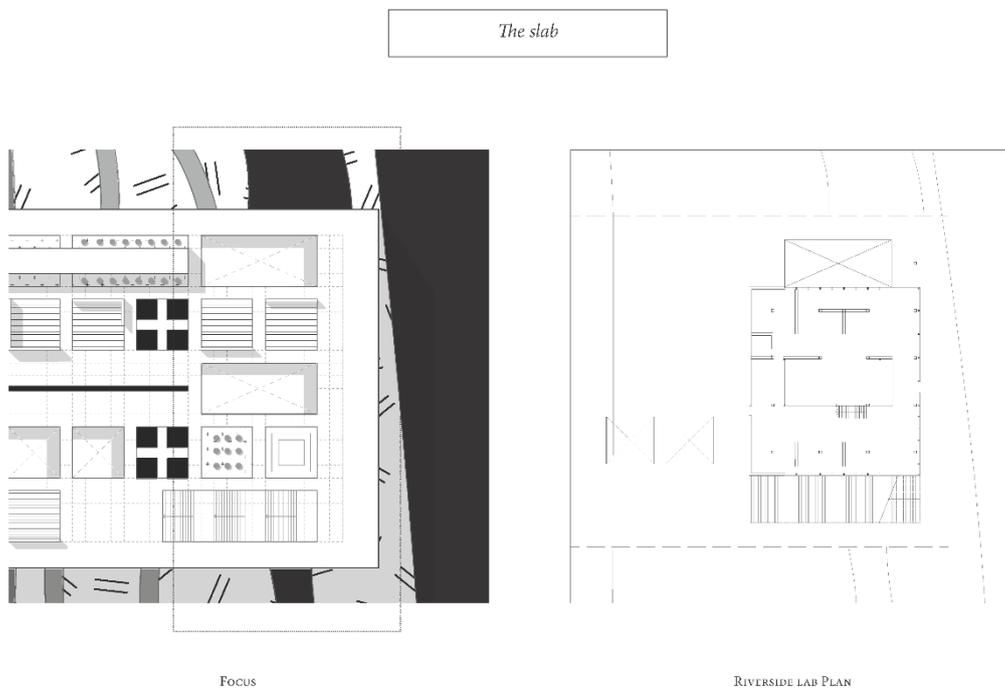


Figura 74 - Focus sui laboratori sotto la piastra rivolti verso il lungofiume

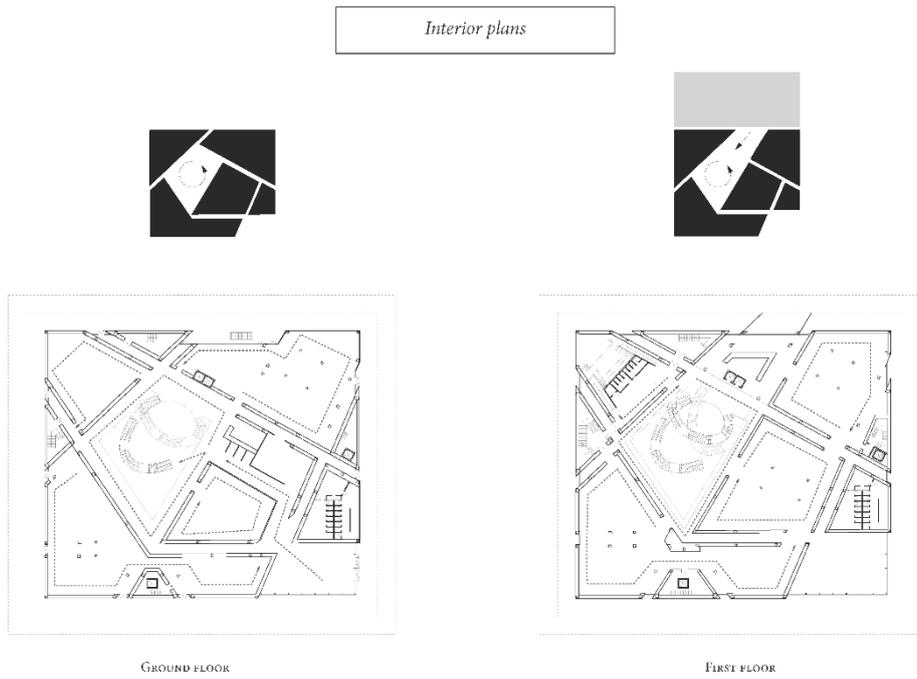


Figura 75 - Piante della distribuzione interna del piano terra e del primo piano

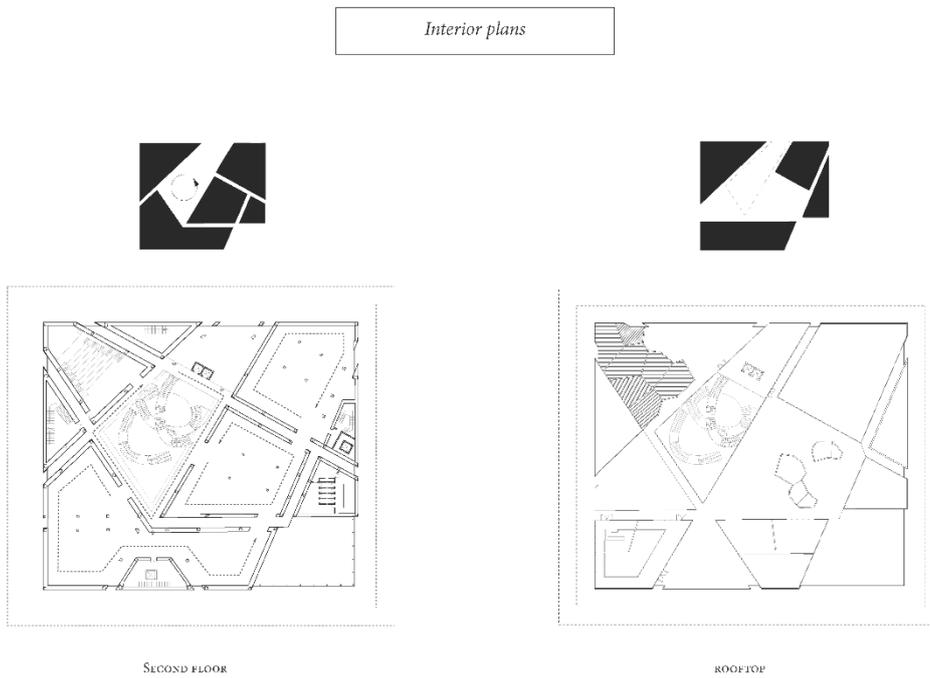


Figura 76 - Piante della distribuzione interna del secondo piano e del piano terrazzato

Perspective section



Figura 77 - Sezione prospettica con evidenziata la scalinata distributiva

5 LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA

5.1 LA CARATTERIZZAZIONE CLIMATICA DI SHANGHAI

Shanghai, la più grande città cinese, è situata sulla costa centrale del paese ed è attraversata dal fiume Huangpu, presso il delta del fiume Azzurro che sfocia nel mar Cinese Orientale. Il clima è di tipo subtropicale umido con media annuale di +12,7°C. Vi sono due lunghe stagioni nettamente distinte, inverno ed estate, e due corte stagioni intermedie caratterizzate da un clima asciutto, abbastanza ventilato e con temperature miti. La stagione invernale è complessivamente fredda, ma non gelida come nelle zone costiere più settentrionali della Cina, mentre quella estiva è contraddistinta da temperature molto elevate, notevole umidità e afa intensa, unite a frequenti piogge.

Di seguito si riportano i valori di riferimento per il calcolo energetico.

CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE	
Località	Cina
Provincia	Shanghai
Altitudine s.l.m.	10 m
Latitudine NORD	31° 10'
Longitudine EST	121° 25'
Località di riferimento per i dati invernali ed estivi	Shanghai, IWEC Data ⁹
Stazioni di rilevazione per temperatura, irradianza, vento	Shanghai, IWEC Data

Tabella 1 - Caratteristiche geografiche di Shanghai

CARATTERISTICHE DEL VENTO	
Distanza dal mare	< 40 km
Velocità media annua del vento	3,1 m/s
Velocità massima mensile del vento	4,0 m/s

Tabella 2 - Caratteristiche del vento di Shanghai

TEMPERATURE ESTERNE DI PROGETTO IN REGIME INVERNALE ED ESTIVO	
Temperatura esterna di progetto in regime invernale	2°C
Temperatura estiva di bulbo secco	31,6°C
Temperatura estiva di bulbo umido	24,2°C

Tabella 3 - Temperature di progetto di Shanghai

⁹ IWEC- WMO#583670 - Asia -- Original Source Data (c) 2001 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Inc., Atlanta, GA, USA

5.2 LA CREAZIONE DEL MODELLO IN EDILCLIMA EC700

5.2.1 Le ipotesi di calcolo

Per effettuare il calcolo energetico, in regime semistazionario e in regime dinamico con passo orario, è stato necessario avvalersi del software Edilclima EC700. I metodi di calcolo, descritti dagli standard UNI/TS 11300-4/5:2016 e UNI EN ISO 52016-1:2018 implementati nel software, hanno permesso di definire un adeguato modello dell'edificio. Una prima difficoltà si è riscontrata nella fase di input dei dati climatici, in quanto il programma di calcolo è italiano e contiene solo valori di riferimento per località nazionali. Per ovviare a questa problematica, i dati orari sono stati importati a mezzo di un foglio excel creato a partire da un file formato .epw (fonte IWEC: "International Weather for Energy Calculations"), generato dal database di Energy Plus su un anno tipo di riferimento. I valori mensili sono stati ricavati attraverso la media di quelli orari ed inseriti manualmente nelle sezioni di competenza.

I dati inseriti in EC700 sono i seguenti:

- Temperatura, T [°C];
- Irradianza solare globale sul piano orizzontale, RADG [W/m²];
- Irradianza solare diffusa sul piano orizzontale, RDIF [W/m²];
- Irradianza solare diretta sul piano orizzontale, RDIR [W/m²];
- Umidità relativa, UREL [%];
- Pressione di vapore, PVAP [Pa];
- Velocità del vento, VELV [m/s].

Mese	T	RDIR	RDIF	RADG	UREL	PVAP	VELV
[-]	[°C]	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]	[%]	[Pa]	[m/s]
Gennaio	4,34	18,91	29,06	47,96	74	632,61	2,57
Febbraio	5,53	22,88	30,28	53,16	79	727,46	3,05
Marzo	8,91	21,64	41,17	62,81	73	840,55	3,05
Aprile	14,61	46,15	44,79	90,94	77	1283,40	3,97
Maggio	19,94	39,86	52,83	92,69	81	1878,54	3,26

Giugno	24,03	32,86	57,20	90,07	83	2498,83	2,57
Luglio	28,20	53,53	54,07	107,60	79	2993,00	4,03
Agosto	27,74	55,74	58,13	113,87	78	2870,55	2,62
Settembre	23,82	27,68	45,62	73,30	83	2465,69	3,81
Ottobre	18,15	37,21	37,90	75,11	75	1556,37	2,70
Novembre	12,23	26,43	30,56	56,99	73	1103,22	3,11
Dicembre	7,07	26,44	25,67	52,12	71	736,89	2,65

Tabella 4 - Valori medi mensili dei principali parametri caratterizzanti le condizioni climatiche di Shanghai

Il passo successivo è stato creare i diversi componenti. Non essendo in possesso di dati certi, sono state ipotizzate le stratigrafie esistenti a partire dalle informazioni acquisite durante il Joint Design Studio ed il sopralluogo effettuato. Viene, di seguito, mostrato l'elenco dei componenti d'involucro suddivisi per tipologia:

Muri:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
M1	T	Cemento i.light	100	100	2,190	-2,034	31,533	0,9	0,6	2,0	2,356
M2	E	Cemento i.light verso NC	100	100	2,190	-2,034	31,533	0,9	0,6	2,0	2,356
M3	U	Divisorio interno verso NC	800	0	1,764	-0,849	13,355	0,9	0,6	6,2	1,786

Tabella 5 - Tipologie di muri caratterizzanti l'edificio

Pavimenti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
P1	G	Pavimento sopraelevato su vespaio (igloo)	950	423	0,268	-8,151	45,342	0,9	0,6	2,0	0,216
P2	D	Solaio interpiano con pavimento sopraelevato	550	167	0,733	-5,358	44,088	0,9	0,6	-	1,554

Tabella 6 - Tipologie di pavimenti caratterizzanti l'edificio

Soffitti:

Cod	Tipo	Descrizione	Sp [mm]	Ms [kg/m ²]	Y _{IE} [W/m ² K]	Sfasamento [h]	C _T [kJ/m ² K]	ε [-]	α [-]	θ [°C]	Ue [W/m ² K]
S1	T	Solaio copertura di	1000	311	0,125	-7,448	68,370	0,9	0,6	2,0	0,745
S2	D	Solaio	550	167	1,344	-4,312	56,215	0,9	0,6	-	2,277

		<i>interpiano con pavimento sopraelevato</i>								
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabella 7- Tipologie di soffitti caratterizzanti l'edificio

Ponti termici:

Cod	Descrizione	Ψ [W/mK]
Z1	<i>P.T. coperture</i>	<i>0,200</i>
Z2	<i>P.T. solette intermedie</i>	<i>0,350</i>
Z3	<i>P.T. pavimenti sospesi</i>	<i>0,250</i>
Z4	<i>P.T. di pilastro</i>	<i>0,450</i>
Z5	<i>P.T. serramenti, porte e finestre</i>	<i>0,100</i>
Z6	<i>P.T. d'angolo</i>	<i>-0,075</i>
Z7	<i>P.T. pavimenti su terreno</i>	<i>0,025</i>

Tabella 8 - Tipologie di ponti termici presenti nell'edificio

Legenda simboli

Sp	Spessore struttura
Ms	Massa superficiale della struttura senza intonaci
YIE	Trasmittanza termica periodica della struttura
Sfasamento	Sfasamento dell'onda termica
CT	Capacità termica areica
ϵ	Emissività
α	Fattore di assorbimento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Ue	Trasmittanza termica della struttura
Ψ	Trasmittanza lineica di calcolo

Componenti finestrati:

Cod	Tipo	Descrizione	vetro	ϵ	ggl,n	fc inv	fc est	H	L	Ug	Uw	Agf	Lgf
								[cm]	[cm]	[W/m ² K]	[W/m ² K]	[m ²]	[m]
W1	T	parete vetrata 1	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	434	2,064	2,129	32	23
W2	E	parete vetrata 2	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	306	2,064	2,16	22	20
W3	T	parete vetrata 3	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	250	2,064	2,17	18	19
W4	T	parete vetrata 4	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	531	2,064	2,125	39	25
W5	E	parete vetrata 5	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	240	2,064	2,185	17	19
W6	E	parete vetrata hall 1	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	1160	2,064	2,103	86	38
W7	E	parete vetrata hall 2	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	2140	2,064	2,095	159	57
W8	T	parete vetrata 6	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	250	2,064	2,175	18	20
W9	T	parete vetrata 7	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	248	2,064	2,205	17	19
W10	T	parete vetrata 8	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	220	2,064	2,174	16	19
W11	E	parete vetrata 9	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	291	2,064	2,161	21	20
W12	T	parete vetrata 10	Doppio	0,837	0,75	1	1	745	386	2,064	2,145	28	22
W13	E	Lucernario	Doppio	0,837	0,75	1	1	2000	2000	2,064	2,082	399	79
W14	T	parete vetrata 1.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	434	2,064	2,149	23	19
W15	T	parete vetrata 1.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	434	2,064	2,135	27	21
W16	E	parete vetrata 2.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	306	2,064	2,149	16,5	16
W17	E	parete vetrata 2.3	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	306	2,064	2,149	19	18
W18	E	parete vetrata 3.1 verso NC	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	1700	2,064	2,107	92	44
W19	E	parete vetrata 3.2 verso NC	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	1650	2,064	2,106	103	46
W20	T	parete vetrata 4.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	531	2,064	2,146	28	21
W21	T	parete vetrata 4.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	531	2,064	2,129	33	23
W22	E	parete vetrata 5.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	240	2,064	2,217	12	15

W23	E	parete vetrata 5.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	235	2,064	2,196	14	17
W24	T	parete vetrata 6.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	250	2,064	2,192	13	16
W25	T	parete vetrata 6.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	250	2,064	2,186	15	17
W26	T	parete vetrata 7.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	230	2,064	2,191	12	15
W27	T	parete vetrata 7.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	230	2,064	2,183	14	17
W28	T	parete vetrata 8.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	220	2,064	2,225	11	15
W29	T	parete vetrata 8.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	220	2,064	2,208	13	17
W30	E	parete vetrata 9.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	291	2,064	2,185	15	16
W31	E	parete vetrata 9.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	291	2,064	2,156	18	18
W32	T	parete vetrata 10.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	386	2,064	2,169	20	18
W33	T	parete vetrata 10.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	386	2,064	2,14	24	20
W34	E	parete vetrata hall 1.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	1160	2,064	2,11	63	34
W35	E	parete vetrata hall 1.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	1160	2,064	2,103	73	35
W36	E	parete vetrata hall 2.1	Doppio	0,837	0,75	1	1	545	2140	2,064	2,105	116	53
W37	E	parete vetrata hall 2.2	Doppio	0,837	0,75	1	1	630	2140	2,064	2,101	134	55

Tabella 9- Tipologie di componenti vetrati presenti nell'edificio

Legenda simboli

Tipo T	Struttura da locale climatizzato verso esterno
Tipo E	Struttura da locale non climatizzato verso esterno
ε	Emissività
$g_{gl,n}$	Fattore di trasmissione solare
$f_{c\ inv}$	Fattore tendaggi (energia invernale)
$f_{c\ est}$	Fattore tendaggi (energia estiva)
H	Altezza
L	Larghezza
U_g	Trasmittanza vetro
U_w	Trasmittanza serramento
θ	Temperatura esterna o temperatura locale adiacente
Agf	Area del vetro
Lgf	Perimetro del vetro

5.2.2 Le caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi esistenti

Nelle prossime pagine vengono riassunte le principali caratteristiche dei componenti opachi, calcolate secondo UNI TS 11300-1 - UNI EN ISO 6946 - UNI EN ISO 13370:

Descrizione della struttura: Cemento i.light

Codice: M1

Trasmittanza termica	2,356	W/m ² K
Spessore	100	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	333,33 3	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	100	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	100	kg/m ²
Trasmittanza periodica	2,190	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,929	-
Sfasamento onda termica	-2,0	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	D - Massa equamente distribuita
Capacità termica	84,000 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
2	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,047	-	-	-

Tabella 10 - Stratigrafia M1

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Cemento i.light verso NC

Codice: M2

Trasmittanza termica	2,356	W/m ² K
Spessore	100	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	333,33 3	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	100	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	100	kg/m ²
Trasmittanza periodica	2,190	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,929	-
Sfasamento onda termica	-2,0	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
2	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,047	-	-	-

Tabella 11 - Stratigrafia M2

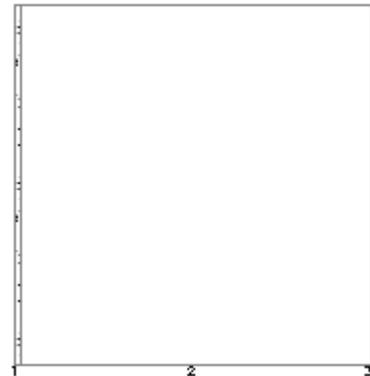
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Divisorio interno verso NC

Codice: M3

Trasmittanza termica	1,786	W/m ² K
Spessore	800	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	6,2	°C
Permeanza	645,16 1	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	27	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	0	kg/m ²
Trasmittanza periodica	1,764	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,988	-
Sfasamento onda termica	-0,8	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	D - Massa equamente distribuita
Capacità termica	27,000 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	15,00	0,250	0,060	900	1,00	10
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	770,00	4,278	0,180	-	-	-
3	Cartongesso in lastre	15,00	0,250	0,060	900	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Tabella 12 - Stratigrafia M3

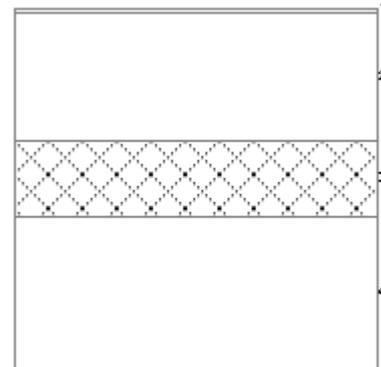
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
.		
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Pavimento sopraelevato su vespaio (igloo)

Codice: P1

Trasmittanza termica	1,679	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,216	W/m ² K
Spessore	950	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	423	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	423	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,268	W/m ² K
Fattore attenuazione	1,240	-
Sfasamento onda termica	-8,2	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	IE - Massa suddivisa lato interno ed esterno
Capacità termica	419,320 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	-	2300	0,84	-
2	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm ² /m	340,00	-	-	-	-	-
3	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	200,00	1,260	-	2000	1,00	-
4	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	400,00	1,702	-	-	-	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 13 - Stratigrafia P1

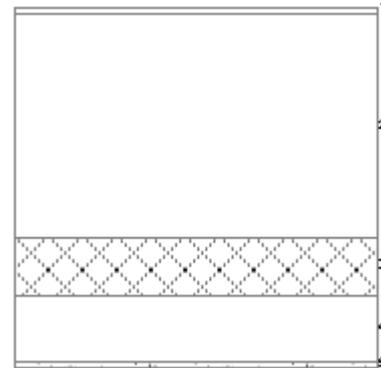
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Solaio inter piano con pavimento sopraelevato

Codice: P2

Trasmittanza termica	1,554	W/m ² K
Spessore	550	mm
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	185	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	167	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,733	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,471	-
Sfasamento onda termica	-5,4	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	I - Massa all'interno
Capacità termica	164,040 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	-	2300	0,84	-
2	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm ² /m	340,00	-	-	-	-	-
3	Sottofondo di cemento magro	90,00	0,700	-	1600	0,88	-
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=800 mm ² /m	100,00	-	-	-	-	-
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	-	1800	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Tabella 14 - Stratigrafia P2

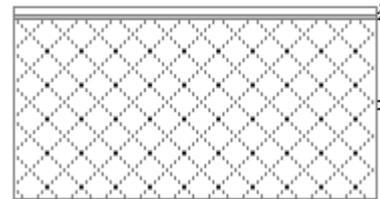
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
.		
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Solaio di copertura

Codice: S1

Trasmittanza termica	1,893	W/m ² K
Spessore	264	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,002	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	429	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	429	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,747	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,400	-
Sfasamento onda termica	-8,0	h



Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	-
2	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	4,00	0,170	0,024	1390	0,90	50000
3	Sottofondo di cemento magro	250,00	0,700	0,357	1600	0,88	20
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 15 - Stratigrafia S1

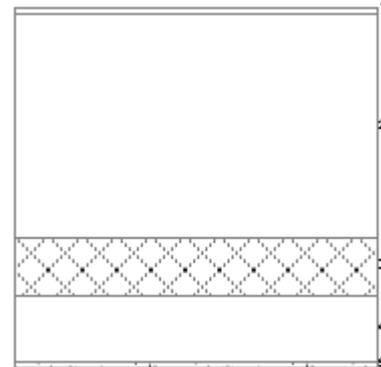
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
.		
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

**Descrizione della struttura: Solaio interpiano con pavimento
sopraelevato**

Codice: S2

Trasmittanza termica	2,277	W/m ² K
Spessore	550	mm
Permeanza	909,09 1	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	185	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	167	kg/m ²
Trasmittanza periodica	1,344	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,590	-
Sfasamento onda termica	-4,3	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	E - Massa all'esterno
Capacità termica	164,040 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	-	2300	0,84	-
2	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm ² /m	340,00	-	-	-	-	-
3	Sottofondo di cemento magro	90,00	0,700	-	1600	0,88	-
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=800 mm ² /m	100,00	-	-	-	-	-
5	Malta di calce o di calce e cemento	10,00	0,900	-	1800	1,00	22
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 16 - Stratigrafia S2

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

5.2.3 La zonizzazione termica

Ai fini del calcolo, è stato scelto di eseguire la zonizzazione termica in considerazione delle comuni funzioni e condizioni al contorno dei vari piani costituenti i macro blocchi aggregati come da progetto. Per questo motivo, ogni zona termica comprende tutti e tre i piani di cui è composto l'edificio.

Si individuano, quindi, cinque zone termiche:

- Blocco 1: rosa;
- Blocco 2: giallo;
- Blocco 3: verde;
- Blocco 4: azzurro;
- Blocco 5: viola.

Di queste, quattro sono a funzione espositiva, mentre il Blocco 4 è quello dedicato ai servizi igienici, su ogni piano. A titolo esemplificativo, si riporta la pianta del piano primo. La suddivisione in zone termiche avviene coerentemente anche negli altri livelli.

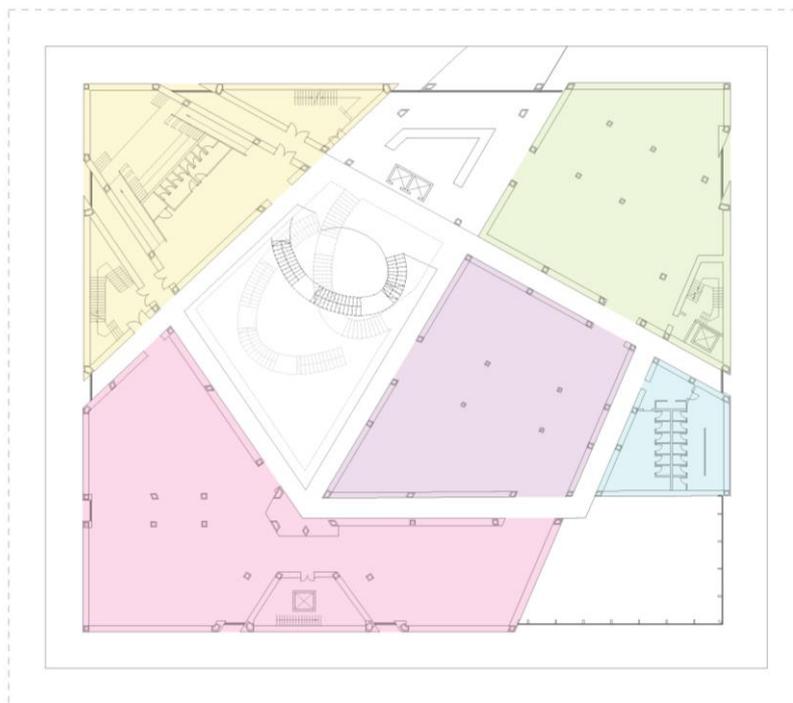


Figura 78 - Pianta piano primo con zonizzazione termica

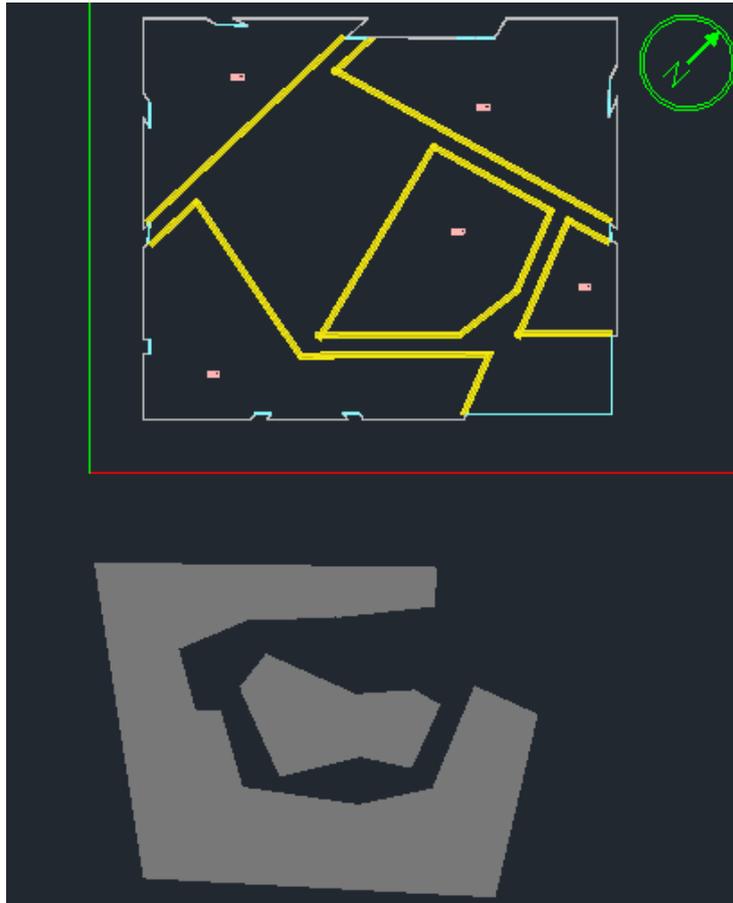


Figura 79 - Planimetria in Edilclima del piano terra con zonizzazione termica e con la presenza del limitrofo padiglione del Lussemburgo, modellato ai fini del calcolo degli ombreggiamenti

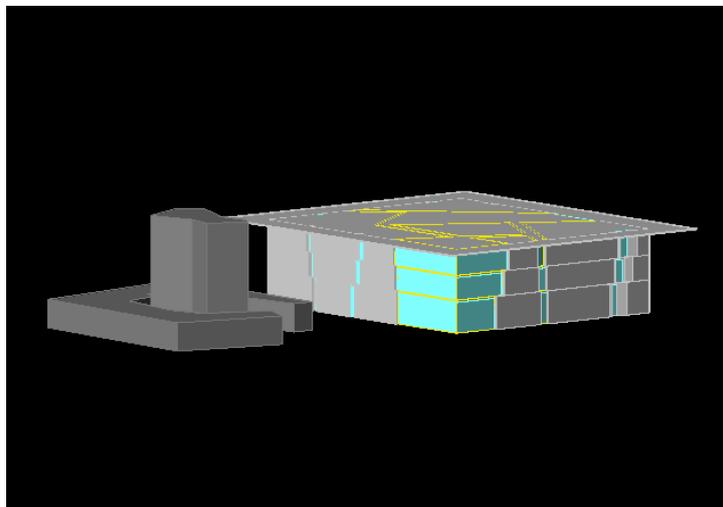


Figura 80 - Visualizzazione 3D dell'edificio e del padiglione del Lussemburgo

Per ogni zona termica è stato definito un profilo orario di occupazione e di temperatura in base ai valori di progetto e alla destinazione d'uso, in modo da stimare gli apporti interni sensibili (persone, apparecchi, illuminazione).

Di seguito si riportano i calcoli effettuati per stimare le potenze elettriche degli apparecchi luminosi installati in ogni stanza.

Per quanto riguarda il calore della potenza elettrica, esso si è calcolato in base al flusso luminoso totale ottenuto in funzione del valore medio previsto per l'illuminamento medio di esercizio raccomandato $E_m = 300 l_x$ per le sale espositive e $E_m = 200 l_x$ per i servizi igienici (da UNI EN 12464-1).

Stabilito il limite normativo si è proceduto a definire una lampada di riferimento per il calcolo della potenza installata. È stato scelto un apparecchio LED come riportato dalla scheda tecnica all'allegato numero 1.

- Flusso luminoso lampada: $\Phi_{LAMP} = 1521 l_m$;
- Potenza effettiva: $P_{nom} = 14 W$.

Una volta noti questi due termini, viene calcolato il valore di efficienza luminosa come:

$$\eta = \frac{\Phi_{LAMP}}{P_{nom}} = 108,64 \text{ lm/W}$$

L'apparecchio illuminante risulta avere un sistema di illuminazione diretta verso il basso, il che significa che assumiamo una percentuale di flusso luminoso verso il basso pari al 90%.

Sono stati successivamente determinati, in modo tabellare, i coefficienti di utilizzazione, C_U in base alla geometria del locale, e di manutenzione, $C_M = 0,65$.

Noti tutti i dati ottenuti e calcolati fino ad ora, si può quindi procedere a determinare il flusso luminoso totale pari a:

$$\phi_T = \frac{E_m * A}{C_U * C_M}$$

dove:

- ϕ_T = flusso luminoso totale [lm];
- E_m = illuminamento medio di esercizio raccomandato [lx];
- A = area dell'ambiente [m²];

- C_U = coefficiente di utilizzazione;
- C_M = coefficiente di manutenzione.

Determino quindi il numero di lampade necessarie pari a:

$$N_{LAMP} = \frac{\Phi_T}{\phi_{LAMP}}$$

La potenza elettrica installata sarà uguale a:

$$P = N_{LAMP} * P_{nom}$$

La tabella sottostante riassume tutti i calcoli effettuati e i risultati ottenuti.

Blocco	Numero	Locale	E_m	Area	C_U	N_{LAMP}	Φ_T	P
			[lx]	[m ²]	[-]	[-]	[lm]	[W]
1	1	Sala espositiva	300	758,78	0,57	171	260091	2394
	2	Sala espositiva	300	847,65	0,61	178	270738	2492
	3	Sala espositiva	300	905,67	0,61	190	288990	2660
2	1	Sala espositiva	300	475,07	0,64	95	144495	1330
	2	Sala espositiva	300	510,15	0,68	96	146016	1344
	3	Sala espositiva	300	541,66	0,68	102	155142	1428
3	1	Sala espositiva	300	690,59	0,66	134	203814	1876
	2	Sala espositiva	300	534,27	0,69	99	150579	1386
	3	Sala espositiva	300	565,29	0,69	105	159705	1470
4	1	Bagni	200	154,21	0,53	25	38025	350
	2	Bagni	200	125,35	0,57	19	28899	266
	3	Bagni	200	109,16	0,57	16	24336	224
5	1	Sala espositiva	300	509,33	0,64	102	155142	1428
	2	Sala espositiva	300	470,35	0,66	91	138411	1274
	3	Sala espositiva	300	443,08	0,66	86	130806	1204

Tabella 17 - Calcolo delle potenze elettriche installate

5.3 LE STRATEGIE IMPIANTISTICHE

5.3.1 Le soluzioni adottate per le sale espositive

Una volta modellati i componenti di involucro e le zone climatizzate, si è passati a definire la tipologia di impianto a servizio dell'edificio. Date le grandi volumetrie in gioco, il sistema più adatto è un *impianto a tutt'aria*, che consenta il condizionamento invernale ed estivo e contemporaneamente il ricambio d'aria. Come generatore per l'impianto è stata scelta una pompa di calore aria-acqua e per coprire il consumo di elettricità si è deciso di installare in copertura dei moduli fotovoltaici. Considerando che si tratta di una stima di massima e dato che la superficie del tetto lo consente, si è optato per porne un numero pari a 820 unità, a soddisfare il completo fabbisogno di energia elettrica del Padiglione, coprendo anche i consumi non stimabili in questa fase.

Numero moduli	[-]	820
Superficie utile singolo modulo	[m ²]	1,58
Potenza di picco singolo modulo	[W _p]	220
Superficie utile complessiva	[m ²]	1295,6
Potenza di picco complessiva	[W _p]	180400

Tabella 18 - Dati moduli fotovoltaici

5.3.1.1 La strategia di ventilazione a dislocazione

Per quel che concerne la strategia di ventilazione generale si è optato, in funzione della grande altezza dei locali, per una displacement ventilation: viene immessa ed estratta l'aria di ventilazione in tutto l'ambiente, localizzando le bocchette di immissione ed estrazione non necessariamente in base alla posizione delle sorgenti di inquinante, che nel caso specifico sono principalmente le persone. Il principio guida si basa sulla rimozione degli inquinanti dalla zona occupata, assicurando quindi una buona qualità dell'aria in una zona di comfort di 3 / 3,5 m. Progettando e realizzando correttamente questo tipo di sistema, si ottiene che la concentrazione media di inquinante nella zona occupata è inferiore al valore medio dell'intero ambiente. La porzione di stanza al di fuori della comfort zone è utilizzata

come “buffer” per raccogliere e concentrare gli inquinanti prima di rimuoverli dal locale. In pratica viene immessa aria a livello del pavimento ad una temperatura leggermente più bassa di quella media e si estrae l’aria viziata più calda, sfruttando la sua minore densità, dalla parte alta del locale. In altre parole, l’aria riempie la stanza, raccoglie gli inquinanti e li spinge verso l’alto. Fondamentale è la corretta disposizione delle bocchette, che immettono l’aria ad una velocità molto bassa e con una temperatura leggermente più fredda di quella mantenuta in ambiente. In questa tipologia di sistema la differenza di temperatura tra l’aria di immissione e l’aria nella zona occupata è inferiore a 0°C e l’efficienza di ventilazione è compresa tra 1,2 e 1,4.

5.3.1.2 Le teche espositive climatizzate

Tornando alla climatizzazione dei grandi ambienti museali, i due parametri principali oggetto di controllo sono temperatura e umidità relativa. Questo soprattutto per salvaguardare le opere d'arte, in quanto è lecito pensare che le persone possano girare per il museo anche con la giacca. Il comfort da assicurare, quindi, è sia per le opere che per gli esseri umani. A questo punto, appare necessaria la creazione di sottovolumi di varie dimensioni per contenere quei manufatti che abbiano bisogno di un più stretto controllo dei parametri sopracitati, non attuabile nel macro volume date le eccessive dimensioni. Il progetto delle teche con climatizzazione ad hoc per le peculiari esigenze delle diverse opere, parte dalla ricerca di quali siano queste specifiche condizioni. Nelle immagini successive vengono riassunti i diversi valori termoigrometrici ed ambientali consigliati, a seconda del tipo di opera, per ottenere condizioni ottimali di conservazione.

**TAB. B.9.2./3 VALORI TERMOIGROMETRICI CONSIGLIATI CONDIZIONI
OTTIMALI DI CONSERVAZIONE CHIMICO-FISICA DEI MANUFATTI**

MANUFATTI	UMIDITÀ RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
Armature in ferro, armi	<40	
Avori, ossa	45-65	19-24
Bronzo	<55	
Carta, cartapesta	50-60	19-24
Collezioni anatomiche	40-60	19-24
Collezioni mineralogiche, marmi pietre	45-60	<30
Cuoio, pelli, pergamena	50-60	
Dischi, nastri magnetici	40-60	10-21
Erbari e collezioni botaniche	40-60	
Film	30-50	-5 - +15*
Fotografie (b/n)	20-30	2-20**
Insetti e scatole entomologiche	40-60	19-24
Lacche orientali	50-60	19-24
Legno	40-65	19-24
Legno dipinto, sculture policrome	45-65	19-24
Libri, manoscritti	50-60	19-24
Materiale etnografico	40-60	19-24
Materiale organico in genere	50-65	19-24
Materie plastiche	30-50	
Metalli e leghe levigati		
Ottone, argento, peltro, piombo, rame	<45	
Mobili con intarsi e lacche	50-60	19-24
Mosaici e pitture murali	45-60	min 6 (inverno), max 25 (estate)
Oro	<45	
Papiri	35-50	19-24
Pastelli, acquerelli, disegni, stampe	50-60	19-24
Pellicce, piume	45-60	15-21
Pitture su tela	35-50	19-24
Porcellane, ceramiche, gres, terracotta		20-60***
Seta	50-60	
Tessuti, tappeti, arazzi, tappezzeria	40-60	
Vetri e vetrate stabili	25-60	

* In funzione della sensibilità delle pellicole.

** L'intervallo è valido per fotografie con supporti in carta, materiale plastico, vetro.

Per supporti di nitrato e vetri con emulsione al collodio si adottino temperature più basse.

*** Per manufatti ceramici cotti a temperatura bassa il valore dell'UR deve essere <45%.

Figura 81 – Valori ottimali per la conservazione dei manufatti, fonte Manuale dell'Architetto¹⁰

¹⁰ Enrico Milone, *Architetto, Manuale per la professione*, DEI, 2007

**TAB. B.9.2/4. CONDIZIONI MICROCLIMATICHE PER LA PREVENZIONE DI
ATTACCHI MICROBIOLOGICI SU MATERIALI ORGANICI**

MANUFATTI ORGANICI	Umidità relativa (%)	max. variazione giornaliera (V.UR)	Temperatura (°C)	max variazione giornaliera (V.T)
Dipinti su tela	40-55	6	19-24	1,5
Dipinti su tavola	50-60	2	19-24	1,5
Legno	50-60	2	19-24	1,5
legno archeologico	50-60	2	19-24	1,5
legno bagnato			- <4*	
Carta	40-55	6	18-22	1,5
pastelli, acquarelli	< 65		< 10	
libri e manoscritti	45-55	5	< 21	3
materiale grafico	45-55	5	< 21	3
Cuoi, pelli e pergamene	40-55	5	4-10	1,5
Tessuti di natura cellulosica	30-50	6	19-24	1,5
Tessuti di natura proteica	>50-55		19-24	1,5
Collezioni etnografiche	20-35	5	15-23	2
Materiali instabili	35-65		-30	

**TAB. B.9.2/5. VALORI TERMOIGROMETRICI CRITICI PER LA CONSERVAZIONE
DI ALCUNI MANUFATTI**

MANUFATTI	UMIDITÀ RELATIVA (%)	TEMPERATURA (°C)
Bronzi archeologici con corrosione da cloruri	<42	
Ferri archeologici con corrosione da cloruri	<20	
Vetri instabili	40 - 45	
Legno bagnato*	100	<4**

* I dati indicati per il legno bagnato valgono anche per i materiali organici di scavo.

** La temperatura non deve raggiungere 0°C.

La classificazione dei materiali, i valori di temperatura e di umidità tabulati sono quelli segnalati dalla letteratura specializzata riassunti nel lavoro di C. Aghemo et al. (1994) Esistono alcune categorie di manufatti che richiedono condizioni termoigrometriche di conservazione particolarmente controllate. I valori indicati in tabella vanno intesi come valori di riferimento tassativi: ciò vuol dire che il manufatto deve essere conservato mantenendo sempre temperatura e umidità relativa all'interno degli intervalli stabiliti. Inoltre va osservato che all'interno degli intervalli indicati le variazioni giornaliere devono essere comunque ridotte al minimo, fermo restando che le variazioni stagionali devono comunque essere all'interno degli intervalli prefissati. Le condizioni sopraindicate potranno essere assicurate con due diverse procedure, secondo il tipo di manufatto, conservando l'oggetto:

- a) in un contenitore in presenza di un assorbitore di umidità (bronzi, ferri, vetri);
- b) in ambienti o contenitori nei quali possa essere assicurato il controllo e la stabilità di tutti i parametri ambientali



Figura 82 - Valori ottimali per la conservazione dei manufatti, fonte Manuale dell'Architetto

INQUINANTE	ARCHIVI (NISO-TR01/95)	MUSEO (BRIMBLECOMBE)	UNI 10586/97
Biossido di zolfo	5-10 ppb (vol)	<0.4 ppb (vol)	≤10 µg/m³
Biossido di azoto	5-10 ppb (vol)	<2.5 ppb (vol)	≤2 µg/m³ (NOx)
Ozono	5-10 ppb (vol)	1 ppb (vol)	<2 µg/m³
PS (fine)	rimoz. >95%	rimoz. >95% (>2µm)	<50 µg/m³

Figura 83 - Valori limite raccomandati di concentrazione degli inquinanti aerodispersi, fonte Manuale dell'Architetto

TAB. B.9.2./6 CLASSI DI FOTOSENSIBILITÀ E ILLUMINAMENTO MASSIMO CONSIGLIATO			
FOTOSENSIBILITÀ		ILLUMINAMENTO MASSIMO	
1. Molto bassa	Reperti e manufatti relativamente poco sensibili alla luce: metalli, materiali lapidei e stucchi senza strato di finitura, ceramiche, gioielleria, smalti, vetri, vetrate policrome, reperti fossili.	Superiore a 300 ma con limitazioni sugli effetti termici in particolare per stucchi, smalti, vetrate e fossili.	
2. Media	Reperti e manufatti moderatamente sensibili alla luce: pitture a olio e a tempera verniciate, affreschi materiali organici non compresi nei gruppi 3 e 4 quali quelli in corno, osso, avorio, legno		
3. Alta	Reperti e manufatti altamente sensibili alla luce: tessuti, costumi, arazzi, tappeti, tappezzeria; acquerelli, pastelli, stampe, libri, cuoio tinto; pitture e tempere non verniciate, pittura a guazzo, pitture realizzate con tecniche miste o "moderne"		
	con materiali instabili, disegni a pennarello; piume, pelli e reperti botanici, materiali etnografici e di storiaturale di origine organica o tinti con prodotti vegetali; carta, pergamena, legni bagnati	50	
4. Molto alta	Reperti e manufatti estremamente sensibili alla luce: mummie; sete, inchiostri, coloranti e pigmenti a maggior rischio di scoloritura come lacche ecc.	50	

TAB. B.9.2./7			
COMPONENTE ULTRAVIOLETTA			
Fotosensibilità	Componente UV max associata al flusso luminoso	Radianza UV max. (valore assoluto)	Densità di energia totale Radianza totale max. (banda di misura 400-4000nm)
2. Media	75 mW/lm	> 1,2 mW/cmq	10 W/mq
3. Alta	75 mW/lm	> 0,4 mW/cmq	3 W/mq
4. Molto alta	10 mW/lm	> 0,05 mW/cmq	1 W/mq

Figura 84 - Vincoli conservativi relativi all'esposizione a fonti luminose, fonte Manuale dell'Architetto

Una volta definito il quadro prestazionale necessario si è passati al disegno in pianta della disposizione delle teche climatizzate, di dimensioni variabili dai 3x5 m ai 3x10 m, secondo un prestabilito percorso museografico, riportato di seguito.

5.3.1.3 La nuova distribuzione interna

Le immagini successive fanno riferimento alla distribuzione interna di progetto. Al piano terra troviamo l'esposizione temporanea, dotata di piattaforme e pareti mobili in modo da rendere lo spazio flessibile alle diverse esigenze delle mostre. Al primo e al secondo piano, invece, si trova l'esposizione permanente, caratterizzata dalle teche climatizzate menzionate in precedenza. Sul tetto è presente il ristorante con annessi lounge bar e area terrazzata rivolta verso il lungofiume. Per il dettaglio sui diversi ambienti si rimanda alla legenda in Figura 89.

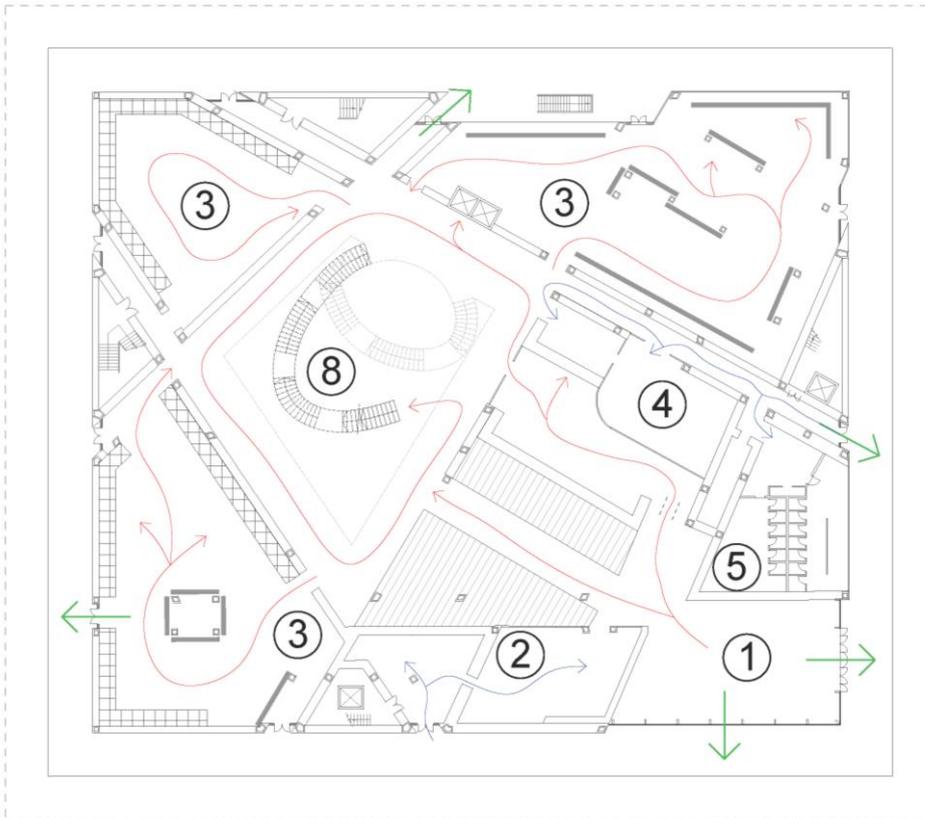


Figura 85 - Pianta piano terra

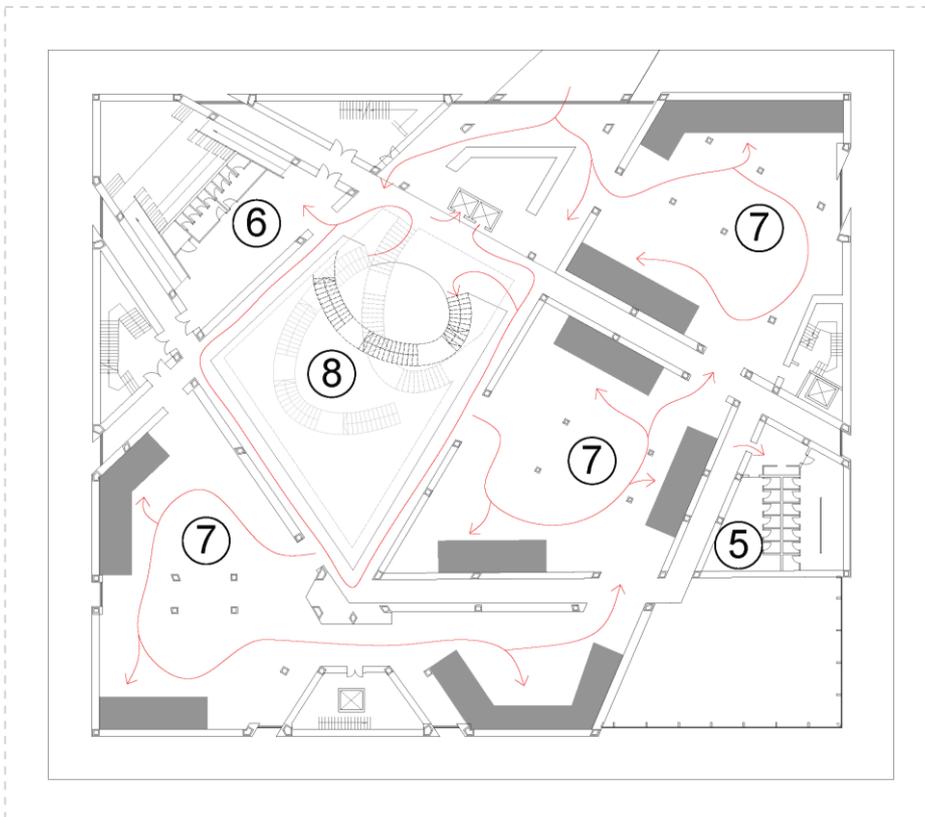


Figura 86 - Pianta piano primo

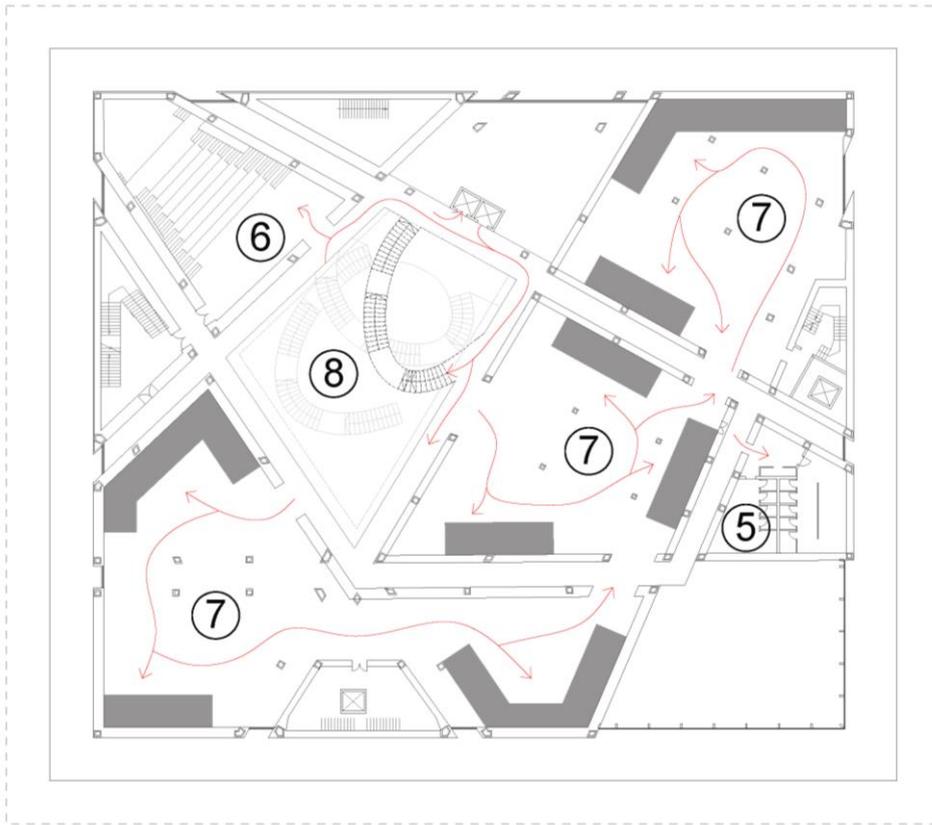


Figura 87 - Pianta piano secondo



Figura 88 - Pianta piano copertura

Legenda:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------|
| ① Hall | Exposition platform |
| ② Ticket shop + back office | Climate controlled case |
| ③ Temporary exhibition room | Exposition wall |
| ④ Book & gift shop + office + storage | Water |
| ⑤ Restroom | Public path |
| ⑥ Auditorium | Staff path |
| ⑦ Permanent exhibition room | Emergency exit |
| ⑧ Atrium with sculpture staircases | |
| ⑨ Restaurant & lounge bar | |
| ⑩ Terrace | |
| ⑪ Open air square | |

Figura 89 - Legenda ambienti interni

5.3.2 Le soluzioni adottate per la corte centrale

Le precedenti considerazioni non si applicano alla grande corte centrale che arriva come volume vetrato sul tetto, la quale, essendo uno spazio di distribuzione e beneficiando delle dispersioni delle limitrofe stanze, non necessita di climatizzazione meccanica. Viene, pertanto, predisposta una *ventilazione naturale* tramite lucernari dotati di attuatori elettrici che ne consentano l'apertura garantendo la ventilazione necessaria. Sono stati scelti gli EFC della Greenlux del tipo Lamilux CI-system smoke lift serie M, come da scheda tecnica nell'allegato numero 2. Inoltre, come vedremo meglio in seguito, è stato previsto l'isolamento con pannelli in lana di roccia delle pareti che confinano con la corte non climatizzata. Si tratta di un intervento migliorativo della condizione attuale in quanto, visualizzando i risultati del modello, si è appurato che una buona fetta delle dispersioni del fabbricato si genera proprio da quei componenti, in precedenza non isolati.

5.4 IL RETROFIT DELL'INVOLUCRO

Una problematica non trascurabile riguarda le elevate dispersioni termiche dei componenti di involucro. Si tratta di un dato prevedibile, considerate le alte trasmittanze riportate nelle schede precedenti, come ad esempio quella del cemento i.light di $2,356 \text{ W/m}^2\text{K}$. Si è presentata, quindi, la necessità di intervenire isolando i componenti di involucro opachi. Il principio guida nella scelta dei materiali isolanti è stato quello di preservare il più possibile l'identità del Padiglione, ovvero la sua trasparenza. Per questa ragione, la facciata verrà isolata dall'interno, attraverso una vetrocamera riempita di particelle di aerogel trasparente del tipo Lumira della Cabot, con scheda tecnica presente all'allegato numero 3 al termine di questa trattazione. L'aerogel è un gel di silice che si ottiene facendo asciugare la parte liquida dello stesso in condizioni supercritiche e sostituendola con l'aria. In questo modo si evita la compresenza della fase solida e di quella liquida e, quindi, la generazione di tensioni superficiali. Le particelle in aerogel della Cabot sono leggere, incombustibili, inerti, repellenti all'acqua, stabili ai raggi UV, ottimi isolanti acustici e termici e garantiscono un'alta trasmissione della luce. La vetrocamera funge da honeycomb trasparente ed è costituita da anti-aggregatori, che impediscono che il materiale si aggreghi, accumulandosi in fondo e non garantendo più le adeguate prestazioni di isolamento. Con questo sistema è garantito il passaggio del 90% della luce ed un più che efficiente contenimento energetico.

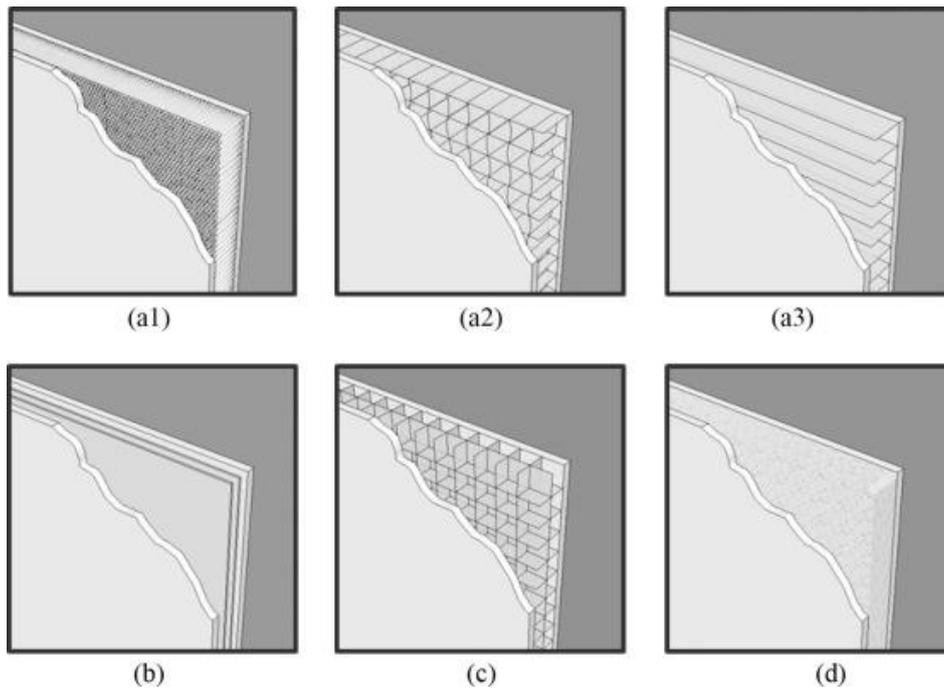


Figura 90 – diverse tipologie di isolamento con materiali trasparenti per il risparmio energetico dell'edificio e il comfort diurno¹¹

I solai di pavimento controterra e copertura sono stati isolati con vetro cellulare, del tipo Foamglas, vedi allegati 4 e 5. Infine, si è scelto di isolare anche i divisori interni confinanti con l'ambiente non climatizzato della corte centrale, con lana di roccia altamente performante, scheda tecnica all'allegato 6. Nelle pagine seguenti si riportano le nuove stratigrafie dei componenti soggetti agli interventi migliorativi sopracitati.

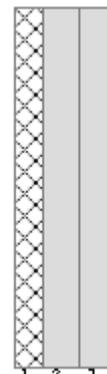
¹¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918308110>

5.4.1 Le caratteristiche termiche e igrometriche dei nuovi componenti opachi

Descrizione della struttura: Cemento i.light con isolamento

Codice: M1-2

Trasmittanza termica	0,378	W/m ² K
Spessore	140	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,000	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	103	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	103	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,292	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,774	-
Sfasamento onda termica	-3,7	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	E - Massa all'esterno
Capacità termica	87,400 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	pannello aerogel	40,00	0,018	2,222	85	1,00	∞
2	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
3	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,047	-	-	-

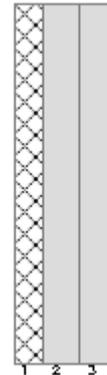
Tabella 19 - Stratigrafia M1-2

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conducibilità termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Cemento i.light verso NC con isolamento Codice: M2-2

Trasmittanza termica	0,378	W/m ² K
Spessore	140	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,000	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	103	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	103	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,292	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,774	-
Sfasamento onda termica	-3,7	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	E - Massa all'esterno
Capacità termica	87,400 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	pannello aerogel	40,00	0,018	2,222	85	1,00	∞
2	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
3	i.light	50,00	0,405	0,123	1000	0,84	6
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,047	-	-	-

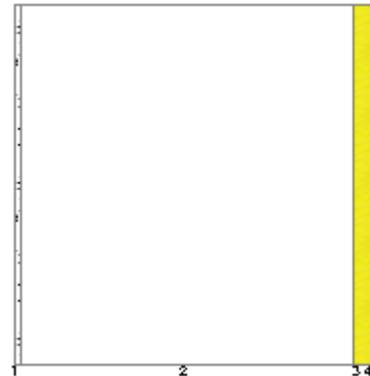
Tabella 20 - Stratigrafia M2-2

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Divisorio interno verso NC con isolamento Codice: M3-2

Trasmittanza termica	0,587	W/m ² K
Spessore	800	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	10,4	°C
Permeanza	571,42 9	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	30	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	3	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,574	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,978	-
Sfasamento onda termica	-1,4	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	I - Massa all'interno
Capacità termica	29,884 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Cartongesso in lastre	15,00	0,250	0,060	900	1,00	10
2	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	730,00	4,056	0,180	-	-	-
3	Pannello in lana di roccia	40,00	0,035	1,143	70	1,03	1,4
4	Cartongesso in lastre	15,00	0,250	0,060	900	1,00	10
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Tabella 21 - Stratigrafia M3-2

Legenda simboli

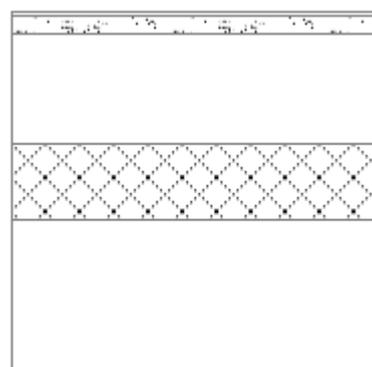
s	Spessore	mm
Cond	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Pavimento sopraelevato su vespaio (igloo)

Codice: P1-2

con isolamento

Trasmittanza termica	0,504	W/m ² K
Trasmittanza controterra	0,165	W/m ² K
Spessore	950	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,000	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	429	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	429	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,053	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,319	-
Sfasamento onda termica	-9,5	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	E - Massa all'esterno
Capacità termica	425,070 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	-	2300	0,84	-
2	isolante foamglas pavimento	50,00	0,036	-	115	1,00	∞
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=1000 mm ² /m	290,00	-	-	-	-	-
4	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti esterne)	200,00	1,260	-	2000	1,00	-
5	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	400,00	1,702	-	-	-	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Tabella 22 - Stratigrafia P1-2

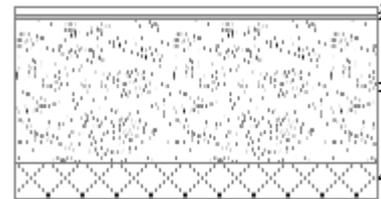
Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

Descrizione della struttura: Solaio di copertura con isolamento

Codice: S1-2

Trasmittanza termica	0,172	W/m ² K
Spessore	264	mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	2,0	°C
Permeanza	0,000	10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	129	kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	129	kg/m ²
Trasmittanza periodica	0,103	W/m ² K
Fattore attenuazione	0,600	-
Sfasamento onda termica	-7,6	h



Dati per calcolo orario:

Classe della struttura	IE - Massa suddivisa lato interno ed esterno
Capacità termica	114,724 kJ/m ² K

Stratigrafia:

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,047	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica (piastrelle)	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	-
2	Impermeabilizzazione con PVC in fogli	4,00	0,170	0,024	1390	0,90	50000
3	isolante foamglas tetto	200,00	0,036	5,556	100	1,00	∞
4	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,700	0,071	1600	0,88	20
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Tabella 23 - Stratigrafia S1-2

Legenda simboli

s	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuali coefficienti correttivi	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	-

5.5 IL CALCOLO DEI FABBISOGNI DI ENERGIA UTILE

Come risultato del calcolo semistazionario effettuato in Edilclima EC700 si riportano le seguenti tabelle riassuntive dei fabbisogni di energia utile nei mesi invernali e in quelli estivi.

5.5.1 Il fabbisogno di energia utile durante la stagione invernale

Si definisce fabbisogno ideale di energia termica per il riscaldamento $Q_{H,nd}$ l'energia richiesta per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, calcolata per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, come:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} * Q_{gn}$$

Ovvero:

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

Dove:

- $Q_{H,tr}$ = Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,H}$);
- $Q_{H,r}$ = Energia dispersa per extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dei componenti edilizi;
- $Q_{H,ve}$ = Energia dispersa per ventilazione;
- $Q_{H,ht}$ = Totale energia dispersa;
- $Q_{sol,k,w}$ = Apporti solari attraverso gli elementi finestrati;
- Q_{int} = Apporti interni;
- Q_{gn} = Totale apporti gratuiti;
- $\eta_{H,gn}$ = Fattore di utilizzazione degli apporti termici, ovvero la misura di quanto questi incidono sul resto del fabbisogno;

- $Q_{H,nd}$ = Energia utile per il riscaldamento.

Mese	DISPERSIONI				APPORTI			$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$
	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,r}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] _t	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]		
Novembre	2057	712	24385	27154	6627	18984	25611	0,79	6812
Dicembre	20023	2399	100011	122433	16866	45375	62241	0,94	63724
Gennaio	33179	2325	130608	166113	16680	45375	62055	0,97	105593
Febbraio	25069	1941	105966	132976	18522	40984	59506	0,96	75940
Marzo	10261	1693	63766	75720	20390	35005	55396	0,86	27947
Aprile	1	16	1010	1027	0	1093	1093	0,76	193
Totali	90591	9085	425747	525423	79086	186815	265901	-	280210

Tabella 24 - Il calcolo del fabbisogno di energia utile invernale

5.5.2 Il fabbisogno di energia utile durante la stagione estiva

Il fabbisogno di energia termica per il raffrescamento è la quantità di calore che bisogna sottrarre ad un ambiente climatizzato per mantenere le condizioni di temperatura desiderate, nel nostro caso 26°C, per un dato periodo. Si calcola come:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} * Q_{C,ht}$$

Ovvero:

$$Q_{C,nd} = (Q_{int} + Q_{sol,k,w}) - \eta_{C,ls} * (Q_{C,tr} + Q_{C,r} + Q_{C,ve})$$

Dove:

- $Q_{C,tr}$ = Energia dispersa per trasmissione dedotti gli apporti solari diretti attraverso le strutture opache ($Q_{sol,k,C}$);
- $Q_{C,r}$ = Energia dispersa per extraflusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dei componenti edilizi;
- $Q_{C,ve}$ = Energia dispersa per ventilazione;
- $Q_{C,ht}$ = Totale energia dispersa;

- $Q_{sol,k,w}$ = Apporti solari attraverso gli elementi finestrati;
- Q_{int} = Apporti interni;
- Q_{gn} = Totale apporti gratuiti;
- $\eta_{C,ls}$ = Fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche, dipendente dall'inerzia termica dell'edificio e dal rapporto tra apporti gratuiti e dispersioni;
- $Q_{C,nd}$ = Fabbisogno ideale di energia termica per il raffrescamento.

Mese	DISPERSIONI				$\eta_{C,ls}$	APPORTI			
	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,r}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh] _t		$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Febbraio	500	21	1620	2141	0,29	275	343	618	0
Marzo	25842	1460	95409	122711	0,36	21362	23376	44738	3
Aprile	19149	1912	107076	128136	0,57	36024	38423	74448	557
Maggio	1714	2004	67941	71659	0,88	36700	45375	82075	18987
Giugno	-14383	2110	21411	9138	1	33652	43911	77563	68425
Luglio	-35928	2799	-24668	-57797	1	40560	45375	85934	143732
Agosto	-35878	2759	-19441	-52559	1	45168	45375	90543	143102
Settembre	-10335	2094	23634	15392	0,99	31812	43911	75723	60333
Ottobre	8320	2068	75978	86366	0,78	31383	39738	71121	3642
Novembre	17628	1226	70628	89482	0,39	13476	21590	35066	4
Dicembre	1759	95	5752	7607	0,30	944	1371	2315	0
Totali	-21610	18549	425338	422277	-	291356	348787	640143	438785

Tabella 25 - Il calcolo del fabbisogno di energia utile estiva

5.6 IL CALCOLO DELLE POTENZE IN CONDIZIONI DI PROGETTO

5.6.1 Il calcolo della potenza termica invernale

Si riportano i valori delle potenze termiche necessarie a mantenere nella zona occupata dell'ambiente una temperatura costante e pari al valore di progetto, fissata nel caso in esame a 16°C, nelle condizioni al contorno riferite a quelle esterne di progetto. Queste vengono calcolate come:

$$\Phi_{hl} = \Phi_{tr} + \Phi_{ve} + \Phi_{rh}$$

Dove:

- Φ_{tr} = Potenza dispersa per trasmissione;
- Φ_{ve} = Potenza dispersa per ventilazione;
- Φ_{rh} = Potenza dispersa per funzionamento intermittente dell'impianto, che dipende dal fattore di ripresa per l'attenuazione notturna, in questo caso $f_{RH} = 16 \text{ W/m}^2$;
- Φ_{hl} = Potenza totale dispersa.

Zona termica	Descrizione	V	Φ_{tr}	Φ_{ve}	Φ_{rh}	Φ_{hl}
		[m ³]	[W]	[W]	[W]	[W]
1	Blocco 1	15944,7	25636	14113	40102	79852
2	Blocco 2	9695,2	21692	8563	24342	54597
3	Blocco 3	11586,8	21305	10000	28561	59866
4	Blocco 4	2514,3	5871	18774	6205	30850
5	Blocco 5	9149,3	10108	7990	22764	40861
-	TOTALE					266026

Tabella 26 - Riassunto delle potenze disperse per zona termica

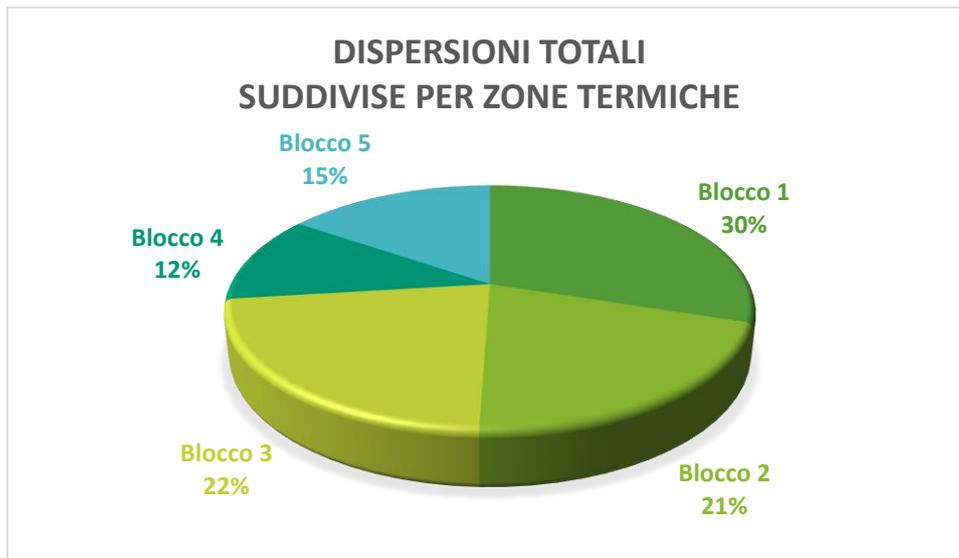


Figura 91 - Grafico a torta della ripartizione delle dispersioni totali tra le cinque zone termiche

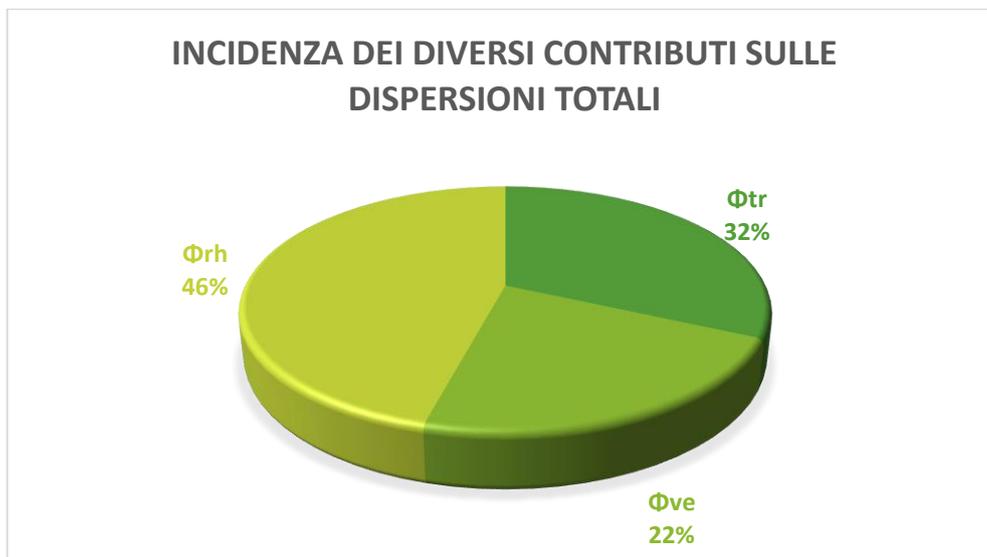


Figura 92 - Grafico a torta dell'incidenza delle diverse dispersioni sul totale

Si sottolinea che, trattandosi di un sistema a tutt'aria con recuperatore di calore, l'aria di ventilazione è utilizzata anche come fluido termovettore. Per tale motivo essa è immessa in ambiente ad una temperatura e con un titolo igrometrico diversi sia da quelli esterni che da quelli che si desidera mantenere all'interno dell'ambiente. Ne deriva che la perdita di ventilazione non inciderà più sul bilancio energetico dell'edificio, bensì la potenza termica correlata al riscaldamento dell'aria esterna sarà a carico del sistema di climatizzazione.

5.6.2 Il calcolo del carico termico estivo

Si riportano i valori delle potenze termiche necessarie a mantenere nella zona occupata dell'ambiente una temperatura costante e pari al valore di progetto, fissata nel caso in esame a 26°C, nelle condizioni al contorno riferite a quelle esterne di progetto. Nel caso estivo, trattandosi di un calcolo in regime termico transitorio, si fa riferimento ai valori di picco nell'ora di massimo carico dell'edificio, ovvero le 16:00 del mese di luglio. Si ha che:

$$Q_{gl} = Q_{Irr} + Q_{Tr} + Q_v + Q_c$$

Dove:

- Q_{Irr} = Carico dovuto all'irraggiamento;
- Q_{Tr} = Carico dovuto alla trasmissione;
- Q_v = Carico dovuto alla ventilazione;
- Q_c = Carichi interni;
- $Q_{gl,sen}$ = Carico sensibile globale;
- $Q_{gl,lat}$ = Carico latente globale;
- Q_{gl} = Carico globale.

Zona	Locale	Descrizione	Ora	Q_{Irr}	Q_{Tr}	Q_v	Q_c	$Q_{gl,sen}$	$Q_{gl,lat}$	Q_{gl}
				[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
Blocco 1	1	Area espositiva	16	2733	5264	35500	19666	33270	29785	63055
Blocco 1	2	Area espositiva	16	2039	3629	28916	21897	30729	25675	56405
Blocco 1	3	Area espositiva	16	1759	7186	35725	23403	37169	30843	68012
Blocco 2	1	Area espositiva	16	10122	4541	22101	12243	27292	18542	45835
Blocco 2	2	Area espositiva	16	7459	3246	17422	13193	23209	15470	38679
Blocco 2	3	Area espositiva	16	5091	5600	21368	13998	25988	18448	44436
Blocco 3	1	Area espositiva	16	10260	4527	32272	17878	33390	27076	60466
Blocco 3	2	Area espositiva	16	596	2289	18220	13797	18734	16178	34912
Blocco 3	3	Area espositiva	16	564	4575	22279	14595	22789	19235	42024
Blocco 4	1	Bagni	16	0	1479	7213	3996	6636	6051	12688
Blocco 4	2	Bagni	16	0	949	4274	3237	4665	3795	8460
Blocco 4	3	Bagni	16	0	1481	4305	2820	4889	3716	8605
Blocco 5	1	Area espositiva	16	0	2855	23831	13202	19894	19995	39888
Blocco 5	2	Area espositiva	16	0	1912	16099	12191	15907	14295	30203

Blocco 5	3	Area espositiva	16	0	3751	17531	11485	17632	15136	32767
TOTALE				40623	53284	307056	197601	322193	264240	586435

Figura 93 - Riassunto dei carichi termici per ogni locale alle ore 16:00 del mese di luglio

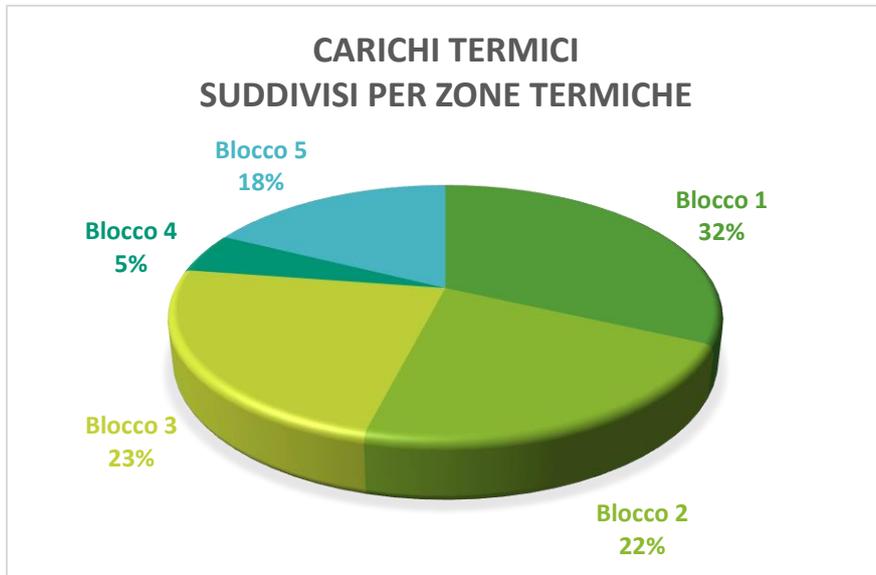


Figura 94 - Grafico a torta della ripartizione dei carichi termici totali tra le cinque zone termiche

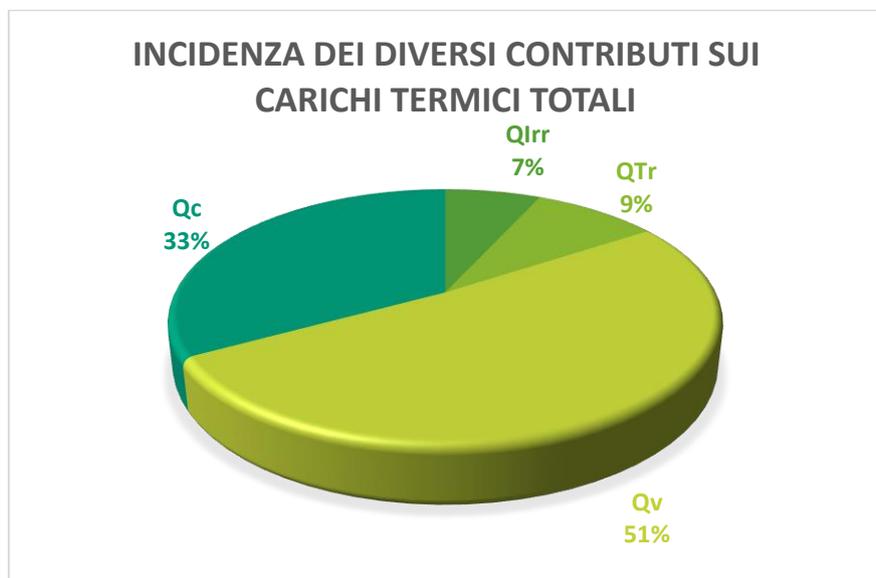


Figura 95 - Grafico a torta dell'incidenza dei diversi carichi termici sul totale

5.7 LA VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI COMFORT TERMOIGROMETRICO

5.7.1 Il bilancio termico del corpo umano

Il Primo Principio della Termodinamica per sistemi aperti, applicato al corpo umano è ottenuto dalla seguente relazione:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = S = M - W - \sum_i \dot{Q}_1 - \sum_j \dot{m}_{s,j} \cdot h_{s,j} \quad [W]$$

dove:

- $\frac{\partial U}{\partial \tau}$ = Variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo [W];
- M = Potenza metabolica [W];
- W = Potenza meccanica scambiata con l'esterno [W];
- \dot{Q} = Flusso termico scambiato dal sistema termodinamico con l'ambiente esterno [W];
- \dot{m}_s = Portate di fluido scambiate [kg/s];
- h_s = Entalpia massica del fluido [J/kg].

Tenendo in considerazione che, per convenzione, vengono assunte positive le potenze uscenti. Esplicitando i termini relativi allo scambio termico si ottiene la seguente equazione:

$$M - W - C - R - C_k - E_d - E_{sw} - C_{ve} - E_{ve} = \frac{\partial U}{\partial \tau} \quad [W]$$

Essendo:

- M = Potenza metabolica [W];
- W = Potenza meccanica scambiata con l'esterno [W];
- C = Potenza termica sensibile scambiata per convezione [W];
- R = Potenza termica sensibile scambiata per irraggiamento [W];
- C_k = Potenza termica sensibile scambiata per conduzione [W];

- E_d = Potenza termica latente scambiata per traspirazione (diffusione del vapore) attraverso la pelle [W];
- E_{sw} = Potenza termica latente scambiata per evaporazione del sudore sulla superficie della pelle [W];
- C_{ve} = Potenza termica sensibile scambiata per respirazione [W];
- E_{ve} = Potenza termica latente scambiata per respirazione [W];
- $\frac{\partial U}{\partial \tau}$ = Variazione di energia interna del corpo umano nell'unità di tempo [W];

Poiché il rendimento meccanico del corpo umano è molto piccolo, la potenza meccanica W può essere trascurata, così come si formulerà l'ipotesi di omeotermia (condizione necessaria, ma non sufficiente a garantire il comfort), $\frac{\partial U}{\partial \tau} = 0$:

$$M = C + R + C_k + E_d + E_{sw} + C_{ve} + E_{ve}$$

Vengono quindi calcolate la temperatura della pelle del corpo umano T_{sk} e la potenza dispersa per sudorazione E_{sw} in condizioni di comfort secondo la teoria di Fanger (T_{sk}^* e E_{sw}^*):

$$T_{sk} = 35,7 - 0,0275 \cdot \frac{M - W}{A_b} = \left(35,7 - 0,0275 \cdot \frac{180 - 0}{1,81} \right) ^\circ\text{C} = 32,96^\circ\text{C}$$

$$E_{sw}^* = 0,42 \cdot A_b \cdot \left(\frac{M - W}{A_b} - 58,15 \right) = \left[0,42 \cdot 1,81 \cdot \left(\frac{180 - 0}{1,81} - 58,15 \right) \right] \text{W} = 31,39 \text{ W}$$

Avendo considerato: $A_b = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725} = 0,202 \cdot 70^{0,425} \cdot 1,70^{0,725} \text{ m}^2 = 1,81 \text{ m}^2$

dove:

- T_{sk} = Temperatura della pelle in condizioni di benessere [$^\circ\text{C}$];
- M = Potenza metabolica calcolata per un'attività leggera pari a 100 W/m^2 che poi dovrà essere moltiplicata per la superficie corporea A_b [W];
- W = Potenza meccanica scambiata con l'esterno [W];
- A_b = Superficie di pelle nuda calcolata con la formula di Du Bois [m^2];

- E_{sw}^* = Potenza dispersa per sudorazione in condizioni di benessere [W];
- m = Massa individuo [kg];
- h = Altezza individuo [m].

Dunque, affinché un individuo si trovi in condizioni di comfort è necessario che: le due variabili soggettive (attività svolta e abbigliamento), le due variabili fisiologiche (temperatura della pelle e potenza persa per sudorazione) e le quattro variabili ambientali (temperatura dell'aria, temperatura media radiante, velocità dell'aria e umidità relativa), vadano a soddisfare sia le equazioni di bilancio del corpo umano sia le due equazioni di benessere. Si ottiene quindi l'equazione degli stati di equilibrio termico in condizioni di benessere:

$$L = (M - W) - (C^* + R^* + C_k + R_{Res} + E_{sk}) \text{ [W]}$$

Essendo:

- L = Carico termico [W];
- M = Potenza metabolica [W];
- W = Potenza meccanica scambiata con l'esterno [W];
- C^* = Potenza termica dispersa per convezione in condizioni di benessere [W];
- R^* = Potenza termica dispersa per irraggiamento in condizioni di benessere [W];
- C_k^* = Potenza termica dispersa per conduzione in condizioni di benessere [W];
- R_{Res}^* = Potenza termica complessivamente dispersa con la respirazione in condizioni di benessere [W];
- E_{sk}^* = Potenza termica latente scambiata dalla pelle in condizioni di benessere [W].

5.7.2 La determinazione dei termini di bilancio

5.7.2.1 Potenza termica latente scambiata per traspirazione attraverso la pelle

La potenza latente scambiata per traspirazione (diffusione del vapore) attraverso la pelle, viene così calcolata:

$$E_d^* = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot A_b \cdot (256 \cdot T_{sk} - 3373 - \varphi \cdot p_{vs, Ta}) [W]$$

$$E_d^* = 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot 1,81 \cdot (256 \cdot 32,96 - 3373 - 0,5 \cdot 2338,80) W = 21,51 W$$

Avendo calcolato, con riferimento al diagramma di Mollier, la $p_{vs, Ta}$ come:

$$p_{vs, Ta} = \frac{x \cdot p}{\varphi \cdot (0,622 + x)} = \frac{0,00726 \cdot 101325}{0,5 \cdot (0,622 + 0,00726)} Pa = 2338,80 Pa$$

dove:

- E_d^* = Potenza termica latente scambiata per traspirazione (diffusione del vapore) attraverso la pelle in condizioni di benessere [W];
- A_b = Superficie di pelle nuda calcolata con la formula di Du Bois [m²];
- T_{sk} = Temperatura della pelle in condizioni di benessere [°C];
- φ = Umidità relativa dell'ambiente imposta pari al 50 %;
- $p_{vs, Ta}$ = Pressione di vapor saturo [Pa];
- x = Titolo dell'aria umida;
- p = Pressione atmosferica posta pari a 101325 [Pa].

5.7.2.2 Potenza termica latente scambiata per respirazione

La potenza termica latente scambiata per respirazione viene così calcolata:

$$E_{ve}^* = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - \varphi \cdot p_{vs, Ta})$$

$$E_{ve}^* = 1,72 \cdot 10^{-5} \cdot 180 \cdot (5867 - 0,5 \cdot 2338,80) = 15,54 W$$

Essendo:

- E_{ve}^* = Potenza termica latente scambiata per respirazione [W];
- M = Potenza metabolica [W];
- φ = Umidità relativa dell'ambiente imposta pari al 50 %;
- $p_{vs, Ta}$ = Pressione di vapor saturo [Pa].

5.7.2.3 Potenza termica secca dispersa per respirazione

La potenza termica secca dispersa per respirazione, invece, verrà calcolata nel seguente modo:

$$C_{ve}^* = 0,0014 \cdot M \cdot (34 - T_a) = [0,0014 \cdot 180 \cdot (34 - 16)] W = 4,54 W$$

dove:

- C_{ve}^* = Potenza termica sensibile scambiata nella respirazione in condizioni di benessere [W];
- M = Potenza metabolica [W];
- T_a = Temperatura dell'aria interna imposta pari a 16°C.

5.7.2.4 Potenza termica scambiata per conduzione

Il termine di potenza termica scambiata per conduzione viene generalmente posto pari a zero. Si tiene conto di questo contributo nel caso di superfici avvolgenti l'utente, come ad esempio, nei casi in cui lo stesso sia seduto in poltrone imbottite o sedute simili. Nel caso in esame ci troviamo in condizioni ordinarie e quindi questo termine viene trascurato.

5.7.2.5 Resistenza termica del vestiario

La resistenza termica del vestiario è definita come una vera e propria resistenza termica di un solido ideale, spalmata uniformemente su tutto il corpo. Nel S.I. tale resistenza ha la unità di misura in m^2K/W , però verrà espressa in un'unità di misura incoerente, il clo. 1 clo equivale a $0,155 m^2K/W$. Non sapendo di per certo il vestiario dell'utente, preso come riferimento per il calcolo del PMV, si è imposto un valore concordemente con l'ambiente

considerato e la stagione invernale, pari a 1,1 clo. Definito questo si è passati a calcolare il coefficiente di area di abbigliamento:

$$f_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot I_{cl} = 1,05 + 0,1 \cdot 1,1 = 1,16$$

Essendo:

- f_{cl} = Coefficiente di area di abbigliamento;
- I_{cl} = Resistenza termica del vestirario [clo].

5.7.2.6 Temperatura del vestirario

Per il calcolo della temperatura del vestirario si è utilizzata la seguente relazione:

$$\frac{35,7 - 0,0275 \cdot M - T_{cl}^*}{0,155 \cdot I_{cl}} = h_c \cdot f_{cl} \cdot A_b \cdot (T_{cl}^* - T_a) + 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(T_{cl}^* + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4]$$

dove:

- M = Potenza metabolica [W];
- T_{cl}^* = Temperatura del vestirario in condizioni di benessere [°C];
- I_{cl} = Resistenza termica del vestirario [clo];
- h_c = Coefficiente di scambio termico convettivo [W/m²K];
- f_{cl} = Coefficiente di area di abbigliamento;
- A_b = Superficie di pelle nuda calcolata con la formula di Du Bois [m²];
- T_a = Temperatura dell'aria interna imposta pari a 16°C;
- T_{mr} = Temperatura media radiante [°C].

Essendo un'equazione di quarto grado nell'incognita T_{cl}^* , si è proceduto per iterazioni successive; la procedura matematica consiste nell'imporre un valore arbitrario di temperatura, risolvendo così entrambi i membri dell'equazione ed ottenendo inevitabilmente due risultati differenti. Iterando in questo modo si è trovato il valore che soddisfacesse l'equazione.

Nel calcolo compare esplicitamente l'equazione della potenza termica scambiata per convezione:

$$C^* = h_c \cdot A_b \cdot f_{cl} \cdot (T_{cl}^* - T_a)$$

dove:

- C^* = Potenza termica scambiata per convezione [W];
- h_c = Coefficiente di scambio termico convettivo [W/m²K];
- A_b = Superficie di pelle nuda calcolata con la formula di Du Bois [m²];
- T_{cl}^* = Temperatura del vestiario in condizioni di benessere [°C];
- T_a = Temperatura dell'aria interna imposta pari a 16°C;

Tuttavia, il coefficiente di scambio termico convettivo assume valori diversi a seconda se la convezione è forzata oppure naturale. La normativa, impone di calcolarli entrambi e prendere il valore massimo. A questo punto del calcolo, essendo ancora la T_{cl}^* ignota, si è imposto di procedere nelle iterazioni con il valore derivato dalla convezione forzata, ritardando la verifica di $h_c'' > h_c'$ una volta trovata la stessa temperatura:

- $h_c' = 2,38 \cdot (T_{cl}^* - T_a)^{0,25}$ in caso di convezione naturale
- $h_c'' = 12,10 \cdot \sqrt{v_{ar}}$ in caso di convezione forzata
- $v_{ar} = v_a + 0,0052 \cdot \left(\frac{M-W}{A_b} - 58,2 \right)$

dove:

- h_c' = Coefficiente di scambio termico in convezione naturale [W/m²K];
- T_{cl}^* = Temperatura del vestiario in condizioni di benessere [°C];
- T_a = Temperatura dell'aria interna imposta pari a 16°C;
- h_c'' = Coefficiente di scambio termico in convezione forzata [W/m²K];
- v_{ar} = Velocità dell'aria relativa al soggetto [m/s];
- v_a = Velocità dell'aria in ambiente posta pari 0,15 m/s (secondo la UNI 10339) [m/s];
- M = Potenza metabolica [W];
- W = Potenza meccanica scambiata con l'esterno [W];

- A_b = Superficie di pelle nuda [m²].

Con tali informazioni possiamo procedere con il calcolo di h_c'' :

$$v_{ar} = v_a + 0,0052 \cdot \left(\frac{M - W}{A_b} - 58,2 \right) = 0,15 + 0,0052 \cdot \left(\frac{180 - 0}{1,81} - 58,2 \right) = 0,36 \frac{m}{s}$$

$$h_c'' = 12,10 \cdot \sqrt{v_{ar}} = (12,10 \cdot \sqrt{0,36}) \frac{W}{m^2K} = 7,3 \frac{W}{m^2K}$$

5.7.2.7 Potenza termica dispersa per irraggiamento

La potenza termica dispersa per irraggiamento viene calcolata nel seguente modo:

$$R^* = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot A_b \cdot [(T_{cl}^* + 273)^4 - (T_{mr} + 273)^4]$$

$$R^* = 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot 1,16 \cdot 1,81 \cdot [(19,82 + 273)^4 - (15,63 + 273)^4] = 34,29 \text{ W}$$

dove:

- R^* = Potenza termica dispersa per irraggiamento in condizioni di benessere [W];
- f_{cl} = Coefficiente di area di abbigliamento;
- A_b = Superficie di pelle nuda [m²];
- T_{cl}^* = Temperatura del vestiario in condizioni di benessere [°C];
- T_{mr} = Temperatura media radiante, calcolata di seguito [°C].

5.7.2.8 Temperatura media radiante

La temperatura media radiante è una temperatura fittizia uniforme su tutte le superfici che racchiudono l'ambiente. Questa è funzione delle singole temperature costituenti l'ambiente moltiplicate per i cosiddetti fattori di vista $F_{p,i}$, determinati secondo le figure riportate di seguito, funzione della configurazione geometrica e della posizione della persona (seduta o in piedi):

$$T_{mr} = F_{op} \cdot T_{op} + F_w \cdot T_w + F_{as} \cdot T_{as}$$

Essendo:

- T_{mr} = Temperatura media radiante [°C];
- F_{op} = Fattore di vista con riferimento ad una superficie opaca;
- T_{op} = Temperatura superficie opaca [°C];
- F_w = Fattore di vista con riferimento ad una superficie vetrata;
- T_w = Temperatura superficie vetrata [°C];
- F_{as} = Fattore di vista con riferimento ad altre superfici;
- T_{as} = Temperatura altre superfici [°C].

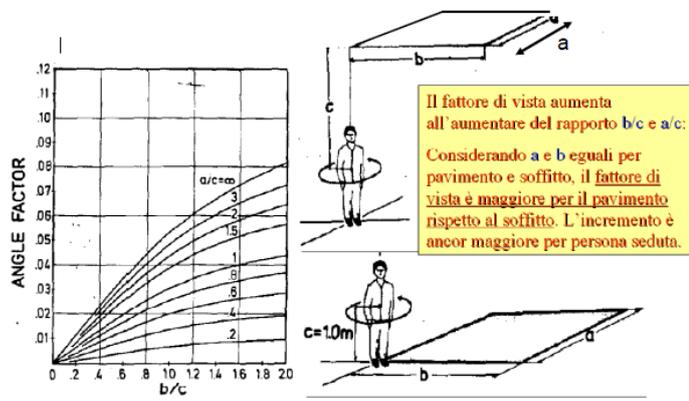


Figura 96 - Riferimento fattore di vista (in piedi) fra parete orizzontale e superficie i-esima.

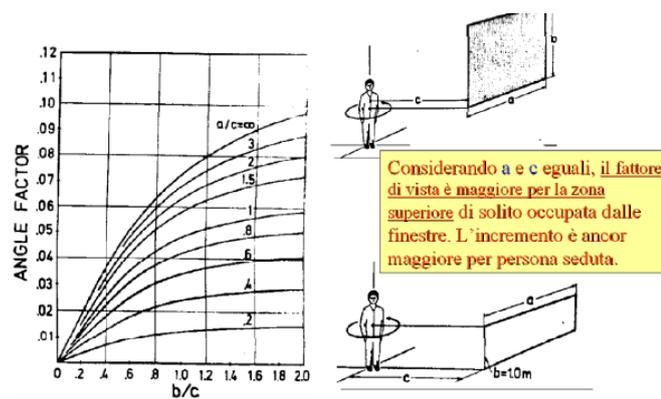


Figura 97 - Riferimento fattore di vista (in piedi) fra parete verticale e superficie i-esima.

5.7.3 Il PMV (voto medio previsto) e il PPD (percentuale prevista di insoddisfatti)

Lo standard di riferimento per il calcolo di questi indici di comfort è la UNI EN ISO 7730. Il PMV permette di determinare analiticamente la sensazione termica globale prevista, intesa come sensazione media di un gruppo composto da individui in buona salute, esposti in ambienti termici moderati. Il PMV (Predicted Mean Vote) è un parametro, introdotto da Fanger, basato sulla risoluzione dell'equazione di bilancio energetico del corpo umano, che correla la sensazione termica ad un voto relativo alla percezione dell'ambiente. Di solito si considerano accettabili se il PMV assume valori nell'intervallo $[-0,5; +0,5]$. La correlazione fra la sensazione termica di caldo/freddo (cioè L) e il PMV è dato da:

$$PMV = (0,303 \cdot e^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot L$$

dove:

- PMV = Predicted Mean Vote;
- M = Potenza metabolica [W];
- L = Carico termico [W].

PMV e PPD sono correlate dalla seguente relazione:

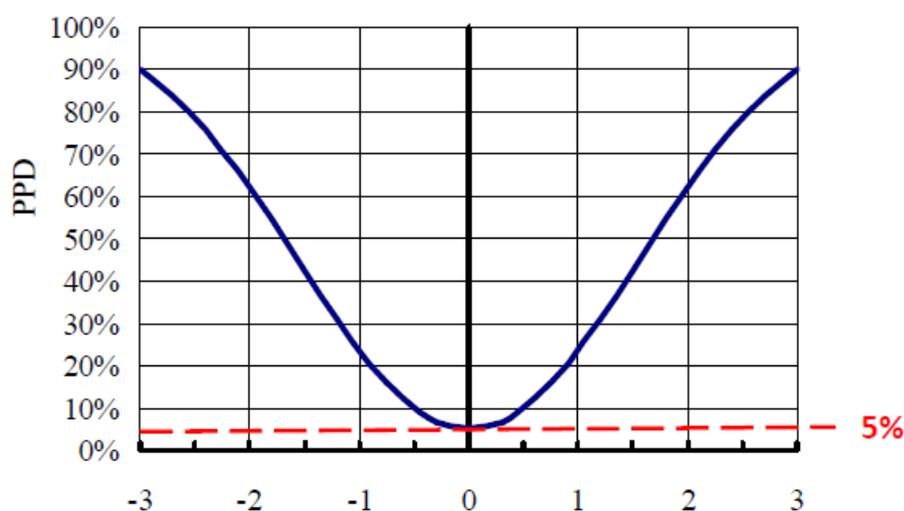


Figura 98 - Grafico di correlazione tra PPD e PMV

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{-(0,03353 PMV^4 + 0,2179 PMV^2)}$$

Essendo:

- PPD = Predicted Percentage of Dissatisfied [%];
- PMV = Predicted Mean Vote.

Il calcolo per la verifica delle condizioni di comfort termoigrometrico è stato condotto su un ambiente significativo, una sala espositiva al primo piano, esposta a nord-est. Si riporta di seguito uno stralcio della pianta in cui è evidenziato l'ambiente oggetto del calcolo.

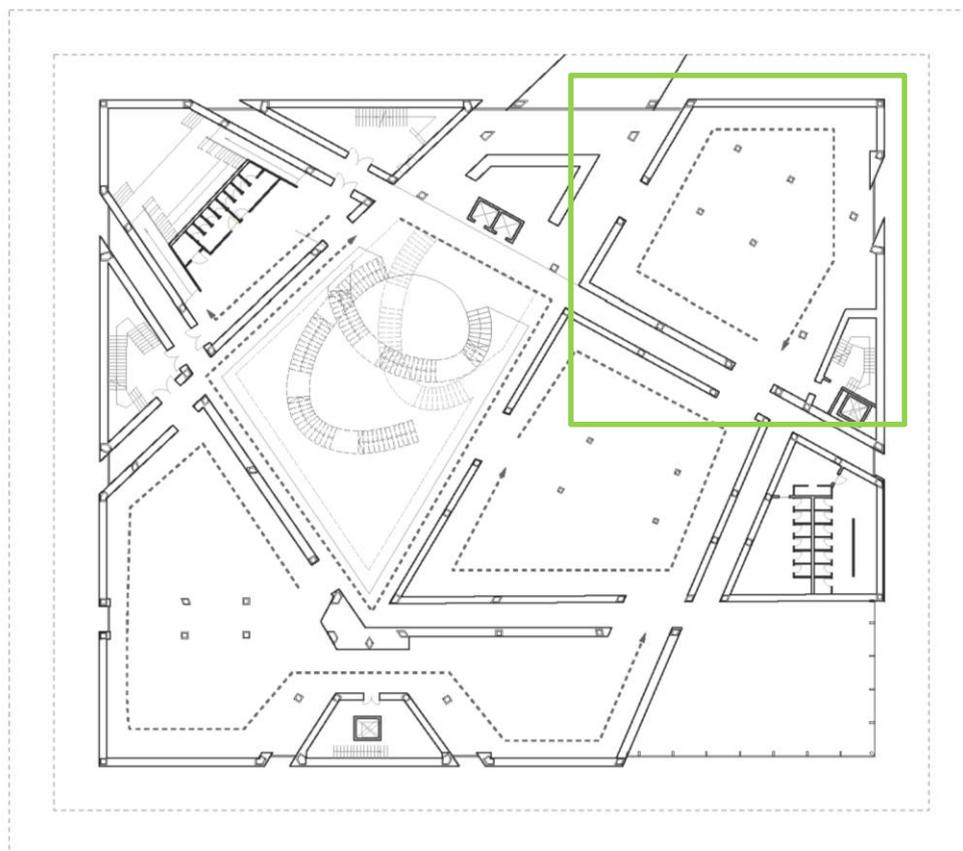


Figura 99 - Pianta di progetto, primo piano

Nei successivi paragrafi vengono riportati i calcoli eseguiti per risolvere l'equazione del bilancio in condizioni di benessere termico ed i calcoli degli indici PMV e PPD.

5.7.3.1 Il calcolo della temperatura media radiante

La temperatura media radiante è calcolata utilizzando il metodo dei fattori di vista: in questo modo essa corrisponde alla sommatoria delle temperature superficiali interne moltiplicate per il relativo fattore di vista. Vengono di seguito calcolate le temperature superficiali interne relative alle pareti, al soffitto ed al pavimento del locale considerato, ricavate dalla seguente relazione:

$$T_{sup,i} = \theta_i - \frac{\frac{\Phi}{A}}{h_i}$$

$$\frac{\Phi}{A} = U \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Dove:

- $T_{sup,i}$ = Temperatura superficiale interna [°C];
- θ_i = Temperatura interna di progetto [°C];
- θ_e = Temperatura esterna di progetto [°C];
- $\frac{\Phi}{A}$ = Flusso areico [W/m²];
- h_i = Coefficiente di scambio termico convettivo [W/m²K] da UNI EN 6946;
- U = Trasmittanza termica [W/m²K].

PARETE NORD esterna	
ϕ/A [W/m ²]	5,292
U [W/m ² K]	0,378
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	2
h_i [W/m ² K]	7,69
$T_{sup,i}$ [°C]	15,31

PARETE EST esterna	
ϕ/A [W/m ²]	5,292
U [W/m ² K]	0,378
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	2
h_i [W/m ² K]	7,69
$T_{sup,i}$ [°C]	15,31

FINESTRA EST	
ϕ/A [W/m ²]	27,398
U [W/m ² K]	1,957
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	2
h_i [W/m ² K]	7,69
$T_{sup,i}$ [°C]	12,44

PARETE SUD interna	
ϕ/A [W/m ²]	3,2872
U [W/m ² K]	0,587
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	10,4
h_i [W/m ² K]	7,69

PORTA SUD	
ϕ/A [W/m ²]	8,4
U [W/m ² K]	1,5
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	10,4
h_i [W/m ² K]	7,69

PAVIMENTO	
ϕ/A [W/m ²]	0
U [W/m ² K]	1,55
θ_i [°C]	16
θ_e [°C]	16
h_i [W/m ² K]	10

T _{sup,i} [°C]	15,57
-------------------------	-------

T _{sup,i} [°C]	14,91
-------------------------	-------

T _{sup,i} [°C]	16,00
-------------------------	-------

PARETE OVEST interna	
φ/A [W/m ²]	3,2872
U [W/m ² K]	0,587
θ _i [°C]	16
θ _e [°C]	10,4
h _i [W/m ² K]	7,69
T _{sup,i} [°C]	15,57

PORTA OVEST	
φ/A [W/m ²]	8,4
U [W/m ² K]	1,5
θ _i [°C]	16
θ _e [°C]	10,4
h _i [W/m ² K]	7,69
T _{sup,i} [°C]	14,91

SOFFITTO	
φ/A [W/m ²]	0
U [W/m ² K]	2,27
θ _i [°C]	16
θ _e [°C]	16
h _i [W/m ² K]	10
T _{sup,i} [°C]	16,00

Tabella 27 - Calcolo delle temperature superficiali di tutte le superfici che delimitano la stanza

Una volta calcolate le temperature superficiali è possibile ricavare la temperatura media radiante attraverso la suddivisione in rettangoli del locale considerato. La posizione 1 fa riferimento ad una persona in piedi al centro del locale.

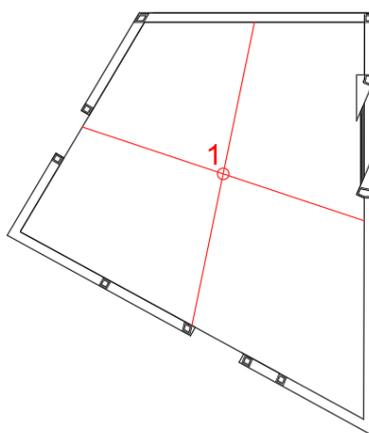


Figura 100 - Individuazione della posizione 1 in pianta

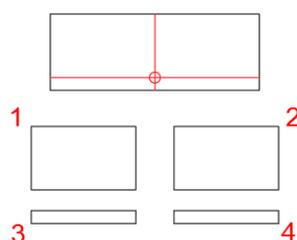


Figura 101 - Suddivisione della parete nord

PARETE NORD esterna								
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F _j	T _{sup,i} [°C]	F _j * T _{sup,i} [°C]
1	8,1966	5	11,6738	0,70	0,43	0,032	-	-
2	8,1966	5	11,6738	0,70	0,43	0,032	-	-

3	8,1966	1	11,6738	0,70	0,09	0,015	-	-
4	8,1966	1	11,6738	0,70	0,09	0,015	-	-
Inv. Opaco						0,094	15,31	1,44
Totale								1,44

Tabella 28 – Calcolo T_{mr} parete nord

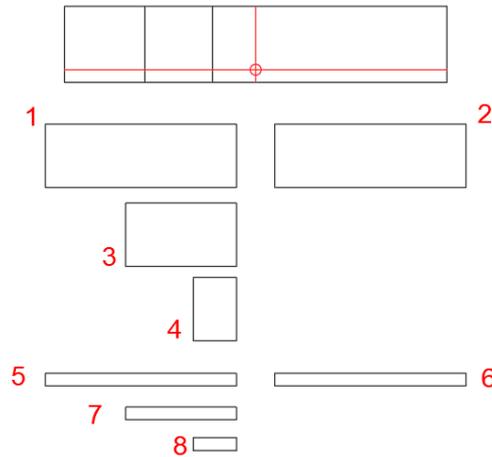


Figura 102 - Suddivisione della parete est

PARETE EST esterna								
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F_j	$T_{sup,i}$ [°C]	$F_j * T_{sup,i}$ [°C]
1	14,9734	5	11,6738	1,28	0,43	0,045		
2	14,9734	5	11,6738	1,28	0,43	0,045		
3	8,6824	5	11,6738	0,74	0,43	0,032		
4	3,3745	5	11,6738	0,29	0,43	0,011		
5	14,9734	1	11,6738	1,28	0,09	0,054		
6	14,9734	1	11,6738	1,28	0,09	0,054		
7	8,6824	1	11,6738	0,74	0,09	0,015		
8	3,3745	1	11,6738	0,29	0,09	0,008		
Inv. Opaco						0,170	15,31	2,60
Inv. Trasparente						0,028	12,44	0,35
Totale								2,95

Tabella 29 – Calcolo T_{mr} parete est

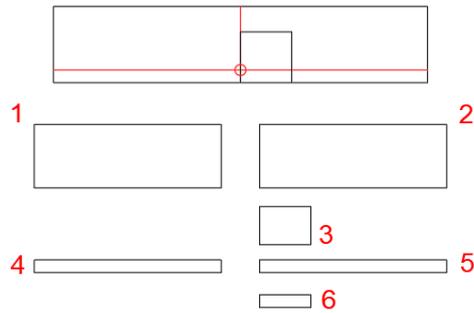


Figura 103 - Suddivisione della parete sud

PARETE SUD interna								
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F_j	$T_{sup,i}$ [°C]	$F_j * T_{sup,i}$ [°C]
1	14,62	5,00	11,6738	1,25	0,43	0,020		
2	14,62	5,00	11,6738	1,25	0,43	0,020		
3	4,00	3,00	11,6738	0,34	0,26	0,005		
4	14,62	1,00	11,6738	1,25	0,09	0,030		
5	14,62	1,00	11,6738	1,25	0,09	0,028		
6	4,00	1,00	11,6738	0,34	0,09	0,002		
Inv. Opaco						0,091	15,57	1,42
Porta						0,007	14,91	0,10
Totale								1,52

Tabella 30 – Calcolo T_{mr} parete sud

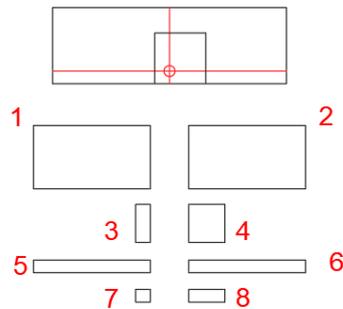


Figura 104 - Suddivisione della parete ovest

PARETE OVEST interna								
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F_j	$T_{sup,i}$ [°C]	$F_j * T_{sup,i}$ [°C]
1	9,16	5,00	11,6738	0,78	0,43	0,032		
2	9,16	5,00	11,6738	0,78	0,43	0,032		
3	1,16	3,00	11,6738	0,10	0,26	0,000		
4	2,84	3,00	11,6738	0,24	0,26	0,003		
5	9,16	1,00	11,6738	0,78	0,09	0,015		
6	9,16	1,00	11,6738	0,78	0,09	0,015		

7	1,16	1,00	11,6738	0,10	0,09	0,000		
8	2,84	1,00	11,6738	0,24	0,09	0,005		
Inv. Opaco						0,086	15,57	1,34
Porta						0,008	14,91	0,12
Totale								1,46

Tabella 31 – Calcolo T_{mr} parete ovest

PAVIMENTO									
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F_j	$T_{sup,i}$ [°C]	$F_j * T_{sup,i}$ [°C]	
1	11,0874	11,6738	1,00	11,09	11,67	0,120	16,00	1,92	
2	11,0874	11,6738	1,00	11,09	11,67	0,120	16,00	1,92	
3	11,0874	11,6738	1,00	11,09	11,67	0,120	16,00	1,92	
4	11,0874	11,6738	1,00	11,09	11,67	0,120	16,00	1,92	
Totale									7,68

Tabella 32 – Calcolo T_{mr} pavimento

SOFFITTO									
RETTANGOLO	a [m]	b [m]	c [m]	a/c	b/c	F_j	$T_{sup,i}$ [°C]	$F_j * T_{sup,i}$ [°C]	
1	11,0874	11,6738	5,6	1,98	2,08	0,009	16,00	0,14	
2	11,0874	11,6738	5,6	1,98	2,08	0,009	16,00	0,14	
3	11,0874	11,6738	5,6	1,98	2,08	0,009	16,00	0,14	
4	11,0874	11,6738	5,6	1,98	2,08	0,009	16,00	0,14	
Totale									0,58

Tabella 33 – Calcolo T_{mr} soffitto

Eseguendo la sommatoria di tutti i fattori di vista è risultato:

$$\sum F_{p,i} = 1$$

Operando, poi, la somma di tutte le temperature radianti si ottiene:

T_{mr} [°C]	
Totale	15,63

Tabella 34 - Valore della temperatura media radiante

5.7.3.2 La determinazione del PMV e del PPD

Le seguenti tabelle mostrano i calcoli effettuati per determinare i termini del bilancio energetico precedentemente presentati e, infine, i valori di PMV e PPD.

CALCOLO POTENZA TERMICA EVAPORATIVA DISPERSA PER SUDORAZIONE	
Area superficiale corporea A_b [m ²]	1,81
Temperatura pelle T_{sk} [°C]	33
Potenza metabolica M [W]	180
Potenza meccanica W [W]	0,00
Potenza latente dispersa per sudorazione E_{sw}^* [W]	31,39

CALCOLO POTENZA TERMICA EVAPORATIVA DISPERSA PER TRASPIRAZIONE	
Area superficiale corporea A_b [m ²]	1,81
Temperatura pelle T_{sk} [°C]	33
Percentuale umidità relativa φ [%]	50,00
Pressione di saturazione del vapore d'acqua $p_{vs,ta}$ [Pa]	2338,80
Potenza latente dispersa per traspirazione E_d^* [W]	21,51

CALCOLO POTENZA TERMICA EVAPORATIVA DISPERSA PER RESPIRAZIONE	
Potenza metabolica M [W]	180
Percentuale umidità relativa φ [%]	50,00
Pressione di saturazione del vapore d'acqua $p_{vs,ta}$ [Pa]	2338,80
Potenza latente dispersa per respirazione E_{ve}^* [W]	14,54

CALCOLO POTENZA TERMICA SECCA DISPERSA PER RESPIRAZIONE	
Potenza metabolica M [W]	180
Temperatura ambiente T_a [°C]	16,00
Potenza sensibile dispersa per respirazione C_{ve}^* [W]	4,54

CALCOLO POTENZA TERMICA SECCA DISPERSA PER CONDUZIONE	
Potenza sensibile dispersa per conduzione C_k^* [W]	0,00

CALCOLO POTENZA TERMICA SECCA DISPERSA PER CONVEZIONE E IRRAGGIAMENTO	
Resistenza termica del vestiario I_{cl} [clo]	1,1
Coefficiente area di abbigliamento f_{cl} [-]	1,16

Area superficiale corporea A_b [m ²]	1,81
Potenza metabolica M [W]	180
Potenza meccanica W [W]	0,00
Velocità dell'aria v_a [m/s]	0,15
Velocità dell'aria relativa v_{ar} [m/s]	0,36
Temperatura ambiente T_a [°C]	16,00
Coefficiente di scambio termico convettivo - convezione naturale h_c' [W/m ² k]	3,33
Coefficiente di scambio termico convettivo - convezione forzata h_c'' [W/m ² k]	7,30
Temperatura media radiante T_{mr} [°C]	15,63
Temperatura pelle T_{sk} [°C]	32,97
Temperatura vestiario T_{cl} [°C]	19,82
Potenza sensibile dispersa per convezione C^* [W]	58,62
Potenza sensibile dispersa per irraggiamento R^* [W]	34,29

Tabella 35 - Calcolo termini di bilancio

CALCOLO DEL PMV E DEL PPD	
Potenza metabolica M [W]	180
Potenza meccanica W [W]	0,00
Potenza latente dispersa per sudorazione E_{sw}^* [W]	31,39
Potenza latente dispersa per traspirazione E_d^* [W]	21,51
Potenza latente dispersa per respirazione E_{ve}^* [W]	14,54
Potenza sensibile dispersa per respirazione C_{ve}^* [W]	4,54
Potenza sensibile dispersa per conduzione C_k^* [W]	0,00
Potenza sensibile dispersa per convezione C^* [W]	58,62
Potenza sensibile dispersa per irraggiamento R^* [W]	34,29
Carico termico L [W]	15,10
Voto medio previsto PMV [-]	0,43
Percentuale prevista di insoddisfatti PPD [%]	8,85

Tabella 36 - Calcolo PMV e PPD

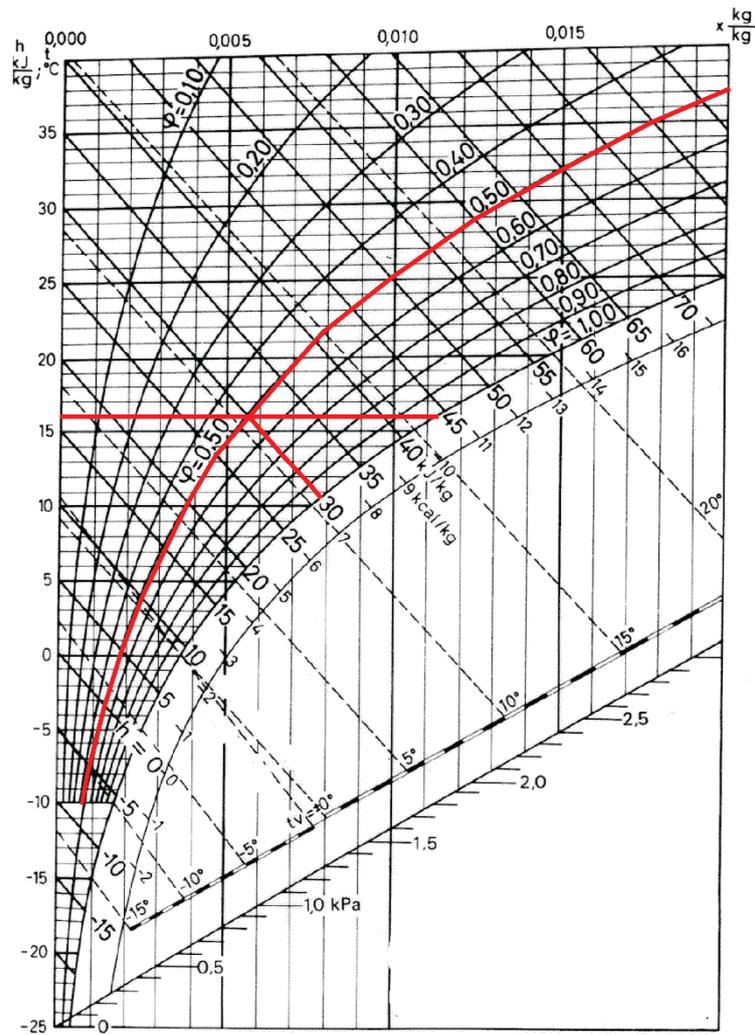


Figura 105 - Diagramma di Mollier con rappresentazione delle condizioni di comfort

Il valore di PMV ottenuto rientra nelle categorie di comfort previste dalla UNI EN 7730 ed è quindi ritenuto accettabile. A questo punto è possibile valutare la permanenza delle suddette condizioni di comfort sul lungo periodo, seguendo la metodologia proposta dallo standard CEN/TR 16798-2:2019.

5.7.4 La valutazione a lungo termine delle condizioni generali di comfort termigrometrico secondo lo standard CEN/TR 16798-2:2019

Basandosi sui dati ottenuti tramite la simulazione in regime dinamico orario del modello del Padiglione Italia, è possibile valutare le condizioni di comfort nel tempo, nel caso specifico un anno, grazie alla sommatoria di alcuni parametri indicati nello standard sopracitato. Esso propone cinque metodologie equivalenti che possono essere usate con questo scopo, si è scelto di applicare il Metodo B – Criterio dei gradi ora. Attraverso questo procedimento, il tempo durante il quale la temperatura operativa reale supera uno specifico range, nelle ore di occupazione dell'edificio, viene ponderato attraverso un fattore che è funzione del numero di gradi che superano l'intervallo prestabilito. Di seguito, viene presentata la procedura di applicazione del Metodo B.

Il weighting factor, o fattore di ponderazione:

- È pari a 0 quando $\theta_{o,limit,lower} \leq \theta_o \leq \theta_{o,limit,upper}$ dove $\theta_{o,limit}$ è il limite inferiore o superiore dell'intervallo di comfort specificato. Nel nostro caso $16^{\circ}C \leq \theta_o \leq 26^{\circ}C$, come da condizioni di progetto per gli ambiti museali;
- Si calcola come $Wf = \theta_o - \theta_{o,limit}$ quando $\theta_o < \theta_{o,limit,lower}$ oppure $\theta_{o,limit,upper} < \theta_o$.

Sono stati, quindi, presi i risultati orari della temperatura interna operativa dell'anno tipo di riferimento e filtrati in modo da considerare solamente l'intervallo orario di occupazione dell'edificio, dalle 08:00 alle 16:00. A questo punto si è fatta la media delle ore in cui la temperatura risulta inferiore ai 16°C e la media di quelle in cui supera i 26°C. A questa media vengono sottratti rispettivamente i due valori limite di temperatura, ottenendo i due Wf. Il tempo in cui θ_o supera i limiti prestabiliti è calcolato semplicemente sommando il numero di ore in cui $\theta_o < \theta_{o,limit,lower}$ oppure $\theta_{o,limit,upper} < \theta_o$. Per il periodo di riferimento, viene effettuata la sommatoria del prodotto tra il Wf e il tempo. Tale sommatoria ha come unità di misura le ore:

- Periodo freddo: $\sum Wf * tempo$ per $\theta_o < \theta_{o,limit,lower}$;
- Periodo caldo: : $\sum Wf * tempo$ per $\theta_o > \theta_{o,limit,upper}$.

A mezzo di un foglio di calcolo excel sono stati esplicitati i precedenti calcoli e si è ottenuto che le ore di discomfort, rispetto alle ore totali dell'anno, non superano il 20%:

Periodo	Wf	Tempo	Ore discomfort	Percentuale discomfort
	[-]	[h]	[h]	[%]
Freddo	2,17517	145	315,4	3,59
Caldo	2,567737	685	1758,9	20,02

Tabella 37 - Calcolo delle ore di discomfort nel periodo freddo ed in quello caldo

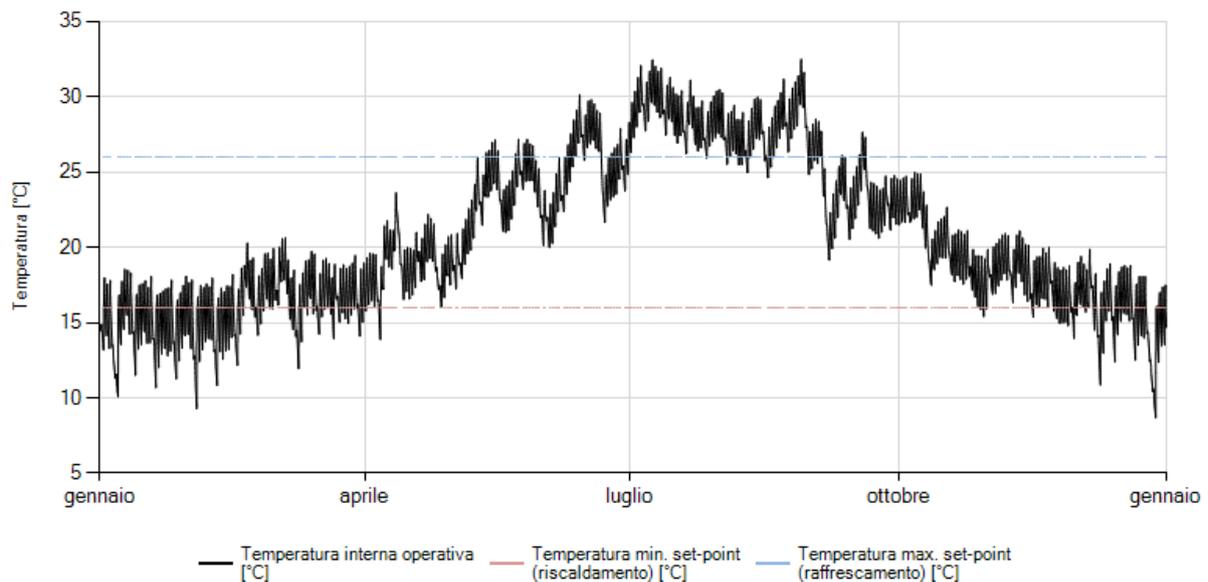


Figura 106 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 1

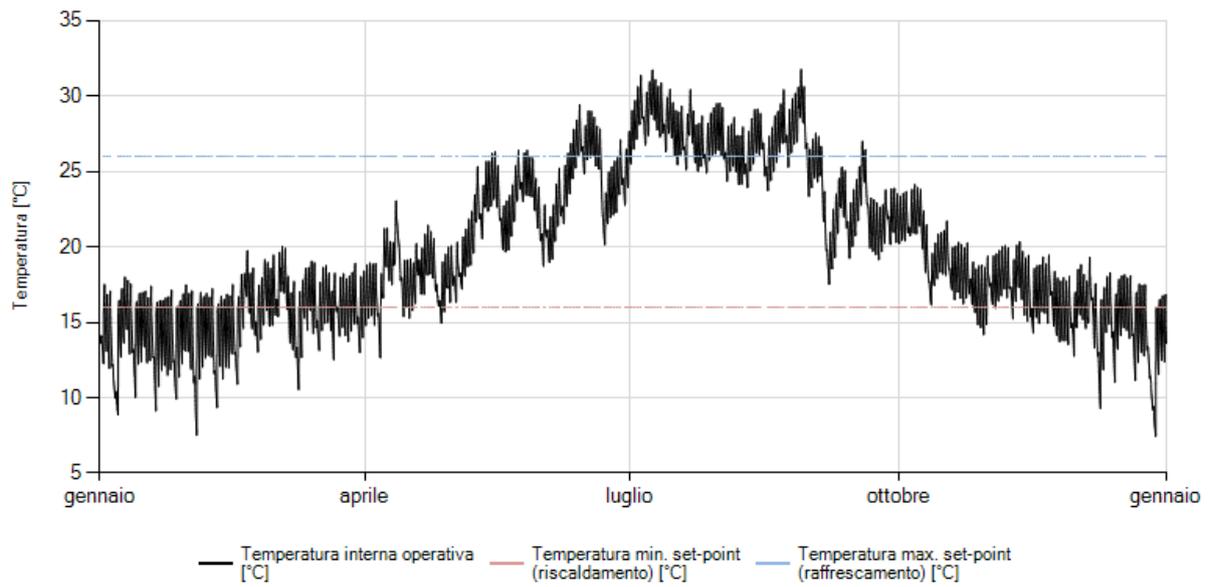


Figura 107 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 2

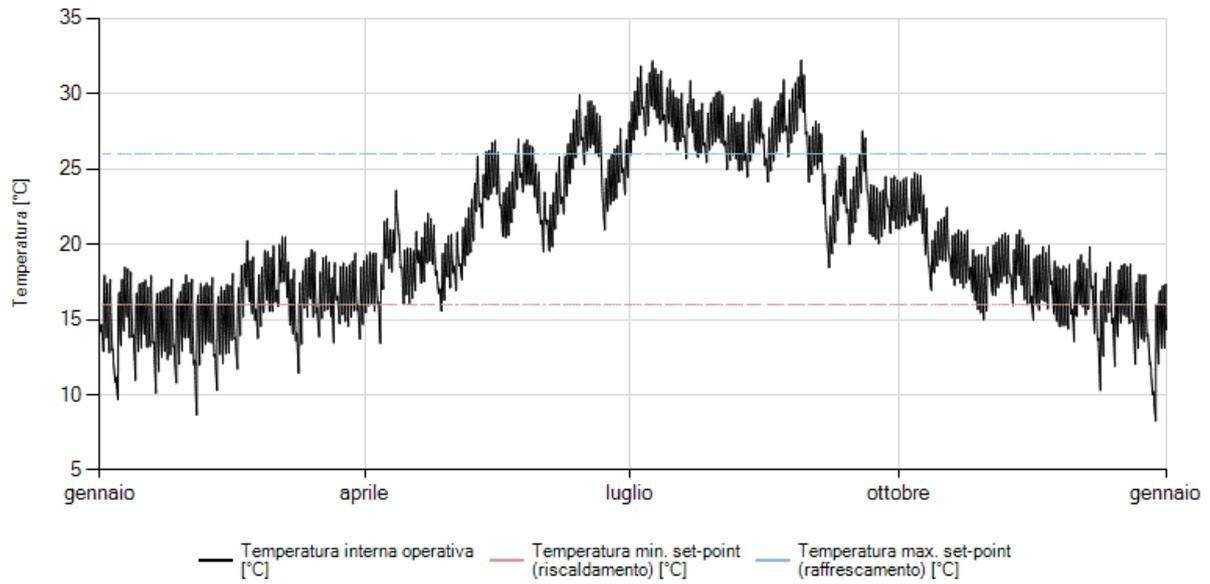


Figura 108 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 3

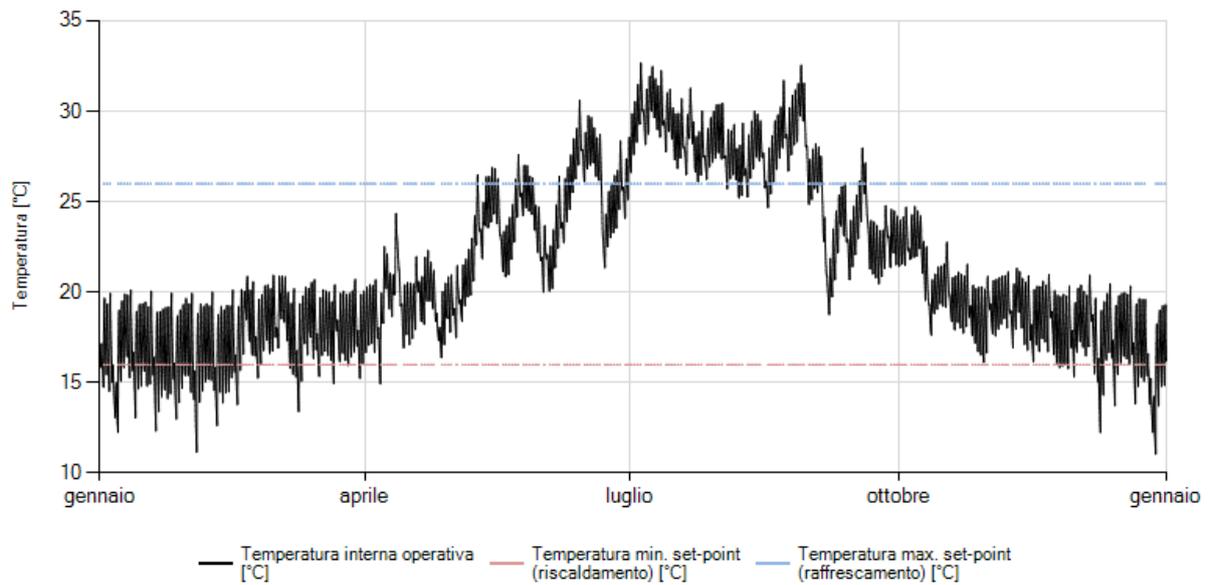


Figura 109 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 4

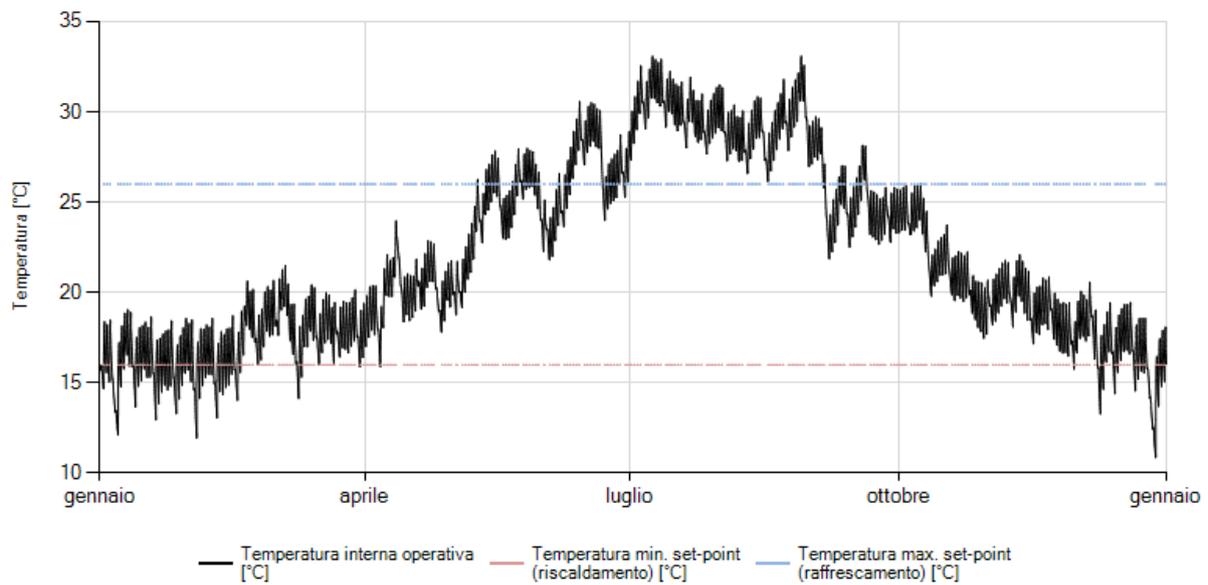


Figura 110 – Diagramma dell'andamento della temperatura interna operativa nel Blocco 5

Considerando le condizioni climatiche di Shanghai durante la stagione estiva, l'esito degli interventi e delle soluzioni migliorative può essere ritenuto soddisfacente dal punto di vista del comfort generale, anche a lungo termine.

CONCLUSIONI

Quella che in origine è nata come una collaborazione progettuale, è diventata un'occasione di scambio ed apprendimento trasversale sui molteplici temi trattati e sul diverso modo di affrontare la loro risoluzione da parte delle tre università. Durante il workshop a Shanghai, e in seguito con la prosecuzione del lavoro nelle rispettive città, si è arrivati a definire quelli che sono i concetti fondanti del futuro intervento di riqualificazione: la creazione di una ipotesi di riprogrammazione del *contesto*, che tenga conto del rapporto con il lungofiume e con il nascente Expo Cultural Park; la formulazione di *strategie e soluzioni* progettuali, come ad esempio quella di preservare la facciata semi-trasparente che rappresenta la vera identità del padiglione e di rimuovere, invece, la sopraelevazione successiva in quanto superfetazione che non aggiunge valore all'edificio; l'aggiunta di *nuovi spazi*, come la riprogettazione dell'ingresso, la piastra-giardino di connessione verso il fiume e gli spazi laboratoriali al di sotto, la prosecuzione del volume vetrato della corte centrale fino alla nuova copertura. Il complesso di interventi si pone come ulteriore elemento di stratificazione che, riprendendo la metafora creata dall'architetto Giampaolo Imbrighi, lascia intravedere il susseguirsi di mutazioni della città-edificio, dalla sua nascita a quello che è oggi e che sarà in futuro. Contestualmente al progetto di riqualificazione si è riscontrata la necessità di affrontare il retrofit dell'edificio anche dal punto di vista energetico ed ambientale, aspetti sempre più imprescindibili dall'attività di progettazione. Il lavoro si è incentrato sulla proposta di un nuovo sistema impiantistico che, considerate le grandi volumetrie in gioco, mira a climatizzare sia d'inverno che d'estate e garantire un ricambio d'aria adeguato ad i macro-blocchi in cui è suddiviso l'edificio, ma al contempo prevede spazi con un controllo più stretto di temperatura e umidità relativa, per soddisfare le peculiari necessità delle diverse opere d'arte. A corredo della tesi sono state valutate le condizioni generali di comfort termoigrometrico sul lungo periodo, attraverso la metodologia proposta dallo standard CEN/TR 16798-2:2019. In futuro, si prevede la presentazione dello studio, in corso d'opera, sulla possibile distribuzione interna e sullo

sviluppo delle nuove aggregazioni, al Consolato Generale d'Italia a Shanghai, con la prospettiva di portare ad un livello esecutivo quella che per ora è una meravigliosa esperienza di progettazione preliminare.

RINGRAZIAMENTI

“Un pessimista vede la difficoltà in ogni opportunità, un ottimista vede l’opportunità in ogni difficoltà”. Faccio mie le parole di Winston Churchill, ringraziando in primis la mia famiglia. Mamma, papà, Giorgia e Gianluca. Mi avete insegnato ad essere ottimista, sebbene spesso tendessi ad essere il contrario. Non è stato facile abituarmi ad una routine senza la vostra presenza stabile e mi mancate come l’aria, ogni giorno. So che voi ci siete sempre e aspettate il mio ritorno, come un porto la sua nave. Ho avuto la smisurata fortuna di nascere e vivere circondata dall’amore e di crescere elevata dalla conoscenza che mi avete trasmesso, dandomi gli strumenti per saperla raggiungere a mia volta. Gianluca e Giorgia, grazie a voi so che non conta sapere a cosa serve un cannocchiale, l’importante è guardarci dentro. Le meraviglie che vi si possono scoprire sono infinite, come il bene che vi voglio. Ernesto e Pia, vorrei tanto arrivare a ricompensarvi di tutto quello che avete fatto e continuate a fare per me, rendendovi fieri. Non so se mai ci riuscirò appieno, ma so che continuerò a provarci. Questo è solo un tassello, non vedo l’ora di posare gli altri. È merito vostro se, in tutta questa confusione chiamata vita, ho delle certezze su quello che voglio dal mio futuro e su come lottare per ottenerlo. Senza di voi, non sarei qui a scrivervi.

Nonna Francesca, a te va una menzione a parte, perché sei il mio più grande esempio di virtù. Sei perfetta, cara nonnina, ed io sogno il momento in cui potrò riabbracciare la regina della cucina. Stai a casa in questo periodo così difficile, riguardati. So che il tuo spirito vitale è così energico da farti fare cose da giovincella in un corpo da novantenne, ma cerca di frenarti e abbi cura di te. Ti voglio bene. E ne voglio tanto anche a voi, zia Taty, Barbara ed Elena, Francesca e Sara, Vladi e Tony. Siete il prolungamento del mio nido, il mio posto sicuro. Mi fate ridere di sana felicità e so che su di voi potrò sempre contare, anche se lontani. Ringrazio anche la zia Milena, lo zio Gino e Gianfranco, con la speranza di vederci presto. E non potrei mai dimenticare zio Gianni e nonno Giovanni, nonna Nella e nonno Giovanni, che purtroppo non sono più su questa terra ma li ritrovo nella quotidianità delle piccole cose.

Un profondo ringraziamento va al mio relatore, Carlo Ostorero, e ad i miei correlatori, Giovanni Vincenzo Fracastoro e Enrico Fabrizio. Il prezioso supporto e le pratiche indicazioni hanno dato maggior validità a questo saggio. Inoltre, vorrei esprimere la mia più sincera gratitudine per i miei compagni di lavoro in questo progetto, Gianluca, Laura e Andrea, i collaboratori Marco e Lidia, e i professori Alberto Bologna e Michele Bonino. Estendo il ringraziamento anche a tutto l'organismo vivo e pulsante del Politecnico di Torino, che mi ha accolta dandomi una seconda casa e insegnandomi più di quanto immaginassi di poter imparare.

Audrey, spero di aver reso la tua vita migliore almeno la metà di quanto tu abbia fatto con la mia. Quando si tratta di te, nessuna parola è abbastanza grande per descrivere quanto io ti sia grata. Da quando ti conosco sei stata la mia compagna, la mia spalla, la mia metà e non riesco a ricordare com'era il mondo prima di conoscerti. Sicuramente più buio e vuoto. Perché tu riempi Aud. Riempi la vita degli altri senza chiedere nulla in cambio. Sei la persona più generosa, altruista e buona che conosca e finirebbero le pagine a disposizione prima che io termini di elencare tutti i tuoi pregi. Perciò ti dirò solo che ti voglio immensamente bene e sei e sarai per sempre una parte molto grande e molto importante della mia esistenza.

Mariachiara, con te e Aud qui a Torino ho creato una nuova famiglia. Non credevo di poter stare così bene molto lontana dal posto e dalle persone con cui sono cresciuta. Invece voi mi avete dimostrato che, quando tre anime così affini hanno la fortuna di trovarsi, niente è impossibile. Mi sei stata vicina attraverso gioie e dolori e di questo ti sarò eternamente grata, MC. È difficile capire cosa sta passando qualcuno quando non lo si vive di persona, eppure tu eri lì in prima linea ad occuparti di me, con il cuore immenso che possiedi. Il dono di averti come amica è prezioso e delicato e prometto che me ne prenderò cura e ci sarò sempre per te.

Come non menzionare i miei compagni in questo fantastico viaggio: Michela, Andrea, Anita, Carolina, Matteo, Maria Luisa, Fabrizio, Valentina, Daniela. Con voi ogni giornata è stata più leggera e spensierata. Era facile trovare il modo per stemperare lo stress, così come

mettersi a lavorare sodo quando il momento lo richiedeva. In un mondo che ci vuole gli uni contro gli altri, noi abbiamo creato un gruppo coeso, nello studio come nel tempo libero. Grazie per aver reso la fatica un immenso piacere.

Anche se fisicamente lontane, ho sentito forte e vivo il sostegno di quelle che sono onorate e commossa di poter chiamare amiche del cuore: Anna, Benedetta, Fiorella, Lara, Lorenza, Micaela. Con voi ho affrontato la battaglia più dura, ma anche più bella. Alla triennale sono legati i miei più cari e preziosi ricordi. Dalle giornate più ordinarie, lezioni interminabili, esami insormontabili, lavori di gruppo infiniti, notti sui libri e al pc, alle grandi cene di ricompensa, feste, momenti indimenticabili e chi più ne ha più ne metta. Lo spazio ci ha divise, ma ogni volta che ci rivediamo è come se il tempo non fosse mai passato. Ci auguro di continuare così, che il nostro legame possa crescere e rafforzarsi.

Enrica, Giulia, Lorena, Loredana e Paola, il caso, che risponde al nome di Audrey, mi ha portata da voi. Siete delle forti e coraggiose donne e ognuna, a modo proprio, rende il gruppo completo e unico. Con la vostra ironia e simpatia accompagnate le mie giornate e le rendete gioiose. Non potrei essere più felice di avervi conosciute, grazie di essere come siete.

Pensavi mi fossi dimenticata di te, eh Alessio? E invece ti ho lasciato per ultimo. Forse per una sorta di poetica e sdolcinata congiunzione tra l'apertura del mio discorso, rivolta alla mia famiglia, e la chiusura, con la speranza e la promessa di quella che in futuro avrò con te. Tu sei la mia luce nel buio. E qui non voglio dilungarmi oltre, perché ti scrivo già troppe lettere e perché il resto lo sappiamo noi, ed è questo quello che rimane. Per sempre.

Con sincero affetto e infinita gratitudine,

Giulia

BIBLIOGRAFIA

Cesare Brandi, *Teoria del restauro*, Einaudi, 1963

Walter Benjamin, *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*, Einaudi, 2000

Franco Purini, *Idee in gara per il padiglione italiano all'Expo Shanghai 2010. Il futuro delle città veste made in Italy*, Gangemi, 2010

Enrico Milone, *Architetto, Manuale per la professione*, DEI, 2007

Marco Perino, *Dispense del corso "Progettazione Energetica dell'edificio"*, Politecnico di Torino, A.A. 2017/2018

Vincenzo Corrado, *Dispense del corso "Energy Audit and Certification of buildings"*, Politecnico di Torino, A.A. 2018/2019

UNI EN ISO 52016-1:2018, *Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo*

UNI EN ISO 7730:2006, *Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione analitica e interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico locale*

UNI EN 16798-1:2019, *Prestazione energetica degli edifici - Ventilazione per gli edifici - Parte 1: Parametri di ingresso dell'ambiente interno per la progettazione e la valutazione della prestazione energetica degli edifici in relazione alla qualità dell'aria interna, all'ambiente termico, all'illuminazione e all'acustica - Modulo M1-6*

CEN/TR 16798-2:2019, *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics (Module M1-6)*

UNI/TS 11300-1:2014, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale*

UNI EN ISO 6946:2018, *Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo*

UNI EN ISO 13370:2018, *Prestazione termica degli edifici - Trasferimento di calore attraverso il terreno - Metodi di calcolo*

UNI EN 12464-1:2011, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni*

SITOGRAFIA

<https://www.area-arch.it/il-tema-dellexpo-shanghai-2010-e-il-suo-significato/>

<https://www.area-arch.it/italy-pavilion/>

<https://www.arketipomagazine.it/padiglione-italia-a-shanghai-expo-2010/>

https://www.archiportale.com/news/2011/02/architettura/il-padiglione-italia-dell-expo-di-shanghai-resta-in-cina_21426_3.html

<https://www.arcvision.org/italian-pavilion/?lang=en>

http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2012/04/Webcast_UK-presentazione-Shanghai.pdf

<http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2010/05/ArcVision23-shanghai.pdf>

<http://www.arcvision.org/wp-content/uploads/2010/05/ArcVision22-shanghai.pdf>

https://books.google.it/books?id=t41aDwAAQBAJ&pg=PT336&dq=italian+pavilion+expo+2010&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjD_Z2l84fnAhVbSxUIHUCCDEUQ6AEIOjAC#v=onepage&q=italian%20pavilion%20expo%202010&f=false

https://books.google.it/books?id=q1qjBAAAQBAJ&pg=PA131&dq=italian+pavilion+expo+2010&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjD_Z2l84fnAhVbSxUIHUCCDEUQ6AEIMjAB#v=onepage&q=italian%20pavilion%20expo%202010&f=false

file:///C:/Users/Utente/Downloads/Shanghai%202010_%20il%20programma%20dell'Italia%20all'Exp%C3%B2%20dal%201%20maggio%20al%2030%20ottobre.pdf

<https://it.wikipedia.org/wiki/Shanghai#Clima>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261918308110>

https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Transparent_insulation

<https://www.agatetravel.com/the-bund-shanghai.html>

<http://www.expomuseum.com/2010/>

ALLEGATI

Allegato 1



Diversi scenari luminosi con una sola lampadina

SceneSwitch LEDbulbs

Determinate situazioni richiedono una luce fredda, mentre in altre è preferibile scegliere una luce soffusa calda. Con le lampadine LED Philips SceneSwitch potrai ottenere diversi scenari luminosi con una sola lampadina: scegli tra la forma a goccia, a oliva, o il faretto. Non avrai bisogno di dimmer! Ottimizza l'illuminazione per il relax, gli hobby, il divertimento o il lavoro. Dovrai solo utilizzare l'interruttore. Quello che hai già! Non importa quale lampadina SceneSwitch sceglierai perché sono tutte flessibili, con varie impostazioni di illuminazione. Inoltre, funzionano tutte con l'interruttore esistente. Non è necessaria nessun'altra installazione.

Vantaggi

- Più impostazioni di luce in un'unica lampada
- "Plug-and-play"
- Chip di memoria integrato

Caratteristiche

- Basta utilizzare l'interruttore esistente per creare atmosfere personalizzate con una sola lampada
- Non è necessario installare dimmer o altre apparecchiature
- Memorizzazione automatica: per richiamare automaticamente le ultime impostazioni

Applicazione

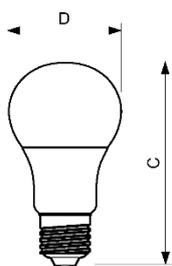
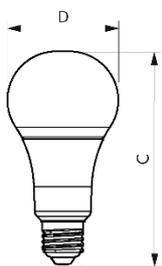
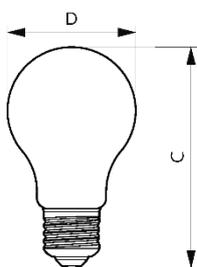
- Applicazioni per interni in apparecchi aperti (con uno spazio aperto/libero di min. 10 mm)
- Illuminazione d'accento e generale (ad esempio, hotel, punti vendita e uffici)

SceneSwitch LEDbulbs

Versions



Disegno tecnico



Product	D	C
LEDClassic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	60 mm	104 mm

Product	D	C
LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	71,1 mm	139,1 mm
LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/6	71,1 mm	139,1 mm

Product	D	C
LED Scene Switch 60W A60 E27 WW FR ND 1SRT4	61 mm	111 mm

SceneSwitch LEDbulbs

Disegno tecnico

1 - D -

Product	D	C
LED Scene Switch 60W A60E27WW-CW FR ND SRT4	61 mm	111 mm

Approvazione e applicazione

Marchio di efficienza energetica (EEL) **A+**

Controlli e regolazione del flusso

Regolabile **No**

Funzionamento e parte elettrica

Frequenza di Ingresso **0-50 a 60 Hz**

Tensione (Nom) **220-240 V**

Tempo di salita (Nom) **0,5 s**

Informazioni generali

Attacco **E27**

Durata nominale (Nom) **15000 h**

Dati tecnici di illuminazione

Indice di resa del colore (Nom) **80**

LUMEn alla durata nominale (Nom) **70 %**

Approvazione e applicazione

Order Code	Full Product Name	Consumo energetico kWh/1000 h
58884002	LED Scene Switch 60W A60E27WW FR ND SRT4	8 kWh
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/S	14 kWh
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/S	14 kWh
74309602	LED Classic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	8 kWh
59837502	LED Scene Switch 60W A60E27WW-CW FR ND SRT4	8 kWh

Funzionamento e parte elettrica

Order Code	Full Product Name	Wattaggio equivalente	Potenza (Specificata) (Nom)
58884002	LED Scene Switch 60W A60E27 WW FR ND 1SRT4	60 W	8-5-2 W
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/S	100 W	14,7/35 W
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/S	100 W	14 W

Order Code	Full Product Name	Wattaggio equivalente	Potenza (Specificata) (Nom)
74309602	LED Classic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	-	75-3-1,6 W
59837502	LED Scene Switch 60W A60E27 WW-CW FR ND SRT4	60 W	8 W

Informazioni generali

Order Code	Full Product Name	Ciclo di commutazione on/off
58884002	LED Scene Switch 60W A60E27 WW FR ND 1SRT4	100.000 X

Order Code	Full Product Name	Ciclo di commutazione on/off
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/S	100.000 X

SceneSwitch LEDbulbs

Order Code	Full Product Name	Ciclo di commutazione on/off
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	100.000 X
74309602	LEDClassic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	20.000 X

Order Code	Full Product Name	Ciclo di commutazione on/off
59837502	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	100.000 X

Dati tecnici di illuminazione

Order Code	Full Product Name	Angolo del fascio (Nom)	Codice colore	Temperatura di colore correlata (Nom)	Flusso luminoso (Nom)
58884002	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW FR ND 1SRT4	-	827/825/822	2700/2500/2200 K	806-320-80 lm
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/6	150 °	827/825/822	2700/2500/2200 K	1521/600/150 lm
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	150 °	827/840	2700/4000 K	1521 lm

Order Code	Full Product Name	Angolo del fascio (Nom)	Codice colore	Temperatura di colore correlata (Nom)	Flusso luminoso (Nom)
59837502	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	-	827/840	2700/4000 K	806 lm
74309602	LEDClassic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	-	827/825/822	2700/2500/2200 K	806-320-150 lm

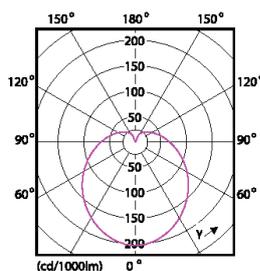
Meccanica e corpo

Order Code	Full Product Name	Finitura lampadina	Forma lampadina
58884002	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW FR ND 1SRT4	Smerigliata	A60
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/6	Smerigliata	A67
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	Smerigliata	A67

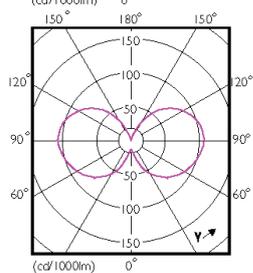
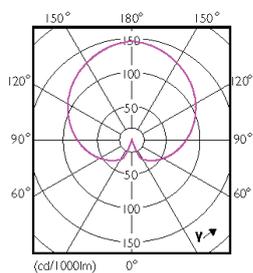
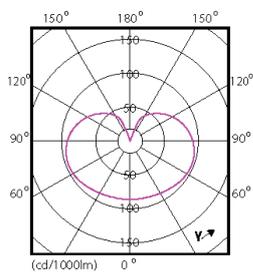
Order Code	Full Product Name	Finitura lampadina	Forma lampadina
74309602	LEDClassic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	Trasparente	A60
59837502	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	Smerigliata	A60

Temperatura

Order Code	Full Product Name	Temp. massima involucro (Nom)
58884002	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW FR ND 1SRT4	80 °C
70679400	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW FR ND 1BC/6	90 °C
70683100	LED Scene Switch 100W A67 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	90 °C
74309602	LEDClassic SSW 60W A60 E27 WW CL ND 1SRT	65 °C
59837502	LED Scene Switch 60W A60 E27 WW-CW FR ND 1BC/6	85 °C



SceneSwitch LEDbulbs



© 2020 Signify Holding Tutti i diritti riservati. Signify non fornisce alcuna rappresentazione o garanzia relativamente all'accuratezza o alla completezza delle informazioni incluse e non può essere ritenuta responsabile di eventuali azioni basate su di esse. Le informazioni riportate nel presente documento non hanno alcuno scopo commerciale e non fanno parte di alcun preventivo o contratto, salvo diversamente concordato con Signify. Tutti gli altri marchi sono di proprietà di Signify Holding o dei rispettivi proprietari.

www.lighting.philips.com

2020, Febbraio 11 - Dati soggetti a modifiche

Allegato 2





LAMILUX EFC SMOKE-LIFT, SERIE M

Questo EFC ha il sistema di battenti ideali per assicurare la funzione di evacuazione di fumo e calore nei lucernari in vetro di LAMILUX. Possibilità di posa con inclinazioni da 0° a 90°.

PARAMETRI DI TEST AI SENSI UNI EN 12101-2 E RISULTATI DEI TEST

I nostri ENFC aprono affidabilmente il lucernario in posizione di evacuazione fumi in soli 60 secondi...

	...e assicurano la fuoriuscita di grandi quantità di fumo	Coefficiente di efflusso Cv da 0,56 a 0,70 Superficie utile d'apertura A _u (Sua) da 0,14 m ² a 6,00 m ²
	...dopo il test di durata (1000 volte in posizione di evacuazione fumi e 10.000 volte in posizione di aerazione)	RE 50/1000 + 10.000 aperture per aerazione
	...sotto l'azione della neve	Da SL 500 a SL 1000
	...in caso di gelo con temperature interne fino a -5°C	T(00) T(-05) T(-15)
	...sotto l'azione del vento (fino a 150 kg/m ²)	WL 1500
	...in caso di incendio	B300

VANTAGGI

EFC smoke-lift M

- Larghezza e altezza dei battenti a scelta
- (fino a 2,50 m per battenti di dimensioni massime di 3,00 m² con lastra in vetro / con policarbonato fino a 3,50 m²)
- Conforme alla norma europea EN 12101-2 per gli evacuatori di fumo e calore
- Scelta degli attuatori: sistema pneumatico o elettrico 24V
- Ideale anche per interventi di risanamento di vecchi lucernari in vetro perché può essere integrato in sistemi di altri produttori



Lumira[®] Translucent Aerogel

LA1000, 2000



The superior properties of translucent Lumira aerogel, make it the obvious choice for insulating a wide variety of daylighting systems from glass to polycarbonate. Its light transmitting nature and superior thermal mean enhanced energy efficiency while enabling a wide range of commercial and residential building design choices. Benefits include:

- Hydrophobic/water repellent
- UV stability
- Sound absorption
- Thermal insulation
- High light transmission
- Lightweight
- Non-combustible
- Inert



Cabot aerogel is safe for human and ecological systems, and is manufactured with little to no impact on the environment. It holds Silver Cradle to Cradle certification from McDonough Braungart Design Chemistry. This stringent independent certification process examines a product's manufacturing characteristics and ecological impact, aiming to eliminate waste entirely and create a healthy and sustainable society. Cabot certifies it has completed the EU REACH pre-registrations required for all Cabot aerogel products.

Cabot aerogel is safe for human and ecological systems, and is manufactured with little to no impact on the environment. It holds Silver Cradle to Cradle certification from McDonough Braungart Design Chemistry. This stringent independent certification process examines a product's manufacturing characteristics and ecological impact, aiming to eliminate waste entirely and create a healthy and sustainable society. Cabot certifies it has completed the EU REACH pre-registrations required for all Cabot aerogel products.

Product features

Particle size range	0.7 - 4.0mm
Pore diameter	~20nm
Porosity	>90%
Particle density	120 - 150kg/m ³
Bulk density	65 - 85kg/m ³
Surface chemistry	Hydrophobic
Surface area	600 - 800m ² /g
Light transmission	>90% per cm
Thermal conductivity	18mW/mK @ 85kg/m ³ @ 12.5°C 23 mW/mK @ 65kg/m ³ @ 12.5°C
CAS RN	102262-30-6



NORTH AMERICA
Cabot Corporation Business and Technical Center
167 Concord Road
Billerica, MA 01821-7001 USA
TEL 800 462 2313
FAX +1 978 670 7035

EUROPE
Cabot Specialty Chemicals
Interleuvenlaan 15
3001 Leuven, BELGIUM
TEL +32 16 39 24 51
TEL +32 16 39 24 13
FAX +32 16 39 24 44

ASIA PACIFIC
Cabot China Ltd.
558 Shuangbai Road
Shanghai 201109, CHINA
TEL +86 21 5175 8800
FAX +86 21 6434 5532

JAPAN
Cabot Specialty Chemicals, Inc.
Sumitomo Chiba-Daimon Idg. 3F
2-5-5 Shiba Daimon, Minato-Ku,
Tokyo 105-0012, JAPAN
TEL +81 3 6820 0255
FAX +81 3 5425 4600

This information is provided as a convenience and for informational purposes only. No guarantee or warranty as to this information, or any product to which it relates, is given or implied. Cabot disclaims all warranties express or implied, including merchantability or fitness for a particular purpose as to (i) such information, (ii) any product or (iii) intellectual property infringement. In no event is Cabot responsible for, and Cabot does not accept and hereby disclaims liability for, any damages whatsoever in connection with the use of or reliance on this information or any product to which it relates.

Lumira aerogel is a registered trademark of Cabot Corporation. C2C is a certification mark of MBDC.

©2013 Cabot Corporation. All rights reserved worldwide.

Allegato 4

Scheda Prodotto

FOAMGLAS® T3+

Pagina: 1 Data: 01.03.2020 Sostituisce: 12.03.2018 www.foamglas.com



FOAMGLAS® T3+ è disponibile in due dimensioni

Imballaggio di consegna (contenuto per pacco)

Lunghezza x Larghezza [mm]	600 x 450							
Spessore [mm]	50	60	70	80	90	100	110	120
Unità per pacco	10	8	7	6	6	5	5	4
Metri quadrati [m ²]	2.70	2.16	1.89	1.62	1.62	1.35	1.35	1.08
Lunghezza x Larghezza [mm]	600 x 450							
spessore [mm]	130	140	150	160	170	180	190	200
Unità per pacco	4	4	3	3	3	3	3	3
Metri quadrati [m ²]	1.08	1.08	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81	0.81
Lunghezza x Larghezza [mm]	1200 x 600							
spessore [mm]	80	100	120	140	150	160	180	
Unità per pallet	24	18	16	14	12	12	10	
Metri quadrati [m ²]	17.28	12.96	11.52	10.08	8.64	8.64	7.20	

Altre dimensioni e spessori sono disponibili su richiesta.

* Non in singoli pacchi, ma tutti i pannelli in una palette.

Caratteristiche generali del vetro cellulare FOAMGLAS®

Descrizione	: Il vetro cellulare FOAMGLAS® è prodotto a partire da vetro riciclato altamente selezionato (≥ 60%)* e materie prime molto abbondanti in natura (sabbia, dolomite, calcare...). È totalmente inorganico, non contiene propellenti che assottigliano lo strato di ozono, additivi ignifughi, leganti o altre sostanze volatili. Senza VOC o altre sostanze volatili.
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	: Materiale conforme alla norma Euroclasse A1, incombustibile, non sviluppa fumi tossici
Temperature di utilizzo	: da -265°C a +430°C
Resistenza alla diffusione del vapore	: μ = ∞ (EN ISO 10456)
Idroscopicità	: nessuna
Capillarità	: nessuna
Punto di fusione	: >1000 °C (cf DIN 4102-17)
Coefficiente di dilatazione termica	: 9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹ (EN 13471)
Capacità di ritenzione del calore	: 1000 J/(kg·K) (EN ISO 10456)
Caratteristiche del FOAMGLAS®	:





FOAMGLAS® T3+

Pagina: 2 Data: 01.03.2020 Sostituisce: 12.03.2018 www.foamglas.com

1. Caratteristiche del prodotto secondo la norma EN 13167 ¹⁾

Densità (± 15%) (EN 1602)	: 100 kg/m ³
Spessore (EN 823) ± 2 mm	: da 50 fino a 200 mm (vedi tabella pagina 1)
Lunghezza (EN 822) ± 2 mm	: 600 mm
Larghezza (EN 822) ± 2 mm	: 450 mm o 1200 mm
Conducibilità termica (EN ISO 10456)	: $\lambda_D \leq 0.036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Comportamento al fuoco (EN 13501-1)	: Euroclasse A1
Punto di carico (EN 12430)	: PL $\geq 1.5 \text{ mm}$
Resistenza alla compressione (EN 826 allegato A)	: CS $\geq 500 \text{ kPa}$
Resistenza alla flessione (EN 12089)	: BS $\geq 400 \text{ kPa}$
Resistenza a trazione (EN 1607)	: TR $\geq 150 \text{ kPa}$
Scorrimento viscoso a compressione (EN 1606)	: CC (1.5/1/50) 225

¹⁾ La marcatura CE assicura la conformità con i requisiti fondamentali obbligatori sui prodotti da costruzione come indicati nella norma EN 13167; entro il quadro della certificazione CEN Keymark tutte le menzionate caratteristiche sono certificate da un organismo abilitato, notificato e accreditato.

2. Altre caratteristiche nazionali (Svizzera) del prodotto

Resistenza alla compressione [N / mm²]

Resistenza media alla compressione ¹⁾	: 0,65 – 0,68
Valore frattile 2,5 % ²⁾	: 0,51
Valore frattile 7,5 % ³⁾	: 0,55
Carico utile ammesso	
– sicurezza strutturale ⁴⁾	: 0,29
– determinante per l'usabilità ⁵⁾	: 0,31

Descrizione delle resistenze alla compressione (σ_{zul} [N/mm²])

- ¹⁾ Affidabilità 95%
- ²⁾ Valore non raggiunto con una frequenza del 2,5%; livello di affidabilità 95%
- ³⁾ Valore non raggiunto con una frequenza del 7,5%; livello di affidabilità 95%
- ⁴⁾ quale elemento integrante del sistema portante primario, sotto fondamento,
- ⁵⁾ $\gamma_s > 1,75$, riferito a un valore frattile del 2,5% sotto pavimenti flottanti e lastre di ripartizione del carico, ev. supplemento di spinta incluso, $\gamma_s > 1,75$, riferito a un valore frattile del 7,5%

Dichiarazione Ambientale di Prodotto (ISO 14025 e EN 15804)	: EPD-PCE-20150042-IBA1-DE
Certificato natureplus	: 0406-1101-101-1
Valutazione Eco-Bau	: eco 1, eco 2

3. Campi di Applicazioni



Coibentazioni termiche: pareti perimetrali interrato, pavimenti, tetti piani

Molto adatto per MINERGIE-ECO
1. Priorità ECO-CPN: 211, 281, 224



Coibentazioni termiche: pareti esterne, interne, tetti a falda

Adatto per MINERGIE-ECO
2. Priorità ECO-CPN: 211, 214, 224, 271

* $\geq 60 \%$ del vetro riciclato è composto da vetro altamente selezionato, riciclato dopo il consumo e da scarti di produzione/co-prodotti, anch'essi altamente selezionati.

Scheda Prodotto



FOAMGLAS® BOARD T4+

Pagina: 1 Data: 01.01.2019 Sostituisce: 00.00.0000 www.foamglas.com



FOAMGLAS® BOARD T4+ è costituito da lastre di FOAMGLAS® T4+ incollate. La parte superiore è rivestita con uno strato giallo di rinforzo in fibra di vetro e la parte inferiore di un velo bianco.

Imballaggio di consegna (contenuto per pacco)

Lunghezza x larghezza [mm]	1200 x 600									
Spessore [mm]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
Unità	6	5	4	4	3	3	3	2	2	
Metri quadrati [m ²]	4,32	3,60	2,88	2,88	2,16	2,16	2,16	1,44	1,44	

Lunghezza x larghezza [mm]	1200 x 600									
Spessore [mm]	130	140	150	160	170	180	190	200		
Unità	2	2	2	2	14*	14*	12*	12*		
Metri quadrati [m ²]	1,44	1,44	1,44	1,44	10,08	10,08	8,64	8,64		

Altre dimensioni e spessori sono disponibili su richiesta.
* Non in singoli pacchi, ma tutti i pannelli in una paletta.

Caratteristiche generali dell'isolante termico FOAMGLAS®

Descrizione	: L'isolante FOAMGLAS® è prodotto a partire da vetro riciclato altamente selezionato (≥ 60 %) e materie prime particolarmente abbondanti in natura (sabbia, dolomite, calcare ...). FOAMGLAS® è completamente inorganico, non contiene propellenti che assottigliano lo strato di ozono, additivi ignifughi o leganti. Senza VOC o altre sostanze volatili.
Reazione al fuoco (EN 13501-1)	: Vetro cellulare conforme alla norma Euroclasse A1, incombustibile, non sviluppa fumi tossici
Temperature di utilizzo	: da -265 °C a +430 °C
Resistenza alla diffusione del vapore	: $\mu = \infty$ (EN ISO 10456)
Igroscopticità	: nessuna
Capillarità	: nessuna
Punto di fusione	: >1000 °C (cf. DIN 4102-17)
Coefficiente di dilatazione termica	: $9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (EN 13471)
Capacità di ritenzione del calore	: 1000 J/(kg·K) (EN ISO 10456)
Caratteristiche del FOAMGLAS®	



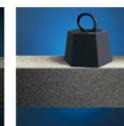
Conducibilità stabile nel tempo



Impemeabile



Resistente ai parassiti



Resistente alla compressione



Resistente agli acidi



Incombustibile



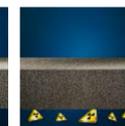
Resistente al vapore



Stabilità di forma



Ecologico



Protezione dal radon



FOAMGLAS® BOARD T4+

Pagina: 2 Data: 01.01.2019 Sostituisce: 00.00.0000 www.foamglas.com

1. Caratteristiche del prodotto secondo la norma EN 13167 ¹⁾

Peso specifico apparente ($\pm 10\%$) (EN 1602)	: 115 kg/m ³
Spessore (EN 823) ± 2 mm	: da 40 fino a 200 mm
Lunghezza (EN 822) ± 5 mm	: 1200 mm
Larghezza (EN 822) ± 2 mm	: 600 mm
Conducibilità termica (EN ISO 10456)	: $\lambda_D \leq 0,041$ W/(m·K)
Comportamento al fuoco (EN 13501-1)	: Euroclasse E (vetro cellulare conforme alla norma Euroclasse A1)
Carico puntuale (EN 12430)	: PL $\leq 1,5$ mm
Resistenza alla compressione (EN 826 allegato A)	: CS ≥ 600 kPa
Resistenza alla flessione (EN 12089)	: BS ≥ 450 kPa
Resistenza a trazione (EN 1607)	: TR ≥ 150 kPa

¹⁾ La marcatura CE assicura la conformità ai requisiti fondamentali obbligatori della direttiva sui prodotti da costruzione come indicato nella norma EN 13167; nel quadro della certificazione CEN Keymark tutte le summenzionate caratteristiche sono certificate da un organismo abilitato, notificato e accreditato.

2. Altre specifiche nazionali

Resistenza alla compressione [N/mm ²]		Descrizione delle resistenze alla compressione ($\sigma_{ammisibile}$ [N/mm ²])
Resistenza media alla compressione ¹⁾	: 0,79 – 0,81	¹⁾ Affidabilità 95%
Valore frattile 2,5 % ²⁾	: 0,64	²⁾ Valore non raggiunto con una frequenza del 2,5%; livello di affidabilità 95%
Valore frattile 7,5 % ³⁾	: 0,68	³⁾ Valore non raggiunto con una frequenza del 7,5%; livello di affidabilità 95%
Carico utile ammesso		⁴⁾ quale elemento integrante del sistema portante primario, sotto fondamento, $\gamma_s > 1,75$, riferito a un valore frattile del 2,5%
– sicurezza strutturale ⁴⁾	: 0,36	⁵⁾ sotto pavimenti flottanti e lastre di ripartizione del carico, ev. supplemento di spinta incluso, $\gamma_s > 1,75$, riferito a un valore frattile del 7,5%
– determinante per l'usabilità ⁵⁾	: 0,39	
Modulo d'elasticità [N/mm ²], (in compressione)	: 90 a secco (su sabbia o pietrisco)	
Diffusività termica a 0 °C	: $3,5 \times 10^{-7}$ m ² /sec	

3. Campi di applicazione

Applicazioni con sollecitazioni meccaniche leggero:

- Facciate (quale isolante interno tra pareti doppie, quale isolante fra 2 murature in calcestruzzo)
- Isolamento interno (fra pareti o costruzioni di rivestimento)
- Isolamento di pavimenti

MW Fassadendämmplatte

Pannello in lana di roccia doppia densità



Descrizione del Prodotto

Descrizione	Pannello isolante per utilizzo in facciata, ottimizzato in termini di isolamento termico, acustico, altamente diffusivo al vapor d'acqua ed ininfiammabile.
Campo di Applicazione	Sistemi di isolamento termico a cappotto Capatect Special System Line. Facciata.
Proprietà del materiale	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ottimo isolamento estivo ■ Buon isolamento invernale ■ Ottima traspirabilità
Tipo di prodotto/Veicolo	Lana di roccia doppia densità
Imballaggi	Dimensione pannello: 120 x 60 cm Spessori da 60 a 280 mm Passo 20 mm
Magazzinaggio	Conservare i pannelli in un luogo asciutto (fare attenzione in particolare all'eventuale umidità del pavimento) in posizione orizzontale.
Dati tecnici	Secondo EN 13162 e EN 13500

Dato	Valore
Conducibilità termica	$\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$
Compressione (10%)	15 kPa
Trazione	7,5 kPa
Densità	78 kg/m^3 (120 - 70)
Res. diffusione vapore	$\mu = 1,4$
Calore specifico	1030 J/kgK
Euroclasse Reazione al fuoco	A1



Scheda Tecnica MW Fassadendämmplatte

Applicazione

Supporti idonei	I pannelli possono essere incollati su intonaci minerali nuovi, vecchi rivestimenti e pitture portanti, in generale su tutti i supporti piani.
Preparazione del substrato	I supporti devono essere puliti, asciutti, stabili, portanti e privi di sostanze che potrebbero inibire una corretta adesione. Rimuovere residui di olio o disarmanti, sporco e sbavature di malte. Rimuovere rivestimenti precedenti sfaldati, non portanti e non completamente aderenti il più possibile in maniera accurata. Intonaci con cavità vanno lavorati, riparati e riempiti a filo della superficie. Pulire accuratamente supporti sfarinanti, sabbianti o fortemente assorbenti; applicare una mano di idoneo fissativo.
Incollaggio di pannelli isolanti	Applicare sul pannello una striscia di collante di 5 cm di larghezza lungo tutti i bordi, collocare al centro due o tre cumuli di collante delle dimensioni di una mano. La quantità di collante applicata e l'altezza della striscia variano a seconda delle tolleranze del supporto, in modo da ottenere una superficie di contatto incollata $\geq 40\%$. Lo spessore del collante è normalmente di 1 cm, consentendo una tolleranza massima (scostamenti di planarità) di cm 1,5 sul supporto. Un'ulteriore possibilità è l'applicazione meccanica parziale: la malta deve essere applicata meccanicamente a spruzzo, formando una serie di strisce (distanza 10 cm circa) sulla parete. La superficie di contatto incollata dei pannelli isolanti deve essere $\geq 50\%$.
Posa e giunzione	Per l'incollaggio fare riferimento alla relativa Scheda Tecnica del collante. Posare i pannelli dal basso verso l'alto facendoli aderire tra loro pressando. Rimuovere gli eventuali residui di malta collante fuoriuscita dai lati.

Avvertenze

Smaltimento	Smaltire il prodotto e il relativo imballo secondo le vigenti normative locali/nazionali. Porre particolare attenzione nel caso di smaltimento di sfridi di materiale in cantiere: attenersi alle procedure standard previste.
Ulteriori informazioni	Voci di capitolato Capatect MW Fassadendämmplatte Lastre isolanti in lana di roccia specifiche per cappotto di tipo bi-densità, con resistenza a compressione (10% di deformazione) 15 kPa, resistenza a trazione 7,5 kPa, densità 78 Kg/m ³ (70 Kg/m ³ corpo pannello, 120 Kg/m ³ parte corticale esterna), prodotto in conformità alla norma UNI 13162 e rispondenti alle norme ETICS, ininflammabili – classe A1 secondo UNI EN ISO 11925-2, conducibilità termica $\lambda = 0,035$ W/mK secondo UNI EN 12667, calore specifico 1030 J/kgK, coefficiente di diffusione al vapore $\mu = 1,4$, delle dimensioni di cm 60x120

Aggiornamento: marzo 2019

La presente Scheda Tecnica è stata redatta sulla base dello stato attuale della tecnica e delle nostre esperienze. Per quanto riguarda i numerosi sottofondi e le differenti condizioni degli elementi da trattare, l'acquirente/applicatore non viene esonerato dal suo dovere di verificare in modo professionale ed artigianale, e di propria responsabilità, l'idoneità dei nostri prodotti per lo scopo d'impiego voluto, nelle condizioni in cui si trova il manufatto. Alla pubblicazione di una nuova edizione, il presente stampato perde la sua validità.

Consulenza tecnica In questo documento non è possibile analizzare tutti i fondi in pratica esistenti e il loro trattamento di rivestimento. Per i casi difficili o dubbi, consultate il nostro servizio di Assistenza Tecnica.

DAW Italia GmbH & Co KG – Marchio Caparol - Largo R. Murjahn, 1 - 20060 Vermezzo (MI) - Tel. +39 02 9485521 - fax +39 02 948552297 - email: info@dawitalia.it - web: www.dawitalia.it