



POLITECNICO DI MILANO

Facoltà Di Ingegneria Edile - Architettura

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile-Architettura

T . I . N . - T i n B u i l d i n g

Tall Innovative Natural

Relatore:

Prof. Ing. Gabriele MASERA

Co-relatori:

Prof. Ing. Matteo COLOMBO

Ing. Graziano SALVALAI

Ing. Giulio ZANI

Tesi di Laurea di:

Francesca CASCIAROLI

Matr. 679118

Marco Ugo VISMARA

Matr. 668506

Abstract

Il lavoro di tesi presentato in questo volume, tratta la progettazione di un isolato al limitare del centro città di Bruxelles, concentrando l'attenzione sull'edificio alto, destinato a contenere un hotel e degli uffici.

La proposta progettuale si pone come una possibile risposta al dibattito in corso da anni sull'utilizzo dell'ilot 24, un isolato dalle grandi potenzialità poco sfruttate. Tenendo conto delle esigenze attuali della città, si propone una svolta urbanistica dal carattere forte, con l'obiettivo di fornire nuovi stimoli per un possibile futuro sviluppo.

All'interno del complesso, l'attenzione si focalizza sull'edificio a torre, toccando tutti gli aspetti e le problematiche relative alla progettazione e alla realizzazione di un edificio alto, al fine di proporre strategie concretamente applicabili.

Data la complessità dell'edificio e l'interazione tra i vari ambiti progettuali, sin dalle fasi di concezione si è proceduto tenendo conto parallelamente di molteplici aspetti che in una fase successiva sono stati poi ottimizzati e sviluppati: alcune tematiche, meritevoli di approfondimento, sono state affrontate con la consulenza mirata di esperti interni ed esterni all'ateneo.

In quest'ottica è stato pensato il T.I.N.-Tin Building: una progettazione sinergica tra tecnologia e funzionalità, ingegneria ed architettura.

Una visione globale dell'edificio è dunque alla base di tutte le scelte effettuate:

l'utilizzo di solette in c.a. gettato in opera consentono una grande libertà compositiva, la possibilità di attivare la massa e di avere grandi aggetti che, oltre alla valenza architettonica, permettono di gestire al meglio l'ombreggiamento della facciata;

la concezione di giardini pensili e il verde guarda oltre l'elemento decorativo, generando ambienti più piacevoli e garantendo una riduzione della radiazione solare incidente sulle facciate con una conseguente diminuzione dei carichi interni. Si innescano inoltre processi di fito-depurazione delle acque, un miglioramento dell'aria respirata e la creazione di isole verdi nella città;

il vetro, elemento principale dell'involucro, rispondente ad esigenze estetiche e di comfort visivo, rende più complessa la gestione energetica dell'edificio, offrendo però la possibilità, facendone un uso consapevole, di ottenere risposte mirate ad esigenze specifiche.

Questi sono solo alcuni esempi delle tematiche sviluppate nella progettazione del T.I.N.-Tin Building, mirate a ottenere un edificio alto, tecnologicamente innovativo e dal ridotto impatto ambientale.

T.I.N.-Tin Building: Tall Innovative Natural

Abstract

The thesis work presented in this dissertation covers the redesign of a property on the edge of Brussels city centre, focusing attention on the tall building designed for hotel and offices.

The project proposal shows a possible response to the many years of long debate over the usage of ilot 24 (an underused block with great potential). Taking into consideration the current city needs, a strong urban turning point is proposed aimed to provide new opportunities for possible future development.

By focusing on the tower building all the problems and considerations applicable to the design and construction of a tall building were highlighted in order to make realistic proposals.

Given the complexity of the building and the interaction between different project areas, the process started from the conceptual phase, iteratively and incrementally taking into consideration multiple facets; in a later stage these facets have been further developed and optimized.

With the assistance of consulting experts, both internal and external to the university, on some topics that require in-depth examination, have been developed.

The T.I.N.- Tin Building was thought from the perspective of a synergistic combination of technology and functionality, engineering and architecture.

Thus a holistic view of the building is the foundation of any proposals presented:

the use of reinforced concrete slabs allow for great freedom of floor layout, possibly activating the concrete core and creating large projections that, beyond the architectural aspect, allow improved shadowing of the facade;

The concept of hanging gardens and green areas looks beyond the decorative aspect, producing environments more pleasant to live in and securing the reduction of solar radiation hitting the facade with a consequent reduction of internal thermal load. Moreover, the processes of water phytodepuration, an improvement of air quality and the creation of green areas in the city have been triggered;

Glass, the main element of the building's shell, is used to meet the aesthetic and visual comfort needs, has the drawback of the increase in energy management complexity, but at the same time offers the possibility, if used properly, to obtain targeted responses to specific needs.

These are only some of the facets developed during the design of the T.I.N. - Tin Building, aimed at obtaining a technological advanced high building with low environmental impact.

T.I.N.-Tin Building: Tall Innovative Natural

Ringraziamenti

Si ringraziano per il contributo offerto alla stesura della presente tesi e per l'interesse costantemente mostrato:

Il Prof. Masera per la fiducia nei nostri confronti durante tutto lo svolgimento della tesi, per la pazienza e la continua disponibilità, per averci sostenuto, fornito gli strumenti ed i consigli necessari per affrontare al meglio questo ultimo percorso di vita universitaria

L'Ing. Colombo e l'Ing. Zani per le importanti competenze tecnico-scientifiche in ambito strutturale, per la particolare attenzione dedicata al progetto e per l'incredibile disponibilità con cui siamo stati seguiti e supportati

L'Ing. Salvalai per la fiducia espressa durante tutto lo svolgimento della tesi e per averci guidato con i suoi preziosi consigli e con il suo entusiasmo

L'Ing. Pittau per l'aiuto nel fornirci gli strumenti per affrontare le problematiche inerenti il tema dei ponti termici

L'Ing. Galmozzi per averci pazientemente seguito nella progettazione impiantistica

L'Arch. Giamporcaro per la gentile consulenza determinante nella scelta delle essenze arboree e

L'Ing. Rigone per quella riguardante la facciata a doppia pelle

L'Arch. Lutman , l'Ing. Cavagnoli (KONE) e l'Ing. Lungarini (VELTA) per essere stati estremamente disponibili nel rispondere ai nostri quesiti

Indice generale

Indice delle figure	XI
Indice dei grafici	XXVII
Indice delle tabella	XXXIII
Indice delle tavole	XLI
CAPITOLO 01	1
1.1 Inquadramento geografico e contesto urbano	3
1.1.1 Il Belgio stato federale	4
1.1.2 La regione di Bruxelles Capitale	5
1.2 Il contesto climatico	7
1.2.1 Generalità	7
1.2.2 Il vento	7
1.2.3 La temperatura dell'aria	8
1.2.4 Le precipitazioni	10
1.2.5 L'irraggiamento solare	11
1.3 Evoluzione storica	15
1.3.1 XII-XIV secolo	15
1.3.2 XIV-XVII secolo	16
1.3.3 XVIII-XIX secolo	18
1.3.5 Le estensioni oltre il Pentagono	23
1.3.6 XIX-XX secolo	28
1.3.7 Il quartiere Europeo	30
1.3.8 Lo stato attuale	31
1.4 Presentazione del sito di progetto	33
1.4.1 Il boulevard de Waterloo e l'avenue de la Toison d'Or	34
1.4.2 L'Ilot 24	35
CAPITOLO 02	37
2.1 Premessa	39
2.2 Normativa di riferimento	39
2.3 Il Percorso progettuale	40
2.3.1 Indagini ed analisi	40
2.3.2 Obiettivi urbanistico-sociologici	55
2.3.3 Il verde urbano ed architettonico	59
2.3.4 Strategie	62
2.3.5 Scelte tipologiche	64
2.3.6 Scelte architettoniche	67
2.4 Il T.I.N.-Tin Building	73
2.4.1 La tipologia a Torre	73
2.4.2 Riferimenti architettonici	75
2.4.3 Scelte progettuali	79
2.4.4 Strategie	82
2.4.5 Distribuzione	85

2.4.6 L'hotel	87
2.4.7 Gli uffici	98
2.4.8 La Sky-Square	101
2.4.9 Dimensionamento elementi distributivi verticali	103
ALLEGATI	111
CAPITOLO 03	113
3.1 Premessa	115
3.2 Le coperture verdi	116
3.2.1 I vantaggi ambientali	116
3.2.2 I vantaggi economici	118
3.2.3 Vantaggi estetico-sociali	119
3.2.4 Le possibilità tipologiche	119
3.2.5 Scelte progettuali	122
3.3 Le facciate vegetali	129
3.3.1 Vantaggi delle facciate verdi	129
3.3.2 Sistemi di sostegno	130
3.3.3 Scelte progettuali	132
3.4 Sky-Garden	133
3.5 Conclusioni	135
ALLEGATI	137
CAPITOLO 04	139
4.1 Premessa	141
4.2 Riferimenti normativi	141
4.3 Il progetto antincendio	142
4.4 L'albergo : D.M. 6 ottobre 2003	144
4.4.1 Carico antincendio camera comfort	150
4.5 Gli uffici : D.M. 22 febbraio 2006	153
4.5 L'antincendio negli edifici a doppia pelle	157
4.6 Conclusioni	158
CAPITOLO 05	159
5.1 Premessa	161
5.2 Normativa di riferimento	162
5.3 Concezione strutturale	162
5.4 Analisi dei carichi	164
5.4.1 Carichi permanenti	164
5.4.2 Sovraccarichi	165
5.4.3 Neve	166
5.4.4 Azione del vento	167
5.4.5 Vita nominale	173
5.4.6 Classi d'uso	173
5.4.7 Periodo di riferimento dell'azione sismica	174
5.5 Predimensionamenti e dimensionamenti	175
5.5.1 Solai a Piastra bidirezionale	175
5.5.2 Pilastrini	176
5.5.3 Nuclei controvento	179

5.5.4 Conclusioni predimensionamento	179
5.6 Modelli di calcolo numerico per l'analisi strutturale	180
5.7 Modello numerico del solaio a piastra	181
5.7.1 Verifica degli spostamenti	184
5.7.2 Verifica dei momenti	188
5.7.3 Calcolo locale dell'armatura	189
5.7.4 Il punzonamento	190
5.8 Modello numerico per analisi comportamento a sollecitazione dell'azione eolica	192
5.8 Modello numerico per analisi comportamento a sollecitazione dell'azione sismica	196
5.8.1 Formule empiriche per il calcolo del periodo proprio (elemento di confronto)	197
5.8.2 Calcolo del periodo proprio tramite modello in Straus	197
5.8.3 Analisi con forze statiche equivalenti	199
5.8.4 Analisi dinamica multimodale con spettro di risposta	199
5.10 Conclusioni	203
CAPITOLO 06	205
6.1 Premessa	207
6.2 Riferimenti normativi	207
6.2 L'involucro opaco	208
6.2.1 Tecnologia stratificata a secco	208
6.2.2 Termoigrometria	208
6.2.3 Soluzioni	214
6.3 Fabbisogno energetico per il riscaldamento e raffrescamento	231
6.3.1 Guadagni termici	231
6.3.2 Dispersioni termiche	239
6.3.3 Determinazione periodo di riscaldamento	246
6.3.4 Fabbisogni di energia termica per il raffrescamento	247
6.3.5 Fabbisogni di energia termica per il riscaldamento	248
6.3.6. Conclusioni	248
6.4 Analisi del ponte termico	249
6.4.1 Ponti termici nel T.I.N.-Tin Building	250
6.4.3 L'analisi costi-benefici	255
6.4.4 Conclusioni	263
6.5 L'involucro vetrato	267
6.5.1 Premessa	267
6.5.2 Lo spazio cuscinetto	270
6.5.3 Doppia pelle	283
6.5.4 Conclusioni	307
ALLEGATI	309
CAPITOLO 07	311
7.1 Premessa	313
7.2 Riferimenti normativi	313
7.3 Il sistema impiantistico	314
7.4 Tipologia impiantistica hotel	316
7.4.1 La Hall	317
7.4.2 Le stanze	318
7.4.3 Ristorante/Bar/Cucine	324

7.4.4 La cucina	324
7.4.5 Il ristorante	326
7.5 Tipologia impiantistica uffici	329
7.6 TABS	333
7.6.1 Thermo Active Building System	333
7.6.2 Scelta dei TABS	336
7.6.3 Case studies	338
7.6.4 Applicazione attivazione della massa in Tin Tin Building	345
8.5.5 Dimensionamento e confronto dei risultati	347
7.6.7 Raffrescamento tramite ventilazione naturale notturna	359
7.6.8 Conclusioni	360
7.7 Il microeolico	361
7.7.1 Fattibilità in RBC	364
7.7.2 Applicazione	365
ALLEGATI	367
Bibliografia	373

Indice delle figure

01.01		
Posizione del Belgio all'interno dell'Europa e stati confinanti		3
01.02		
Posizione Bruxelles Capitale		3
01.03		
Divisione delle varie comunità presenti in Belgio		4
01.04		
19 municipalità che compongono la regione di Bruxelles-Capitale		5
01.05		
Localizzazione del Fiume Escaut.		15
01.06		
Il percorso Brugges-Colonia.		15
01.07		
Le due cinte murarie.		16
01.08		
La facciata dell' Hotel de Ville		16
01.09		
Place des Bailles, sulla Montagne de la Cour.		17
01.11		
Pianta topografica della città di Bruxelles, L.A. Dupuis, 1777		18
01.12		
Panorama di Bruxelles, 1850 circa.		19
01.13		
Il prolungamento a Nord della Rue Royale.		20
01.14		
L' Hotel de Ville, C.Dommershuizen, 1887		21
01.15		
La Maison Du Roi		21
01.16		
Le facciate della Grand-Place, F.J. Derons, 1727-1747.		21
01.17		
Piano per l'interramento della Senne, L.Suys, 1866		22
01.18		
Il giardino del Petit Sablon.		23
01.19		
La chiesa di Marie Du Sablon.		23
01.20		
Parco di Square Marie-Louise.		24
01.21		
Il parco del Cinquantenario nel 1880.		25

INDICE DELLE FIGURE

01.22		
L'avenue Louise nei primi anni del '900.		25
01.23		
Il lago del Bois de la Cambre, 1900.		25
01.24		
'Il prato degli inglesi'. al bosco della Cambre, 1900 circa, I.Hoeterickx		25
01.25		
Le estensioni della città di Bruxelles.		27
01.26		
La cascata del giardino a terrazze negli anni '50.		28
01.27		
Il parco della biblioteca reale.		28
01.28		
Lo scavo per la creazione della Stazione Centrale. 1913		29
01.29		
Vista della 'Petite Ceinture' a fianco del giardino botanico.		30
01.30		
Il centro città.		33
01.31		
I quartieri del centro.		33
01.32		
Punti di interesse vicini all'area di progetto.		34
01.33		
Vista dell'avenue de la Toison d'Or.		34
01.34		
Vista del boulevard de Waterloo, parte Nord.		35
01.35		
Immagine zenitale dell'area di progetto.		35
01.36		
Vista dell'Ilot 24 dall'Hotel Hilton.		36
01.37		
Vista dell'hotel Hilton dall'avenue de la Toison d'Or, di fronte all'area di progetto.		36
02.01		
Analisi delle funzioni a livello cittadino		40
02.02		
Analisi di attrattività turistica		41
02.03		
Analisi edifici con funzione ricettiva		41
02.04		
Analisi evoluzione storica espansione zona ad uso uffici		42
02.05		
Analisi edifici ad uffici con superficie maggiore di 100 mq		43

02.06		
Analisi edifici ad uffici.		43
02.07		
Analisi funzioni a livello del quartiere		44
02.08		
Analisi hotels a livello di quartiere		44
02.09		
Analisi edifici ad uffici: tipologia di impiantazione		45
02.10		
Analisi morfologica: i grattacieli a Bruxelles		46
02.12		
Analisi mobilità: i parcheggi		47
02.13		
Analisi mobilità: la metro e la ferrovia		48
02.14		
Analisi mobilità: li servizi pubblici		48
02.15		
Analisi mobilità: i percorsi ciclabili		49
02.16		
Analisi sostenibilità: termografia aerea		50
02.17		
Analisi sostenibilità: uffici con particolari caratteristiche di sostenibilità		50
02.18		
Analisi aree verdi		51
02.19		
L'interramento della circolazione in Boulevard de Waterloo.		55
02.20		
Struttura tipo 'rambla' prevista per il boulevard de Waterloo.		56
02.21		
Il percorso Est-Ovest.		57
02.22		
L'orangerie del Parc d'Egmont.		57
02.23		
Il Passage de Milan		57
02.24		
Il percorso attraverso il Parc d'Egmont: in giallo i passaggi esistenti, in verde i nuovi.		58
02.25		
Suddivisione dell'isolato		58
02.26		
Copertina del libro di Luc Schuiten, Vegetal city (bibliografia [32]).		59
02.27		
Esempio di biomimetismo secondo Luc Schuiten.		60

INDICE DELLE FIGURE

02.28		
Modello fisico di una tipica casa bruxellese riadattata secondo le teorie di Schuiten.		60
02.29		
Evoluzione vegetale della città di Bruxelles.		60
02.30		
Le aree verdi integrabili con il percorso Est-Ovest.		61
02.31		
Schematizzazione dei flussi sul boulevard e all'interno dell'isolato.		62
02.32		
Schematizzazione isolato aperto/isolato chiuso		62
02.33		
Illustrazione delle aree generate.		63
02.34		
Schematizzazione dei rischi di 'cul de sac' della piazza.		64
02.36		
Il corridore vasariano a Firenze.		64
02.36		
Schematizzazione dello sdoppiamento del flusso.		65
02.37		
Schematizzazione dei flussi, con evidenziamento dei volumi.		65
02.38		
Schematizzazione delle volumetrie.		66
02.39		
Planivolumetrico di progetto.		67
02.40		
Vista fotorealistica delle aree di relax lungo la camminata centrale del boulevard.		67
02.41		
Vista fotorealistica della piazza proveniendo dal boulevard de Waterloo, sul lato Nord.		68
02.42		
Vista fotorealistica dal boulevard de Waterloo.		68
02.43		
Vista fotorealistica della piazza e dell'area di progetto		69
02.44		
Piano degli accessi e dei percorsi pedonali.		70
02.45		
Piano degli accessi e dei percorsi veicolari (in giallo gli accessi ai parcheggi interrati)		70
02.46		
Sezione contestuale longitudinale sull'asse della piazza.		70
02.47		
Llewelyn-Davies-Yeang, 'Zorlu Ecocity', Istanbul.		75
02.48		
Hazmah&Yeang, 'Editt Tower', Singapore.		75

02.49	
Hazmah&Yeang, 'Chongqing Tower', Chongqing.	76
02.50	
Ken Yeang, 'Human Research Institute', Hong Kong.	76
02.51	
Murphy e Jahn, «Deutsche Post Towe», Berlino	76
02.52	
Jeanne Gang, 'Aqua Tower', Chicago.	77
02.53	
Behnisch Architects, 'Boston Center', Boston. Schematic design.	77
02.54	
Mario Cucinella, 'Centro direzionale Forum', Rimini.	77
02.55	
Friedensreich Hundertwasser, 'Hundertwasserhaus', Vienna.	78
02.56	
Esempi di applicazione di coperture verdi nell'architettura tradizionale nordica.	78
02.57	
Schizzo concettuale della sovrapposizione dei volumi.	79
02.58	
Schizzo concettuale dell'inserimento della vegetazione in un edificio alto.	79
02.59	
Sezione funzionale.	80
02.60	
Schematizzazione dell'effetto d'angolo.	80
02.61	
Evoluzione della forma.	81
02.62	
Schematizzazione del comportamento del vento all'impatto con l'edificio.	81
02.63	
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento estivo del fronte Sud dell'Hotel.	82
02.64	
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento invernale del fronte Sud dell'Hotel.	82
02.65	
Schema della variazione di forma delle solette.	83
02.66	
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento delle facciate Sud-Est e Sud-Ovest nei confronti del sole basso.	83
02.67	
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento della doppia pelle in periodo invernale.	84
02.68	
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento dell'affaccio Sud del blocco uffici in periodo estivo.	84

INDICE DELLE FIGURE

02.69	Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento dell'affaccio Sud del blocco uffici in periodo estivo.	84
02.70	L'area buffer nel blocco uffici.	85
02.71	Gli elementi di distribuzione verticale.	85
02.72	Vista dell'ascensore vetrato proveniendo dal boulevard.	86
02.73	Schema distributivo e collegamenti tra i principali nuclei funzionali.	89
02.74	Sezione distributiva dell'hotel.	89
02.75	Schematizzazione della pianta-tipo dei piani stanze.	90
02.76	Pianta piano tipo stanze, fronte Nord.	90
02.77	Pianta piano tipo stanze, fronte Sud.	91
02.78	Pianta stanza 'Comfort' tipo.	91
02.79	Pianta della stanza per disabili.	92
02.80	Pianta piano terra:	93
02.81	Pianta piano primo:	94
02.82	Pianta piano secondo:	95
02.83	Pianta piano terzo:	96
02.84	Schema di circolazione.	99
02.85	Pianta del primo e del quarto livello di uffici.	100
02.86	Pianta del piano della piazza.	101
02.87	Vista fotorealistica del bar della Sky-square.	102
02.88	Sezione indicante numero di piani	103

02.89	
Dimensionamento tramite software KONE Quick Traffic per l'albergo	105
02.90	
Dimensionamento tramite software KONE Quick Traffic per l'albergo	107
02.91	
Indicazione percorso ascensori	108
02.92	
Prospetto 1 e 2 UNI 8999	109
03.01	
Tetto in sedum del Canary Wharf, a Londra.	120
03.02	
Vista della Guesthouse e del giardino semi-estensivo del Moorgate Crofts Business Centre, Rotherham, Regno Unito.	120
03.03	
Coltivazione di vaschette per l'impiantazione su tetti vegetali.	121
03.04	
Rotolo precoltivato.	121
03.05	
Sezione del giardino pensile	122
03.06	
Alnus fragola in fruttificazione.	123
03.07	
Cornus Mas.	123
03.08	
Cornus Sanguinea in autunno.	123
03.09	
Corylus Avellana.	123
03.10	
Cytisus Scoparius in fiore.	123
03.11	
Euonymus Avellana.	123
03.12	
Prunus Spinosa in fiore.	124
03.13	
Rhododendron Ponticum in fiore.	124
03.14	
Rosa Canina in fiore.	124
03.15	
Rosa Rubiginosa in fruttificazione.	124
03.16	
Sambucus Nigra in fiore.	124

INDICE DELLE FIGURE

03.17	
Syringa Vulgaris (Lillà) in fiore.	124
03.18	
Viburnum Opulus in fiore.	125
03.19	
Achillea millefolium.	125
03.20	
Anthericum Liliago.	125
03.21	
Carlina Vulgaris.	125
03.22	
Dianthus Carhusianorum.	125
03.23	
Euphorbia Cyparissas.	126
03.24	
Actinidia Kolomikta.	126
03.25	
Clemantis Vitalba in fiore.	126
03.28	
Campsis Radicans in fiore, ricadente.	127
03.29	
Hedera Helix ricadente.	127
03.30	
Lonicera Periclymenum 'Belgica'.	127
03.31	
Parthenocissus Quinquefolia in autunno.	127
03.32	
Ajuga Reptans.	128
03.33	
Hypericum Perforatum.	128
03.34	
Pulmonaria Officinalis.	128
03.35	
Rosa Arvensis.	128
03.36	
Differenti applicazioni di piante rampicanti su edifici tradizionali e moderni	129
03.37	
Esempio di struttura di sostegno in traliccio di legno.	131
03.38	
Struttura in traliccio metallico come elemento d'arredo urbano.	131
03.39	
Giunto fermacavi di un sostegno in cavi metallici.	131

03.40		
Humulus Lupulus in fruttificazione.		132
03.41		
Calystegia Sepium in fiore.		132
03.42		
Corylus Avellana 'Contorta' in fine autunno.		133
03.43		
Cornus Controversa.		134
03.44		
Lagerstroemia Indica in fiore.		134
03.45		
Cornus Florida.		134
03.46		
Hibiscus Syracus in fiore.		134
03.46		
Tamarix Gallica in fiore.		134
04.01		
Sezione semplificata con evidenziati compartimenti antincendio		142
04.02		
Schema semplificato pianta PT con evidenziate uscite antincendio di uffici e hotel		142
04.03		
Percorso dei vigili del fuoco dalla centrale a l'ilot 24		143
04.04		
Pianta PT con indicazione punti di raccolta e uscite di sicurezza differenziate		143
04.05		
Scale antincendio Hotel		145
04.06		
Scale antincendio e ascensore antincendio Hotel		146
04.07		
Indicazione lunghezza percorsi di fuga e spazio calmo		147
04.08		
Pianta antincendio di un piano stanze tipo		148
04.09		
Risultati ottenuti tramite il software Claraf		152
04.10		
Lunghezza percorso di esodo e indicazione uscite di sicurezza		154
04.11		
Scale protette e spazio antifumo		155
04.12		
Ascensore antincendio e ascensore di soccorso		156
04.13		
Tipologia facciata doppia pelle applicata		158

INDICE DELLE FIGURE

05.01		
Immagine 3d struttura completa vista nord - est		162
05.02		
Immagine 3d struttura completa vista sud - ovest		163
05.03		
Determinazione q_{sk} tratto dall'annesso nazionale EC1 belgio		166
05.04		
Determinazione comportamento q_p		169
05.05		
Determinazione coefficienti pressione esterna		170
05.04		
Sollecitazioni piastra su colonne		175
05.05		
Determinazione aree di influenza pilastri in esame		176
05.06		
Dimensionamento pilastro inclinato P10		178
05.07		
Dimensionamento pilastro inclinato P10 metodo colonna modello		178
05.08		
Determinazione aree di influenza nuclei controvento		179
05.09		
Particolare pilastri e solai piani uffici		180
05.10		
Immagine trimensionale piano tipo		181
05.11		
Immagine modellazione e suddivisione in mesh della piastra in esame		182
05.11		
Deformazione piastra (aumentato del 10% per renderla visibile)		184
05.12		
Spostamento verticale piastra soggetta a carichi		185
05.13		
Dimensionamento acciaio nella trave equivalente che semplifica il comportamento della piastra		187
05.14		
Momento nei vari punti della piastra analizzata		188
05.15		
Taglio nei vari punti della piastra analizzata		189
05.16		
Il punzonamento e i modi di rottura		191
05.17		
Il modello per il controllo delle reazioni alla sollecitazione del vento		192

05.18	
Calcoli semplificati utilizzando una colonna incastrata per controllare gli effetti del vento sul T.I.N. Tin Building	192
05.18	
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare alla facciata maggiore	194
05.19	
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare alla facciata minore	194
05.20	
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare ad ambedue le facciate	194
05.21	
Diagrammi del taglio nel caso di vento perpendicolare alla facciata principale e nel caso perpendicolare alla facciata minore	195
05.22	
Valori di a_g per l'Europa e per il Belgio	196
05.23	
Immagine deformazione corrispondente ai differenti modi propri di oscillare.	198
05.24	
Spostamenti	202
05.25	
Taglio	202
05.26	
Diagrammi del taglio	202
06.01	
CV.01 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente	214
06.02	
CV.02 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente	215
06.03	
CV.03 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente	216
06.04	
CV.04 Chiusura verticale opaca isolata termicamente	217
06.05	
CV.05 Chiusura verticale opaca isolata termicamente	218
06.06	
COI.01 Chiusura orizzontale inferiore opaca isolata acusticamente	219
06.07	
COI.02 Chiusura orizzontale inferiore opaca isolata termicamente e acusticamente	220
06.08	
COS.01 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente	221
06.09	
COS.02 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente	222
06.10	
COS.03 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente	223

INDICE DELLE FIGURE

06.11		
POI.01	Partizione orizzontale interna opaca isolata acusticamente	224
06.12		
POI.02	Partizione orizzontale interna opaca isolata acusticamente	225
06.13		
POI.03	Partizione orizzontale interna opaca isolata acusticamente	226
06.14		
PVI.01	Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente	227
06.15		
PVI.02	Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente	228
06.16		
PVI.03	Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente	229
06.17		
PVI.04	Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente	230
06.18		
	Rappresentazione del flusso termico all'interno della soletta.	251
06.19		
	Schematizzazione delle condizioni al contorno utilizzate per il calcolo del ponte termico.	251
06..20		
	Rappresentazione del flusso termico all'interno della soletta in caso non isolato.	264
06..21		
	Rappresentazione del flusso termico all'interno della soletta in caso isolato.	264
06..22		
	Rappresentazione del gradiente termico all'interno della soletta in caso non isolato.	265
06..23		
	Rappresentazione del gradiente termico all'interno della soletta in caso isolato.	265
06.24		
	Rappresentazione del gradiente termico in corrispondenza del serramento nel caso non isolato.	266
06..25		
	Rappresentazione del gradiente termico in corrispondenza del serramento nel caso isolato.	266
06.26		
	Schematizzazione della trasmissione dell'energia solare attraverso una vetrocamera .	268
06.27		
	Interfaccia del software WINDOWS6.	268
06.28		
	Interfaccia del software Schueco U_w -calc.	270
06.29		
	Guadagno solare diretto	270
06.30		
	Guadagno solare per convezione.	271

06.31		
Guadagno solare attraverso muri massicci.		271
06.32		
Percorso solare ed ore di sole sul fronte Sud.		271
06.33		
Irraggiamento sul fronte Sud con sole ortogonale alla facciata.		272
06.34		
Irraggiamento sul fronte Sud con sole a 50°.		272
06.35		
Profondità di penetrazione con sole a 50°.		272
06.36		
Percorso solare ed ore di sole sui fronti Sud-Ovest e Sud-Est		272
06.37		
Irraggiamento sul fronte Est con sole a 50°.		273
06.38		
Irraggiamento sul fronte Ovest con sole a 45°.		273
06.39		
Scheme Design della facciata Sud in stagione estiva.		274
06.40		
Scheme Design della facciata Sud in stagione invernale.		274
06.38		
Schema di ventilazione in una facciata a Box-Windows.		283
06.39		
Schema di ventilazione all'interno dell'elemento Box-Window.		283
06.40		
Schema di ventilazione in una facciata Shaft-Box		283
06.41		
Schema di ventilazione negli elementi Shaft-Box		284
06.42		
Schema di ventilazione in una facciata a corridoio.		284
06.43		
Schema di ventilazione in un corridoio di facciata.		284
06.44		
Schema di ventilazione in una facciata multipiano.		284
06.45		
Schema di ventilazione all'interno di una porzione di facciata ventilata.		285
06.46		
Schemi di ventilazione dell'intercapedine.		285
06.47		
Calore accumulato dai dispositivi di oscuramento.		289
06.48		
Spaccato assometrico di un giunto tra quattro elementi di tipo unit system.		290

INDICE DELLE FIGURE

06.49		
Schema di montaggio di una facciata unitaria: i singoli elementi vengono montati per semplice giustapposizione.		290
06.50		
Montaggio di una facciata di tipo Hansen UnitAl.		291
06.51		
Schema di funzionamento di un elemento di doppia pelle nelle diverse stagioni		291
06.52		
Elemento per la climatizzazione decentralizzata Schüco IFV.		292
06.53		
Esploso bidimensionale del sistema di facciata a cellule.		292
06.54 (a sinistra)		
Cellula di facciata completa.		293
06.55 (a destra)		
Assemblaggio delle diverse cellule di facciata.		293
07.01		
Schema semplificato funzionamento impianto generale		315
07.02		
Sezione con indicazione locali impianti		315
07.03		
Schema impianto nel piano stanze. Tubazioni immissione e estrazione aria primaria		320
07.04		
Schema impianto stanza comfort.		321
07.05		
Schema areazione piano ristorante		324
07.06		
Schema impiantistico per TABS piano uffici		330
07.07		
Schema impiantistico tutt'aria piano uffici		331
07.08		
TABS struttura		333
07.09		
Funzionamento TABS Fonte depliant Velta Contect		334
07.10		
Andamento delle temperature durante la giornata		335
07.11		
Energon office Building Fonte ww.enob.info		339
07.12		
Ecocenter di Bolzano Fonte Velta Magazine Agosto 2007 - N. 10		340
07.13		
ABC Bogen		341

07.14	
ABC Bogen, scheme design	341
07.15	
Post Tower	342
07.16	
EETC office Bulding Fonte www.velta-uk.com	342
07.17	
Centrale europea BMG Ariola	343
07.18	
Sede TiiFS Ingegneria Fonte www.archinfo.it	343
07.19	
Balanced Office Building	344
07.20	
Funzionamento isole isolamento acustico	345
07.21	
Schema semplificato di un impianto con attivazione della massa e prelievo o dissipazione del calore attraverso le sonde termiche nella palificazioni	346
07.22	
Connessioni base all'interno di una massa attivata termicamente	349
07.23	
Tubi immersi all'interno della soletta in c.a. sistema di tipo E e indicazione dei parametri in analisi	349
07.24	
Modellazione in Heat con indicazione delle mesh	350
07.25	
Modellizzazione Tubi Fonte manuale Heat 2.5	351
07.26	
Rappresentazione flussi	353
Fonte Heat	
07.27	353
Rappresentazione andamento temperature Fonte Heat	
07.28	361
Schematizzazione degli effetti turbolenti generati intorno ad un edificio.	
07.29	363
Turbina micro-eolica ad asse orizzontale, di tipo multipala.	
07.30	363
Turbina micro-eolica ad asse verticale (machina tipo Darreius).	
07.30	363
Trubina micro-eolica di tipo Venturi.	
07.31	
Aree di interesse per l'installazione di generatori micro-eolici nella regione di Bruxelles-Capitale.	364

INDICE DELLE FIGURE

07.32		
Generatore micro-eolico tipo Helix Wind S592.		365
07.33		
Generatore micro-eolico tipo UGE4k.		365
07.34		
Produttività annuale della turbina UGE4k.		366

Indice dei Grafici

Grafico 01.01	
Percentuali di velocità e direzione del vento rilevati all'aeroporto di Zaventem.	8
Grafico 01.02	
Velocità media mensile del vento.	8
Grafico 01.03	
Temperature medie mensili alla stazione di Uccle.	9
Grafico 01.04	
Temperature massime medie mensili alla stazione di Uccle.	9
Grafico 01.05	
Temperature minime medie mensili alla stazione di Uccle.	10
Grafico 01.06	
Giorni medi di precipitazioni, rilevati dalla stazione di Uccle.	10
Grafico 01.07	
Quantità media di precipitazioni mensili rilevate dalla stazione di Uccle.	11
Grafico 01.08	
Valori di radiazione diretta (Hbh), diffusa (Hdh).	13
Grafico 02.01	
Proporzione hotel di differenti categorie nel raggio di 1,2 km	44
Grafico 04.01	
Grafico valutazione coefficiente K	151
Grafico 05.01	
Determinazione C_e	168
Grafico 05.02	
Determinazione c_d	171
Grafico 05.03	
Grafico del momento tra un pilastro e il nucleo centrale	189
Grafico 05.04	
Curva caratteristica del sisma	197
Grafico 06.01	
Rappresentazione grafica andamento It totale per orientamento Nord, Est, Sud, Ovest	233
Grafico 06.02	
Grafico percentuali apporto guadagni solari sui diversi fronti piani stanze	236
Grafico 06.03	
Grafico percentuali apporto guadagni solari e carichi interni piani stanze	236
Grafico 06.04	
Grafico percentuali apporto guadagni solari sui diversi fronti piano P3	237
Grafico 06.05	
Grafico percentuali apporto guadagni solari sui diversi fronti piano P2	237
Grafico 06.06	
Grafico carichi termici totali hotel mensili	237

Grafico 06.07	
Grafico carichi termici totali uffici mensili	238
Grafico 06.08	
Confronto grafico percentuali apporto guadagni solari sui diversi fronti per gli uffici nelle differenti stagioni	239
Confronto grafico percentuali apporto guadagni solari apporto guadagni solari e carichi interni per gli uffici nelle differenti stagioni	239
Grafico 06.09	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del PT hotel	241
Grafico 06.10	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano PT hotel	241
Grafico 06.11	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P1 hotel	242
Grafico 06.12	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P1 hotel	242
Grafico 06.13	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P2 hotel	242
Grafico 06.14	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P2 hotel	243
Grafico 06.15	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P3 hotel	243
Grafico 06.16	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P3 hotel	243
Grafico 06.17	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P4 hotel	244
Grafico 06.18	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P4 hotel	244
Grafico 06.19	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P9 hotel	244
Grafico 06.20	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per	

il piano P9 hotel	245
Grafico 06.21	
Grafico dispersioni termiche totali hotel	245
Grafico 06.22	
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali degli uffici	245
Grafico 06.23	
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per gli uffici	246
Grafico 06.24	
Grafico differenza tra guadagni e dispersioni per l'hotel	246
Grafico 06.25	
Grafico differenza tra guadagni e dispersioni per gli uffici	247
Grafico 06.26	
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante esterno, sia superiore che inferiore.	252
Grafico 06.27	
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante nelle quattro diverse configurazioni.	253
Grafico 06.28	
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante in diverse combinazioni.	254
Grafico 06.29	
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza totale di isolante nelle diverse combinazioni.	254
Grafico 06.30	
Dispersioni complessive dei sei piani di stanze nei differenti casi.	257
Grafico 06.31	
Riduzione delle dispersioni totali dei sei piani di stanze nei differenti casi.	257
Grafico 06.32	
Flussi di cassa delle differenti soluzioni di isolamento.	261
Grafico 06.33	
Grafico dei guadagni solari totali delle diverse ipotesi di vetratura.	279
Grafico 06.34	
Grafico dei guadagni solari diretti delle diverse ipotesi di vetratura.	280
Grafico 06.35	
Grafico dei guadagni solari per effetto buffer delle diverse ipotesi di vetratura.	280
Grafico 06.36	
Grafico dei guadagni solari totali al netto delle dispersioni.	280
Grafico 06.37	
Grafico delle temperature medie mensili interne allo spazio buffer nei diversi casi e confronto con la temperatura media mensile esterna.	281

Grafico 06.38	
Differenti trasmittanze equivalenti per un sistema a pelle singola, doppia pelle a bocchette chiuse, doppia pelle a bocchette apribili	288
Grafico 06.39	
Riduzione dell'effetto convettivo	288
Grafico 06.40	
Guadagni solari totali di una cellula a vetrocamera esposta ad Ovest.	295
Grafico 06.341	
Guadagni solari totali di una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Ovest.	295
Grafico 06.42	
Guadagni solari totali di una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Est.	295
Grafico 06.43	
Guadagni solari totali di una cellula a vetrocamera esposta a Sud- Est.	296
Grafico 06.44	
Guadagni solari totali di una cellula a vetrocamera esposta a Sud-Ovest	296
Grafico 06.45	
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Ovest.	298
Grafico 06.46	
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Ovest.	298
Grafico 06.48	
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Nord-Ovest.	299
Grafico 06.49	
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Nord-Ovest.	299
Grafico 06.50	
Guadagni solari totali di una cellula con esposizione Nord-Ovest.	300
Grafico 06.51	
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Nord-Est	300
Grafico 06.52	
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Nord-Est	300
Grafico 06.53	
Guadagni solari totali di una cellula con esposizione Nord-Est	301
Grafico 06.54	
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Sud-Est.	301
Grafico 06.55	
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Sud-Est.	301
Grafico 06.56	
Guadagni solari totali di una cellula con esposizione Sud-Est.	302
Grafico 06.57	
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Sud-Ovest	302
Grafico 06.58	
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Sud-Ovest	302
Grafico 06.59	

Guadagni solari totali di una cellula con esposizione Sud-Ovest Grafico 06.60	303
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata ad Ovest. Grafico 06.61	303
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Nord-Ovest. Grafico 06.62	303
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Nord-Est. Grafico 06.63	304
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Sud-Est. Grafico 06.64	304
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Sud-Ovest. Grafico 06.65	304
Confronto tra i guadagni del sistema adottato e i guadagni di un involucro a curtain wall con vetrocamera semplice. Grafico 06.66	307
Confronto tra le dispersioni del sistema adottato e i guadagni di un involucro a curtain wall con vetrocamera semplice. Grafico 06.67	308
Guadagni complessivi dell'edificio ad uffici rapportati alla soluzione con vetrocamera semplice. Grafico 06.68	308
Dispersioni complessive dell'edificio ad uffici rapportati alla soluzione con vetrocamera semplice. Grafico 07.01	308
Peak-shaving Grafico 07.02	333
Comparazione delle caratteristiche di consumo di energia primaria tra gli edifici per uffici Grafico 07.02	338
Curva caratteristica di base per pavimento riscaldante e soffitto raffrescante in accordo con EN 1264 Grafico 07.03	348
Rappresentazione andamento delle temperature tramite valori estrapolati dal software HEAT Grafico 07.04	353
Rappresentazione grafica della variazione di flusso sulla superficie superiore e inferiore al variare della temperatura di mandata dell'acqua Grafico 07.05	354
Rappresentazione grafica della variazione delle temperature superficiali al variare della temperatura di mandata dell'acqua Grafico 07.06	354
Rappresentazione grafica della variazione di flusso sulla superficie superiore e inferiore al variare della temperatura di mandata dell'acqua Grafico 07.07	355
Rappresentazione grafica della variazione delle temperature superficiali al variare della	

INDICE DEI GRAFICI

temperatura di mandata dell'acqua Grafico 07.06	355
Grafici UNIEN 15377 per determinazione potenza impianto. stima dinamica Grafico 07.07	358
Grafico dei carichi interni e dei guadagni per una giornata tipo nel mese di agosto Grafico 07.08	360
Vento in RBC, velocità e percentuali.	365

Indice delle tabelle

Tabella 01.01	
Percentuali approssimate della radiazione solare.	12
Tabella 01.02	
Valori di radiazione diretta (H _{bh}), diffusa (H _{dh}) e globale (H) su un piano orizzontale a Bruxelles e percentuali.	12
Tabella 02.01	
Analisi FDOM	52
Tabella 02.01	
Analisi FDOM	53
Tabella 02.02	
Metrature ambienti interni.	71
Tabella 02.03	
Metrature ambienti comuni.	71
Tabella 02.04	
Percentuale di vegetazione in rapporto alla superficie dell'isolato.	71
Tabella 02.05	
Principali spazi funzionali delle strutture alberghiere.	87
Tabella 02.06	
Parametri per il dimensionamento degli spazi funzionali in base alla ricettività dell'impianto.	88
Tabella 02.07	
Parametri per il dimensionamento degli spazi funzionali in base alla ricettività dell'impianto.	88
Tabella 02.08	
Superfici complessive delle differenti funzioni.	97
Tabella 02.09	
Dotazione di attrezzature nei servizi igienici.	99
Tabella 02.10	
Dati relativi all'hotel per dimensionamento ascensori	103
Tabella 02.11	
Dati relativi agli uffici per dimensionamento ascensori	106
Tabella 02.12	
Riassunto delle scelte effettuate	108
Tabella 03.01	
Percentuali di evacuazione delle acque pluviali di diversi tipi di copertura.	117
Tabella 04.01	
Tabella tratta dal D.M. del 16 febbraio 2007 con i valori minimi in mm dello spessore di soletta per le differenti classi di reazione al fuoco	144
Tabella 04.02	
Tabella tratta dal D.M. del 16 febbraio 2007 con i valori minimi in mm dello spessore di parete in c.a. per le differenti classi di reazione al fuoco	144

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 04.03	150
Tabella per determinazione indici di valutazione in funzione dei fattori associati all'edificio	150
Tabella 04.04	151
Tabella per determinazione carico antincendio in camera confort	151
Tabella 05.01	164
Carichi permanenti soluzioni scelte	164
Tabella 05.01	165
Carichi permanenti soluzioni scelte	165
Tabella 05.02	167
Valori determinazione azione del vento dall'annesso nazionale EC1 belgio	167
Tabella 05.03	168
Determinazione categoria terreno e valori per calcolo carico vento	168
Tabella 05.04	168
Tabella riassuntiva valori vento	168
Tabella 05.06	172
Determinazione forza del vento agente ai vari piani nella combinazione con vento // asse y	172
Tabella 05.07	173
Determinazione forza del vento agente ai vari piani nella combinazione con vento // asse x	173
Tabella 05.08	173
Determinazione vita nominale edificio	173
Tabella 05.09	174
Determinazione coefficiente C_u	174
Tabella 05.10	176
Risultati predimensionamento piastra	176
Tabella 05.11	177
Risultati dimensionamento pilastri e A_s	177
Tabella 05.11	178
Risultati dimensionamento pilastri e A_s	178
Tabella 05.12	179
Risultati dimensionamento nuclei	179
Tabella 05.13	183
Coefficienti applicati nelle combinazioni SLU e SLE	183
Tabella 05.14	185
Freccie max nelle varie combinazioni	185
Tabella 05.15	186
Determinazione spessore equivalente piastra tenendo conto dell'acciaio al suo interno	186
Tabella 05.16	186
Freccie max nelle varie combinazioni con spessore piastra uguale a 31,5 cm	186
Tabella 05.17	187
Determinazione modulo elastico equivalente della sezione fessurata	187
Tabella 05.18	188
Freccie max nelle varie combinazioni con spessore piastra fessurata	188

Tabella 05.19	
Mxx e Myy del punto 1 (pilastro) e del punto 2 (punto al centro della campata)	190
Tabella 05.20	
Scelta quantità di acciaio per i due punti analizzati	190
Tabella 05.21	
Inerzia dei nuclei ai vari livelli e inerzia media	193
Tabella 05.22	
Risultati calcoli semplificati del comportamento su sollecitazione del vento	193
Tabella 05.23	
Risultati numerici degli spostamenti calcolati	195
Tabella 05.24	
Confronto tra i risultati di taglio ottenuti tramite modello in Straus e risultati ottenuti tramite il calcolo approssimativo	195
Tabella 05.25	
Tipologia di terreno	196
Tabella 06.01	
Valori delle termotrsmittanze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.	210
Tabella 06.01	
Valori delle termotrsmittanze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.	211
Tabella 06.01	
Valori delle termotrsmittanze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.	212
Tabella 06.02	
CV.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	214
Tabella 06.03	
CV.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	215
Tabella 06.04	
CV.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	216
Tabella 06.05	
CV.04 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	217
Tabella 06.06	
CV.05 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	218
Tabella 06.07	
COI.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	219
Tabella 06.08	
COI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	220
Tabella 06.09	
COS.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	221
Tabella 06.10	
COS.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	222
Tabella 06.11	
COS.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	223

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 06.12	
POI.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	224
Tabella 06.13	
POI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	225
Tabella 06.14	
POI.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	226
Tabella 06.15	
PVI.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	227
Tabella 06.16	
PVI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	228
Tabella 06.17	
PVI.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	229
Tabella 06.18	
PVI.04 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale	230
Tabella 06.19	
Tabella dimostrativa di come sono state calcolate le $A_{sol,k}$	232
Tabella 06.20	
Tabelle carichi interni per hotel e uffici	233
Tabella 06.20	
Tabelle carichi interni per hotel e uffici	234
Tabella 06.20	
Tabelle carichi interni per hotel e uffici	235
Tabella 06.22	
Tabelle carichi interni e guadagni solari per P3 hotel	236
Tabella 06.23	
Tabelle carichi interni e guadagni solari per P2 nell'hotel	237
Tabella 06.23	
Tabelle carichi interni e guadagni solari per PT e P1 nell'hotel	237
Tabella 06.24	
Tabelle carichi termici totali hotel	237
Tabella 06.25	
Tabelle carichi interni e guadagni solari uffici	238
Tabella 06.26	
Tabelle riassuntiva trasmittanze elementi tecnici	240
Tabella 06.27	
Tabelle riassuntiva ricambi d'ora necessari per motivi igienici	240
Tabella 06.29	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano PT hotel	241
Tabella 06.30	
Tabella H e A per P1 hotel	242

Tabella 06.31	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P1 hotel	242
Tabella 06.32	
Tabella H e A per P2 hotel	242
Tabella 06.33	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P2 hotel	242
Tabella 06.34	
Tabella H e A per P3 hotel	243
Tabella 06.35	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P3 hotel	243
Tabella 06.36	
Tabella H e A per P4 hotel	244
Tabella 06.37	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P4 hotel	244
Tabella 06.38	
Tabella H e A per P9 hotel	244
Tabella 06.39	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P9 hotel	245
Tabella 06.40	
Tabelle dispersioni termiche totali hotel	245
Tabella 06.41	
Tabella H e A per uffici	245
Tabella 06.42	
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per gli uffici	246
Tabella 06.43	
Differenza tra guadagni e dispersioni per l'hotel	246
Tabella 06.44	
Differenza tra guadagni e dispersioni per gli uffici	247
Tabella 06.45	
Fabbisogno energetico per il raffrescamento per l'hotel e gli uffici	247
Tabella 06.46	
Fabbisogno energetico per il riscaldamento per l'hotel e gli uffici	248
Tabella 06.47	
Valori caratteristici della trasmittanza termica lineica delle varie combinazioni.	254

Tabella 06.48	
Valori caratteristici della trasmittanza termica lineica delle varie combinazioni nel caso di presenza di aperture.	256
Tabella 06.49	
Incidenza del ponte termico sulla somma delle dispersioni e il miglioramento rispetto al caso non isolato	256
Tabella 06.50	
Coefficienti di conversione in energia primaria delle diverse fonti di energia secondaria.	258
Tabella 06.51	
Valori di Embodied Energy e risparmi in termini energetici delle varie soluzioni.	259
Tabella 06.52	
Produzione di CO ₂ equivalente per le differenti fonti di energia.	259
Tabella 06.53	
Valori di Embodied Carbon e risparmi in termini di emissioni delle varie soluzioni.	259
Tabella 06.54	
Valori economici e tempi di ritorno delle differenti soluzioni.	263
Tabella 06.55	
Valori economici e tempi di ritorno delle differenti soluzioni utilizzando il listino fornito dall'azienda FOAMGLAS.	263
Tabella 06.57	
Valori e caratteristiche delle vetrocamere utilizzate.	269
Tabella 06.58	
Valori dei fattori a1 ed a2 in funzione della tipologia di serra di pavimentazione e del vetro di chiusura della serra.	277
Tabella 06.59	
Valori e caratteristiche delle vetrocamere utilizzate nello studio dello spazio buffer sul fronte Sud.	279
Tabella 06.60	
Valori medi giornalieri dei diversi tipi di guadagni solari e delle dispersioni.	281
Tabella 06.61	
Guadagni e dispersioni spazi buffer	282
Tabella 06.62	
Guadagni e dispersioni complessivi	282
Tabella 06.63	
Percentuali rispetto a guadagni e dispersioni complessivi	282
Tabella 06.64	
Guadagni e dispersioni totali	282
Tabella 06.65	
Guadagni e dispersioni complessivi	282
Tabella 06.66	
Percentuali del fronte del Sud in rapporto al caso senza spazio buffer	282

Tabella 06.67	
Percentuali totali in rapporto al caso senza spazio buffer	282
Tabella 06.68	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta ad Ovest.	297
Tabella 06.69	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Ovest.	297
Tabella 06.70	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Est.	297
Tabella 06.71	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Sud-Est.	297
Tabella 06.72	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Sud-Ovest	297
Tabella 06.73	
Valori di guadagni totali di tutte le cellule di facciata sui vari fronti e percentuale di influenza sui valori totali dei sei piani adibiti a uffici.	298
Tabella 06.73	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta ad Ovest.	305
Tabella 06.74	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Sud-Est.	305
Tabella 06.75	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Sud-Ovest	305
Tabella 06.76	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Nord-Ovest.	305
Tabella 06.77	
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Nord-Est.	305
Tabella 06.75	
Valori di guadagni e dispersioni totali delle facciate a doppia pelle.	306
Tabella 06.76	
Valori di guadagni e dispersioni totali dell'edificio considerata la facciata a doppia pelle.	306
Tabella 06.77	
Percentuali di incidenza della facciata a doppia pelle su guadagni e dispersioni complessivi dell'edificio per uffici.	306
Tabella 06.78	
Variazione dell'incidenza della facciata su guadagni e dispersioni complessivi dell'edificio per uffici	307
Tabella 06.79	
Percentuali d'incidenza di doppia pelle e buffer su guadagni e dispersioni dell'edificio per uffici.	307
Tabella 06.80	
Variazioni percentuali di guadagni e dispersioni dell'edificio per uffici in rapporto alla situazione di facciata con vetrocamera.	307

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 06.81	
Variazione di guadagni e dispersioni nell'edificio per uffici.	308
Tabella 07.01	
Caratteristiche preferenziali degli ambienti per utenze civili. Caratteristiche principali per le tipologie di locali presenti	314
Tabella 07.02	
Tabella con occupazione dei locali nelle differenti ore della giornata	316
Tabella 07.03	
Areazione igienica Hall	318
Tabella 07.04	
Condizioni interne della hall ed esterne (Temperatura, umidità)	318
Tabella 07.05	
Areazione igienica stanze	321
Tabella 07.06	
Condizioni interne della stanza ed esterne (Temperatura, umidità)	321
Tabella 07.07	
Superfici e altezze piano ristorante	324
Tabella 07.08	
Areazione igienica piano ristorante	324
Tabella 07.09	
Condizioni interne della cucina ed esterne (Temperatura, umidità)	325
Tabella 07.10	
Condizioni interne della sala ristorante ed esterne (Temperatura, umidità)	326
Tabella 07.11	
Superfici e altezze piano tipo uffici	329
Tabella 07.12	
Superfici aree autonome in impianto TABS piano tipo	330
Tabella 07.13	
Condizioni interne degli uffici ed esterne (Temperatura, umidità)	330
Tabella 07.14	
Andamento delle temperature durante la giornata	336
Tabella 07.15	
Risultati numerici simulazione attivazione della massa, caso estivo, al variare della temperatura di mandata	354
Tabella 07.16	
Risultati numerici simulazione attivazione della massa, caso invernale, al variare della temperatura di mandata	355
Tabella 07.17	
Confronto dei risultati numerici ottenuti tramite i differenti metodi utilizzati	356
Tabella 07.19	
Possibilità di installazioni eoliche nei differenti quartieri in RBC.	364

Indice delle tavole

Tav. 01 - Planivolumetrico	Allegati Capitolo 02
Tav. 02 - Pianta Piano Terra	Allegati Capitolo 02
Tav. 03 - Pianta Piano Primo	Allegati Capitolo 02
Tav. 04 - Pianta Piano Secondo	Allegati Capitolo 02
Tav. 05 - Pianta Piano Terzo	Allegati Capitolo 02
Tav. 06 - Pianta Piano Quarto	Allegati Capitolo 02
Tav. 07 - Pianta Piano Quinto	Allegati Capitolo 02
Tav. 08 - Pianta Piano Sesto	Allegati Capitolo 02
Tav. 09 - Pianta Piano Settimo	Allegati Capitolo 02
Tav. 10 - Pianta Piano Ottavo	Allegati Capitolo 02
Tav. 11 - Pianta Piano Nono	Allegati Capitolo 02
Tav. 12 - Pianta Piano Sky Square	Allegati Capitolo 02
Tav. 13 - Pianta Piano Undicesimo	Allegati Capitolo 02
Tav. 14 - Pianta Piano Dodicesimo	Allegati Capitolo 02
Tav. 15 - Pianta Piano Tredicesimo	Allegati Capitolo 02
Tav. 16 - Piante Piani Interrati	Allegati Capitolo 02
Tav. 17 - Sezione A-A	Allegati Capitolo 02
Tav. 18 - Prospetto Sud-Ovest	Allegati Capitolo 02
Tav. 19 - Blow-up ingresso	Allegati Capitolo 06
Tav. 20 - Blow-up hotel: sud	Allegati Capitolo 06
Tav. 21 - Blow-up sky square: nord	Allegati Capitolo 06
Tav. 22 - Blow-up sky square: sud	Allegati Capitolo 06
Tav. 23 - Blow-up uffici: copertura nord	Allegati Capitolo 06
Tav. 24 - Blow-up uffici: sud ovest	Allegati Capitolo 06
Tav. 25 - Blow-up uffici: sud est	Allegati Capitolo 06
Tav. 26 - Blow-up sky garden: ascensore panoramico	Allegati Capitolo 06
Tav. 27 - Blow-up sky garden: passerella scensore	Allegati Capitolo 06
Tav. 28 - Nodo verticale 01 e 02 : Doppia pelle	Allegati Capitolo 06
Tav. 29 - Nodo verticale 03	Allegati Capitolo 06
Tav. 30 - Nodo verticale 04 e 05	Allegati Capitolo 06
Tav. 31 - Nodo verticale 06	Allegati Capitolo 06
Tav. 32 - Nodo verticale 07	Allegati Capitolo 06
Tav. 33 - Nodo verticale 08	Allegati Capitolo 06
Tav. 34 - Nodo verticale 09	Allegati Capitolo 06
Tav. 35 - Nodo verticale 10	Allegati Capitolo 06
Tav. 36 - Nodo verticale 11	Allegati Capitolo 06
Tav. 37 - Nodo orizzontale 01 e 02	Allegati Capitolo 06

CAPITOLO 01

- Il Contesto -

1.1 Inquadramento geografico e contesto urbano

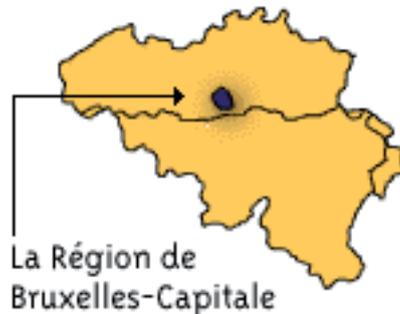
Il Belgio è uno stato facente parte dell'Unione europea; confina a nord con i Paesi Bassi, a est con la Germania e con il Lussemburgo, a sud e sud-ovest con la Francia, a nord-ovest si affaccia sul Mar del Nord.



01.01
Posizione del Belgio
all'interno dell'Europa
e stati confinanti

Il Belgio è situato al confine tra l'Europa germanofona e l'area linguistica e culturale romanza, ed è diviso in tre regioni. A settentrione si trovano le Fiandre la cui popolazione di lingua fiamminga (una variante dell'olandese) comprende circa il 58% della popolazione totale e a sud la Vallonia, prevalentemente francofona ad eccezione di una piccola comunità germanofona, e che costituisce il 32% della popolazione complessiva nazionale. Nel mezzo è situata la regione della città di Bruxelles, Bruxelles-Capitale che è ufficialmente bilingue, sebbene sia prevalentemente francofona, e nella quale risiede il 10% della popolazione. Inoltre ai confini con la Germania, in Vallonia, si trova la Comunità germanofona del Belgio di lingua tedesca comprendente i comuni ceduti dalla Germania al Belgio nel 1919 e annessi alla Germania nazista nel 1940-1945.

01.02
Posizione Bruxelles
Capitale



Il Belgio è stato tra i fondatori dell'Unione europea e la capitale Bruxelles è sede di varie istituzioni comunitarie.

1.1.1 Il Belgio stato federale

In Belgio, l'argomento etnico è profondamente legato a quello linguistico ed ha portato alla creazione di uno stato federale unico al mondo nel suo genere. In effetti, nel Paese si parlano tre lingue alle quali viene associata l'esistenza di tre gruppi linguistici: fiamminghi (di lingua olandese, nella sua forma locale chiamata fiammingo), valloni (di lingua francese) e tedeschi di lingua tedesca. Ognuno dei tre maggiori gruppi linguistici viene chiamato Comunità, termine che corrisponde ad una suddivisione culturale amministrativa all'interno dello stato federale, accanto ad un'ulteriore suddivisione della Federazione in tre regioni che non combaciano con la stretta definizione delle comunità descritte. In realtà parlare di «etnie» per il Belgio è molto difficile: si appartiene ad un gruppo linguistico per localizzazione geografica, non ad un gruppo etnico o familiare. Ogni Comunità si occupa degli argomenti scolastici e culturali dei propri locutori residenti in zone unilingue e/o bilingue sul territorio: Comunità francofona del Belgio, Comunità fiamminga del Belgio, Comunità germanofona del Belgio. Secondo l'ultimo censimento linguistico, che risale al 1990, più della metà della popolazione belga risulta di lingua olandese (58,2 %), mentre la lingua francese risulta essere la seconda lingua (34,1%), seguita dal tedesco parlato da meno dell'1% della popolazione. Il resto della popolazione parla altre lingue (per esempio arabo, italiano, portoghese): si tratta di immigrati che praticano ancora la propria madrelingua.

Tre regioni sono state create nello stato belga per organizzare la vita economica delle comunità e quella della capitale, Bruxelles, la quale risulta bilingue (olandese-francese).

01.03
Divisione delle varie
comunità presenti in
Belgio



Una prima regione è quella delle Fiandre, dove la lingua ufficiale è l'olandese (nella sua versione fiamminga), ed ha messo in comune i propri organi amministrativi con quelli della Comunità fiamminga con un'unica sede governativa a Bruxelles. Una seconda regione è quella della Vallonia, dove la lingua ufficiale è il francese; qui risiede anche la Comunità di lingua tedesca concentrata nelle zone del Sud Est e con sede a Eupen. La regione della Vallonia ha sede a Namur, mentre la Comunità di lingua francese ha sede a Bruxelles.

La terza regione belga è la regione di Bruxelles-Capitale, in realtà una enclave bilingue (francese-olandese), situata geograficamente nella regione delle Fiandre. I dati dicono però che Bruxelles è principalmente francofona (le statistiche parlano di un 70% della popolazione), con soltanto un 10 % di abitanti di lingua olandese e almeno un 20 % che parla altre lingue ancora: si tratta anche

in questo caso di immigrati che praticano ancora la propria madrelingua. Tali cifre sono fonti di forti contrasti comunitari; Bruxelles è dunque ufficialmente bilingue. La regione di Bruxelles include 19 comuni: Anderlecht, Auderghem, Berchem/Sainte-Agathe, Bruxelles, Etterbeek, Evere, Forest, Ganshoren, Ixelles, Jette, Koekelberg, Molenbeek/Saint-Jean, Saint-Gilles, Saint-Josse-ten-Noode, Schaerbeek, Uccle, Watermael/Boitsfort, Woluwe/Saint-Lambert, Woluwe/Saint-Pierre. Quella che viene conosciuta di solito come Bruxelles è dunque in realtà uno dei 19 comuni (e il capoluogo) della regione amministrativa detta regione di Bruxelles-Capitale. A complicare lo statuto della città vi è il fatto che Bruxelles sia anche la capitale del Belgio, la capitale della regione delle Fiandre, la capitale della Comunità francofona del Belgio e la capitale dell'Unione europea.

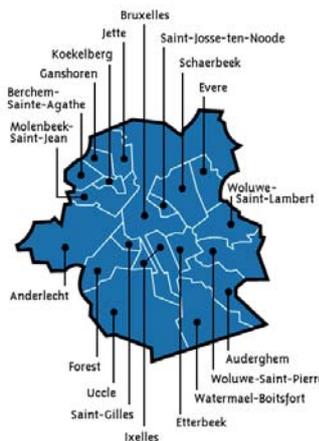
1.1.2 La regione di Bruxelles Capitale

Con il termine Bruxelles ci si riferisce talvolta alla municipalità principale della Regione di Bruxelles-Capitale (Région de Bruxelles-Capitale in francese), ma in tal caso è più corretto denominarla Città di Bruxelles (Ville de Bruxelles in francese).

La Città di Bruxelles non è che una delle 19 municipalità che compongono la Regione di Bruxelles-Capitale: conta 161.273 abitanti, mentre considerando l'intera Regione di Bruxelles-Capitale si arriva a 1 milione di abitanti.

Dei 19 diversi comuni, o municipalità, in cui si divide la regione di Bruxelles, sette hanno un solo nome ufficiale; le altre dodici hanno sia un nome olandese che uno francese. Sono elencate in base al nome francese con il nome olandese scritto a fianco, ad eccezione della Città di Bruxelles che è in italiano.

- Anderlecht
- Auderghem/Oudergem
- Berchem-Sainte-Agathe/Sint-Agatha-Berchem
- Città di Bruxelles
- Etterbeek
- Evere
- Forest/Vorst
- Ganshoren
- Ixelles/Elsene
- Jette
- Koekelberg
- Molenbeek-Saint-Jean/Sint-Jans-Molenbeek
- Saint-Gilles/Sint-Gillis
- Saint-Josse-ten-Noode/Sint-Joost-ten-Node
- Schaerbeek/Schaarbeek
- Uccle/Ukkel
- Watermael-Boitsfort/Watermaal-Bosvoorde
- Woluwe-Saint-Lambert/Sint-Lambrechts-Woluwe
- Woluwe-Saint-Pierre/Sint-Pieters-Woluwe



01.04
19 municipalità che compongono la regione di Bruxelles-Capitale

1.2 Il contesto climatico

1.2.1 Generalità

Il Belgio è situato a latitudini medie dell'emisfero nord, nella parte occidentale del continente europeo. I cicli stagionali di soleggiamento e le dinamiche atmosferiche proprie delle latitudini medie e la prossimità dell'oceano Atlantico spiegano le grandi linee del clima della regione.

A latitudini medie, le masse d'aria fredda d'origine polare incontrano le masse d'aria calda d'origine subtropicale; la superficie di separazione di queste due masse d'aria è chiamata 'fronte polare'. La posizione di questo fronte modula il tempo delle regioni: se sale verso Nord, permette al 'bel tempo' di installarsi grazie all'arrivo di masse d'aria calda da Sud, quando invece il fronte scende verso Sud, farà più freddo.

Il fronte polare è di norma situato a sud della regione belga in inverno ed a nord in estate, ma altre situazioni possono presentarsi frequentemente. Capita che il fronte possa quasi sparire per lasciar spazio a zone ad alta pressione persistente (come nel 1976), oppure trovarsi a sud durante l'estate (1980) ed a nord durante l'inverno (1989), portando del tempo non normale per la stagione. Non sono però queste situazioni in sé, ma piuttosto la loro durata anormalmente lunga, che è all'origine del tempo eccezionale.

La depressione associata al fronte polare espone solitamente il paese alle correnti provenienti da ovest. In queste condizioni, le masse d'aria arrivano direttamente dall'oceano, dove si caricano d'umidità rendendo quindi il clima belga piovoso.

Il clima temperato si caratterizza normalmente per delle estati relativamente fresche ed umide e degli inverni relativamente dolci e piovosi. Si possono però verificare delle eccezioni rilevanti: in estati particolarmente calde, come nel 1947, le temperature possono raggiungere i 38°C, oppure nel 1976 dove le temperature massime si sono mantenute sopra i 30°C per più giorni consecutivi. Inverni rigorosi, come quello del 1963, hanno portato anche il mare a ghiacciarsi.

Da che si sono cominciati i lavori di rilievo del clima, le temperature estreme hanno raggiunto quasi i +40°C in Campine, scendendo fino a -30°C nella valle della Lesse.

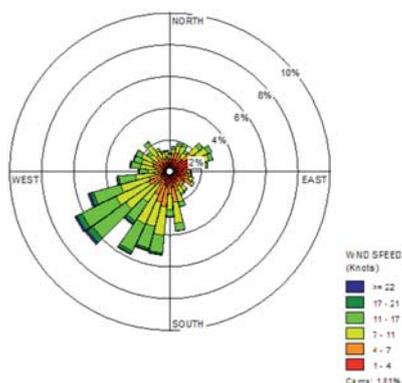
Anche il regime delle precipitazioni può ugualmente conoscere delle situazioni particolari: nel 1921 e nel 1976 si sono avuti dei periodi di siccità particolarmente rilevanti. D'altra parte, le zone di pioggia associate alle correnti provenienti da ovest possono essere più attive del normale, raggiungendo ad esempio, nel 1980, i 242mm in 30 giorni, quando la media risulta 74mm, provocando importanti inondazioni delle valli ardennesi.

1.2.2 Il vento

In Belgio i venti dominanti provengono da Sud-Ovest.

La velocità media del vento è di 6-7m/s sul litorale, riducendosi a 2-4m/ nelle valli dell'alto Belgio. Ogni due anni circa il valore di punta del vento raggiunge

Grafico 01.01
Percentuali di velocità e direzione del vento rilevati all'aeroporto di Zaventem.



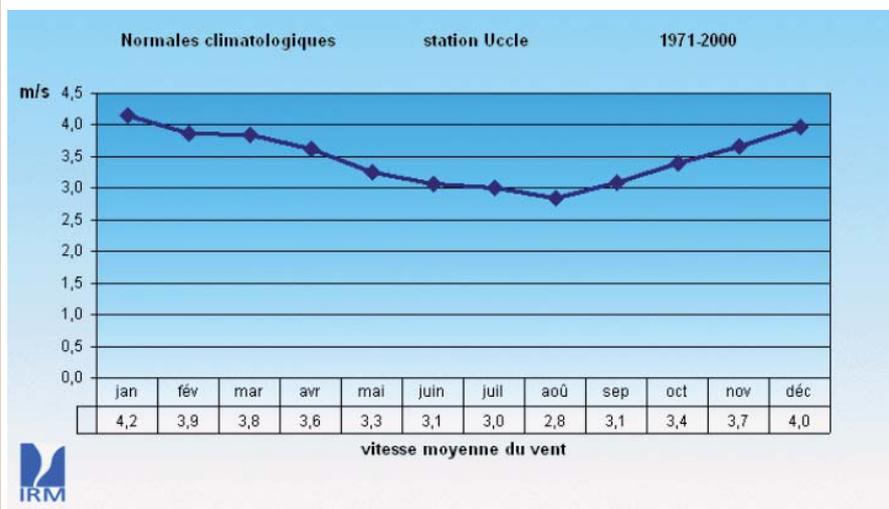
(ed oltrepassa) i 35m/s sulla costa e i 23-30 m/s all'interno del paese.

La riduzione della velocità del vento all'interno del paese è dovuta all'attrito con il suolo, che genera un aumento della turbolenza.

Il vento è l'elemento di base dei climi temperati: in funzione della sua direzione porta sia delle masse d'aria tiepida ed umida se soffia tra il Sud e l'Ovest, sia delle masse d'aria instabili

e fresche se soffiano tra l'Ovest e il Nord. Le correnti da Nord-Est e quelle più rare da Est-Sud sono più o meno secche e fredde in inverno, secche e calde d'estate.

Grafico 01.02
Velocità media mensile del vento.
(fonte IRM, stazione di Uccle).



1.2.3 La temperatura dell'aria

La ripartizione delle temperature medie dell'aria è determinata, in Belgio, principalmente da due fattori: la distanza in rapporto al mare e l'altitudine.

Oltre a questi fattori ci sono inoltre dei fattori strettamente meteorologici e altri geografici, come l'origine e la frequenza locale delle diverse masse d'aria, la subsidenza, l'irraggiamento infrarosso emesso dalla superficie locale in funzione del sostrato e della composizione del suolo, l'influenza di rilievi, che influenzano allo stesso modo la ripartizione spaziale della temperatura.

Il mare ha un'inerzia termica che attenua e ritarda la variazione stagionale della temperatura lungo la costa: l'inverno è qui infatti più mite e l'estate più fresca che nell'entroterra, con differenze nella temperatura media di circa 1 °C.

Le temperature massime sono però sensibilmente più basse in prossimità del mare, arrivando anche a -3 °C di differenza rispetto alla Campine.

Le minime invece sono più elevate nella regione a Nord, in media di +2,5 °C rispetto alla Campine. (fonte IRM)

Dalla differenza di temperatura tra l'entroterra più caldo e la costa più fresca si genera una circolazione termica, denominata brezza marittima, che impedisce

alla temperatura dell'aria di raggiungere sulla costa gli stessi valori dell'interno del paese. La brezza penetra sul territorio da 10 a 20km, dove la sua azione si aggiunge a quella del vento generato per differenze di pressione atmosferica di grande scala.

Esclusa la regione costiera, la temperatura diminuisce di circa 0,6°C ogni 100m d'altitudine. La differenza media tra le pianure e gli altipiani delle Ardenne raggiunge quindi circa i 3°C. Non si deve comunque scordare che si tratta di un valore medio: può capitare, per combinazione di venti e masse d'aria polare, che la differenza arrivi a 6°C o che sia nulla o ancora, in inverno, che la temperatura sia più elevata sulle Ardenne che nelle regioni di pianura. Ciò può essere spiegato per il fenomeno dell'inversione termica che avviene a basse quote (tra i 200m ed i 400m): le regioni al di sopra del limite dell'inversione sono più calde che quelle situate al di sotto.

Le temperature massime assolute osservate in Belgio sono comprese tra i +40°C ed i 30°C, con massimi annuali situati in media tra i 30°C ed i 32°C (sulle creste delle Ardenne non si superano invece i 28°C). Le minime assolute si estendono invece tra i -10°C sulla costa, i -11-14°C in basso e medio Belgio, i -15 sugli altipiani dell'alto Belgio e i -19°C nelle valli delle Ardenne.

Mediamente si riscontrano dai 2-3 giorni della costa ai 12 giorni annuali di temperature al di sotto dei 10°C. Si conta anche un massimo di 4 giorni all'anno di temperature che superano i 30°C.

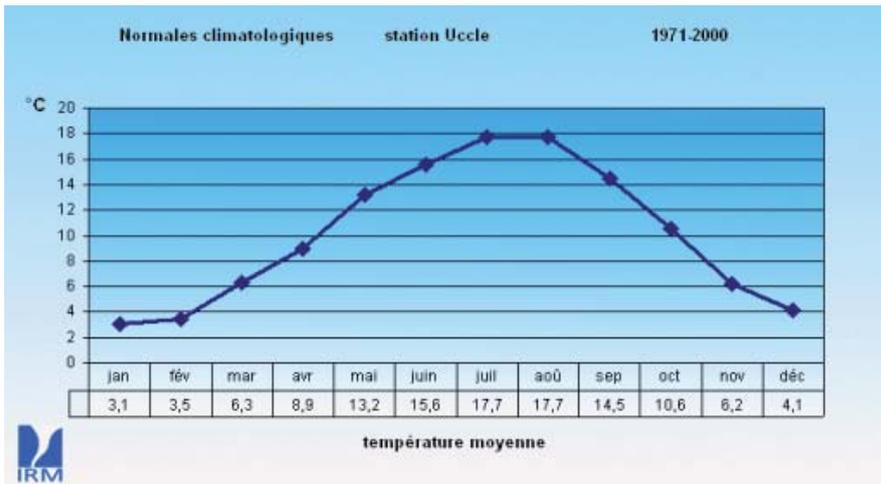


Grafico 01.03
Temperature medie mensili alla stazione di Uccle.
(fonte IRM).

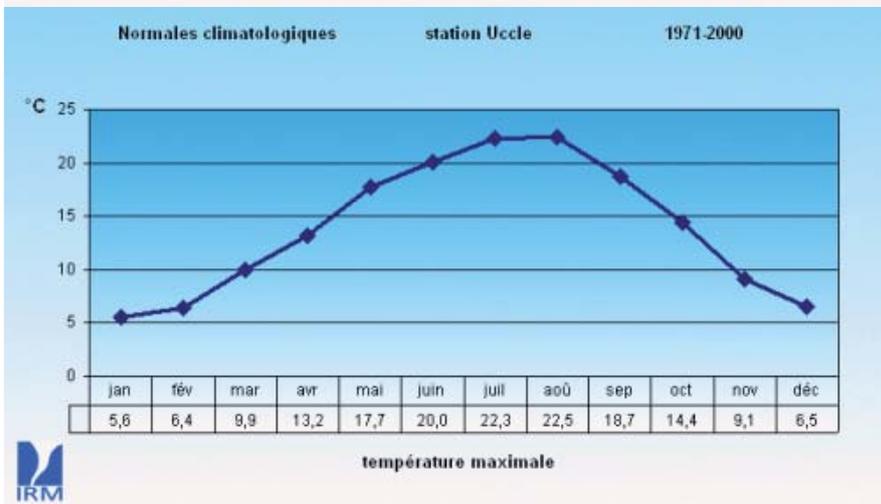
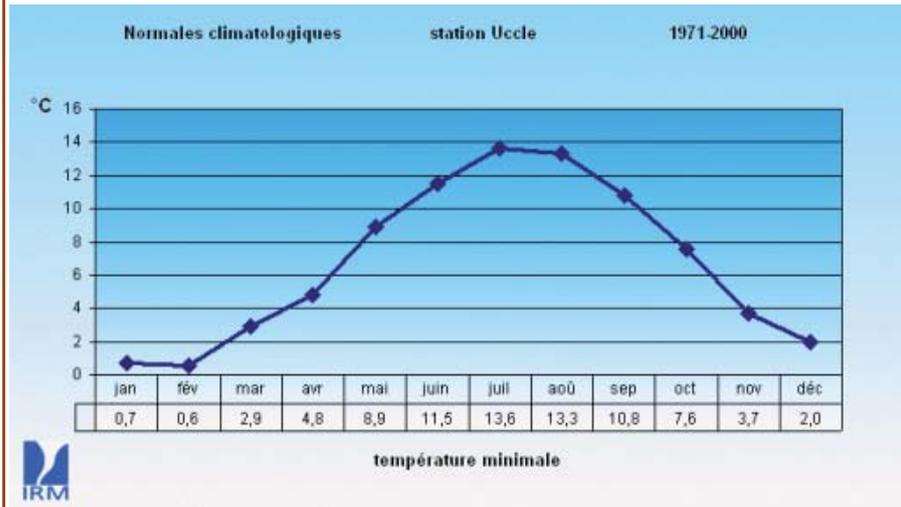


Grafico 01.04
Temperature massime mensili alla stazione di Uccle.
(fonte IRM).

Grafico 01.05
Temperature minime
medie mensili alla sta-
zione di Uccle.
(fonte IRM).



1.2.4 Le precipitazioni

Nel basso e medio Belgio si misura una media di 800mm d’acqua (precisamente tra 700mm e 850mm). In alto Belgio invece le quantità aumentano sensibilmente in funzione dell’altitudine, influenzate sensibilmente però anche dall’orientamento dei versanti in rapporto alla direzione dei venti portatori di piogge (Sud-Ovest).

La variazione della quantità di precipitazioni mensili può raggiungere il 40-50% secondo il mese, il che significa che ci si può aspettare due volte su tre una quantità di precipitazioni mensili comprese tra il 50 ed il 150% del valore normale.

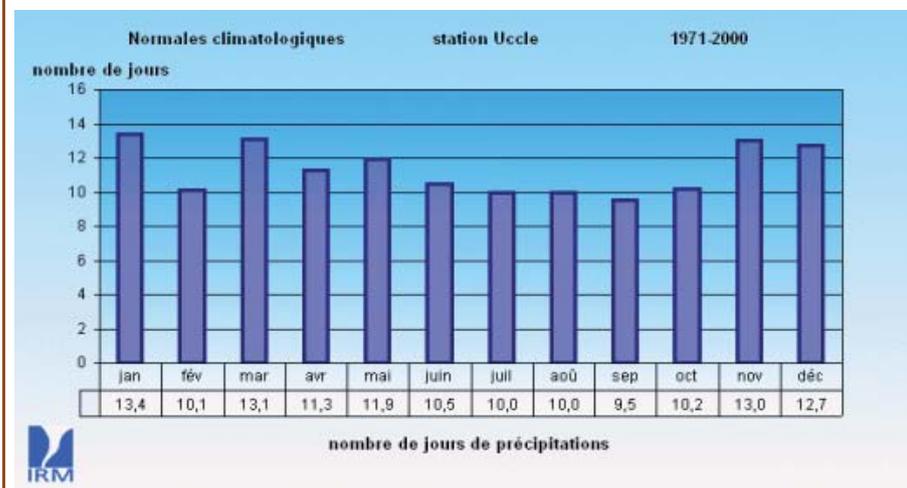
La variazione del valore annuale è invece del 15%.

Ci sono in media 200 giorni all’anno di pioggia nella maggior parte del Belgio, aumentando leggermente a Sud (da 216 a 230 sulle alte Fagnes) e diminuendo verso la costa (182 giorni).

In Dicembre e Gennaio si hanno i valori di precipitazioni più alti in tutto il paese (dai 15 ai 20 giorni), mentre in Maggio ed Agosto si riscontrano i valori più bassi (compresi tra i 13 ed i 17 giorni).

A livello mensile, la variazione del numero di giorni di precipitazioni è di 5 giorni, il che significa che non ci si deve attendere meno di 8 giorni al mese di piogge, ne più di 25.

Grafico 01.06
Giorni medi di precipitazioni, rilevati dalla stazione di Uccle.
(fonte IRM).



Le precipitazioni si verificano, nella maggior parte dei casi, in una pioggia leggera e continua, che porta solitamente 1-2 mm/h d'acqua. In una giornata tipica di si riscontrano dai 2mm ai 4mm d'acqua in 24h, ad eccezione delle Ardenne, dove l'intensità è mediamente 2 volte più importante.

In caso di forti rovesci si va da 1mm a 4 mm d'acqua al minuto, senza mai sorpassare i 5mm/min.

Dei forti temporali possono portare dai 30 agli 80mm di precipitazioni, arrivando a 100mm in un paio d'ore in caso di tempeste particolarmente violente.

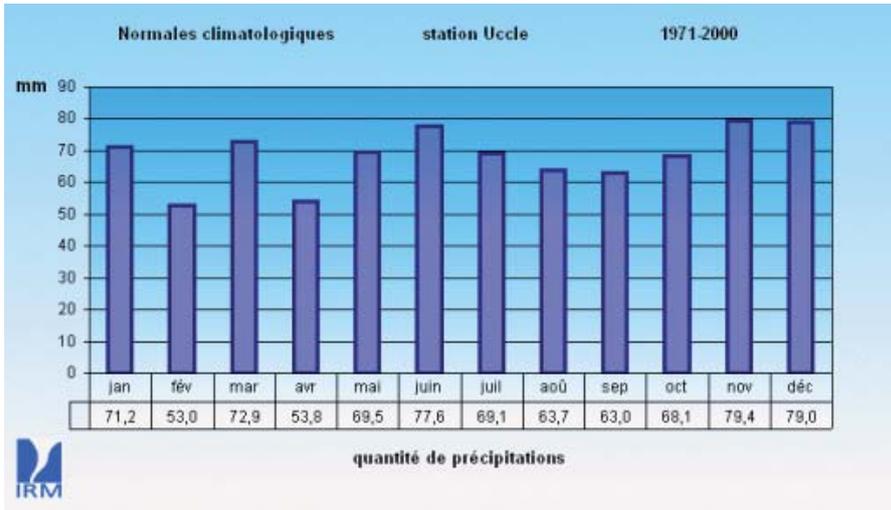


Grafico 01.07
Quantità media di precipitazioni mensili rilevate dalla stazione di Uccle.
(fonte IRM).

La neve risulta invece un fenomeno poco rilevante nel basso e medio Belgio: un anno ogni due lo spessore massimo di precipitazione nevosa non oltrepassa i 6-13 cm.

Sulle creste delle Ardenne il massimo oltrepassa i 30cm, raggiungendo i 70-80cm.

Solitamente la prima neve arriva nella seconda metà di novembre, con un anticipo di circa 15 giorni sulle Ardenne, mentre le ultime nevicate non sono mai andate oltre l'inizio di Aprile (fine aprile sulle Ardenne).

1.2.5 L'irraggiamento solare

L'energia che ci viene dal sole rappresenta quasi la totalità dell'energia disponibile sulla terra. Oltre all'apporto diretto sotto forma di luce e calore, essa è all'origine

della biomassa (grazie alla fotosintesi), del ciclo dell'acqua, dei venti, delle correnti oceaniche e, sotto forma immagazzinata, delle riserve di gas, petrolio e carbone.

Le uniche risorse energetiche non solari sono il calore della terra (la geotermia, che però offre meno di 1W/m²), le maree e l'energia nucleare (per fissione e in futuro forse per fusione).

L'energia del sole è prodotta per reazione di fusione termonucleare, i nuclei dell'idrogeno si uniscono ai nuclei di elio, liberando di conseguenza dell'energia. Questa energia è emessa nello spazio dalla superficie del sole, notoriamente sotto forma di onde elettromagnetiche. Lo spettro dell'irraggiamento corrisponde all'emissione di un corpo nero portato a 5800°K, dove il massimo è situato nello spettro visibile.

La quantità media di energia solare che incide ortogonalmente, nell'unità di tempo, su una superficie unitaria posta al di fuori dell'atmosfera, prende il nome di costante solare ed assume il valore medio di 1353 W/m².

L'intensità dell'irraggiamento solare si attenua nel passaggio attraverso l'atmosfera: una parte di radiazione viene riflessa verso lo spazio, una parte è diffusa in tutte le direzioni dalle molecole dei gas atmosferici e dal vapore acqueo, una parte viene assorbita dalle molecole dell'atmosfera e da queste riemessa come radiazione infrarossa .

L'assorbimento e la diffusione atmosferica hanno l'effetto di ridurre l'intensità della radiazione su tutte le lunghezze d'onda; un'ulteriore riduzione si ha poi in corrispondenza alle lunghezze d'onda caratteristiche dei diversi gas e vapori presenti nell'atmosfera.

La parte di irraggiamento che raggiunge direttamente il suolo costituisce la radiazione diretta, mentre l'irraggiamento diffuso è costituito da fotoni diffusi dall'atmosfera (aria, nuvole, aerosol).

L'albedo invece è la parte riflessa dal suolo e dipende dai dintorni del luogo.

La struttura della radiazione incidente varia con le condizioni meteorologiche: con tempo coperto, si considera isotropo, vale a dire che si riceve un irraggiamento identico da tutte le direzioni della volta celeste.

La radiazione diretta, preponderante rispetto alla diffusa in condizioni di cielo sereno, tende a ridursi all'aumentare dell'umidità e della nuvolosità presente nell'aria, fino ad annullarsi in condizioni di cielo completamente coperto.

Tabella 01.01
Percentuali approssimate della radiazione solare.

Radiazione solare	Condizioni atmosferiche							
	Cielo sereno	Nebbia	Nuvoloso	Disco solare giallo	Disco solare bianco	Sole appena percettibile	Nebbia fitta	Cielo coperto
diretta	90%	50%	70%	50%	40%	0%	0%	0%
diffusa	10%	50%	30%	50%	60%	100%	100%	100%

Dai dati climatici della città di Bruxelles (fonte IRM), otteniamo i seguenti valori medi mensili di irraggiamento su un piano orizzontale:

Tabella 01.02
Valori di radiazione diretta (Hbh), diffusa (Hdh) e globale (H) su un piano orizzontale a Bruxelles e percentuali.

	n°giorni	Hbh [kWh/m ² giorno]	Hdh [kWh/m ² giorno]	H [kWh/m ² giorno]	Hb%	Hd%
gennaio	31	0,72	2,34	3,06	23,53	76,47
febbraio	28	1,44	4,68	6,12	23,53	76,47
marzo	31	3,06	8,28	11,34	26,98	73,02
aprile	30	5,22	12,60	17,82	29,29	70,71
maggio	31	7,20	16,74	23,94	30,08	69,92
giugno	30	7,56	18,00	25,56	29,58	70,42
luglio	31	6,48	16,38	22,86	28,35	71,65
agosto	31	5,76	14,40	20,16	28,57	71,43
settembre	30	4,68	10,80	15,48	30,23	69,77
ottobre	31	2,52	6,48	9,00	28,00	72,00
novembre	30	0,90	3,06	3,96	22,73	77,27
dicembre	31	0,54	1,80	2,34	23,08	76,92

Dove:

Hbh [kWh/m² giorno]= radiazione solare diretta.

Hdh [kWh/m² giorno]= radiazione solare diffusa.

H [kWh/m² giorno]= radiazione solare globale.

Ottenendo il grafico

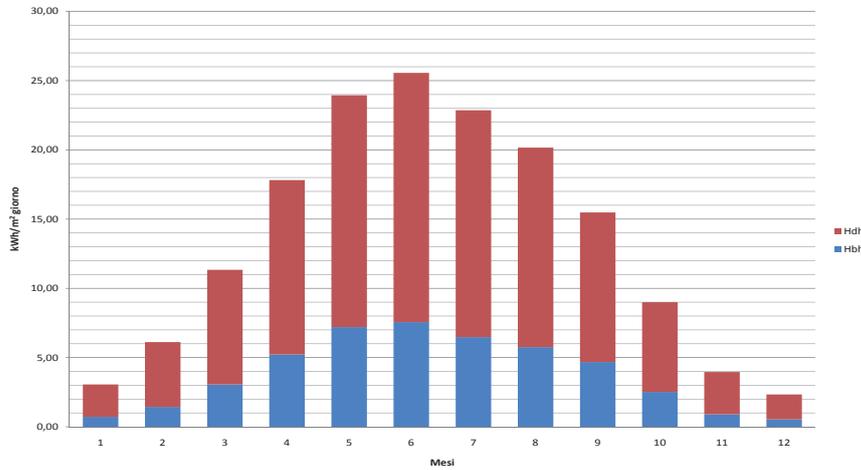


Grafico 01.08
Valori di radiazione diretta (Hbh), diffusa (Hdh).

Osservando i valori percentuali, in particolare, si nota che la radiazione diffusa rappresenta in media il 70% della radiazione solare globale incidente su una superficie orizzontale, concordemente con la tabella 01.02.

Per un osservatore che dalla Terra osservi il cielo, il percorso del Sole sulla volta celeste assume la forma di un arco che varia sia durante il corso dell'anno che con la latitudine del luogo. Durante il corso dell'anno la durata delle ore di luce ed il percorso del sole subiscono delle modifiche al variare delle stagioni. La durata di luce è massima al solstizio d'estate (21 Giugno) giorno in cui, alle ore 12, il sole raggiunge il punto più alto nel cielo nel corso di tutto l'anno; il caso opposto si verifica al solstizio d'inverno (21 Dicembre) mentre ai due equinozi di primavera (21 Marzo) e di autunno (21 Settembre) l'altezza del sole alle 12 è intermedia tra la massima e la minima e le durate del giorno e della notte sono esattamente pari a 12 ore in tutto il globo.

La posizione del sole rispetto ad un punto sulla terra è determinata dall'angolo di altezza solare α e dall'angolo azimutale γ .

Il primo è l'angolo verticale che la direzione collimata al sole forma con il piano orizzontale; il secondo è l'angolo orizzontale tra il piano verticale passante per il sole e la direzione del sud, ed è positivo verso est e negativo verso ovest.

Lo studio dell'irraggiamento su superfici che non si trovano in posizione orizzontale, ma inclinate, risulta quindi un semplice calcolo geometrico: si proietta la radiazione solare diretta Hbh sul piano inclinato secondo il suo angolo e si considera invece, per quanto riguarda la radiazione diffusa, solo quella porzione di volta celeste visibile dalla superficie.

1.3 Evoluzione storica

1.3.1 XII-XIV secolo

Si sanno poche cose sulle origini e sulla prima storia della città di Bruxelles: il riferimento più antico risale al XI secolo, col nome di Brosela (ovvero “borgo negli stagni”).

Di ciò che era la città antica oggi riscontra soltanto la differenziazione tra città bassa (la parte a ovest) e città alta (a est).

Nel borgo del XII secolo la maggior parte delle costruzioni erano situate nella città bassa, dove la Senne si divideva in differenti bracci, formando delle piccole isole, mentre la piana alluvionale si estendeva verso Ovest.

Fu soprattutto la rilevanza dei trasporti sul fiume a determinare lo sviluppo commerciale di quella parte del borgo, collegandolo, tramite il Rupel, al fiume Escaut e quindi al mare.

La città con il suo porto si trovava inoltre sul tracciato del cammino che collegava tra loro le città di Colonia e di Bruges, di cui si trova traccia nelle Rue de Flandre, Rue du March aux Poulets, Rue du Marché aux Herbes e Rue de la Madeline, secondo l'asse Sud-est Nord-ovest (corrispondente all'odierno percorso ormai secondario che porta dalla Biblioteca reale alla Porte De Flandres, passando a fianco della Grand Place e per la chiesa di St.e Catherine).

La vita della città bassa si sviluppava intorno a una grande piazza aperta, dal nome di Nedermerct (mercato in basso), quella che poi divenne la Grand Place, attorno a cui i duchi fecero costruire delle Halles in legno.

La città alta invece era caratterizzata da due centri costruiti: la collina di Cou-denberg (“il monte freddo”, zona dove ora sorge il Palazzo Reale) e la collina di Treurenberg (“monte delle lacrime”).

Sul primo si situava un castello costruito dai duchi di Brabante nel XI secolo mentre ai suoi piedi si estendeva il quartiere ebraico, specializzato nelle attività bancarie e di prestito sotto la protezione dei duchi.

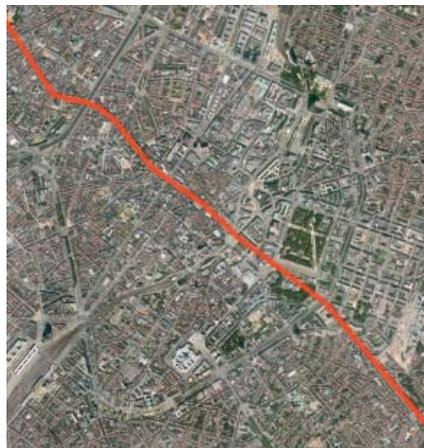
Sul Treurenberg invece sorgeva la chiesa principale della città, consacrata a St. Michel e St.e Gudule, che diventerà poi la Cattedrale.

Si trattava quindi, già a quei tempi, di una città policentrica.

La maggior parte delle costruzioni erano in legno, quindi tipiche di un villaggio,



01.05
Localizzazione del Fiume Escaut.



01.06
Il percorso Brugges-Colonia.

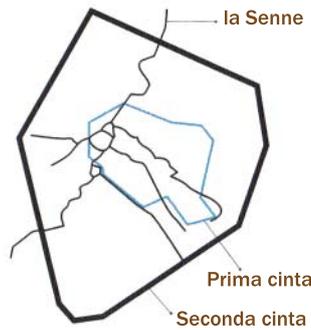
se non alcune “maison fortes” in pietra (gli “stenen”) ed alcuni monumenti, come le chiese, che indicavano il carattere urbano che Bruxelles già possedeva nel XIII secolo.

E' pressoché certo che la costruzione della prima cinta muraria cominciò agli inizi del XIII secolo: si trattava di un muro di circa 4 km costellata di una cinquantina di torri e dotato di 7 porte.

Il secondo muro fu invece costruito nel XIV secolo (con inizio dei lavori nel 1357, per una durata di 20 anni), comprendendo un territorio di circa tre volte maggiore rispetto alla prima cinta. La sua costruzione fu una conseguenza dell'introduzione delle armi da fuoco, con una più lunga gittata che portò alla necessità di allontanare il confine dal nucleo della città.

Si trattava di un muro di circa 8km di lunghezza e 74 torri, contornato da un fossato e una scarpata in terra, dalla forma pentagonale (viene infatti comunemente chiamato “le Pentagone”) che comprendeva, oltre ad alcuni quartieri costruiti, anche spazi non costruiti a destinazione agricola (conservata fino al XIX secolo).

Il primo muro non fu abbattuto, ma venne mantenuto per funzioni di controllo interno della città, in caso d'incendio o rivolta e come casello daziario. Al di fuori della seconda cinta restavano i villaggi che erano comunque sottoposti alle leggi della città di Bruxelles, ovvero quei villaggi che oggi costituiscono le municipalità di Bruxelles-capitale.



Il primo muro non fu abbattuto, ma venne mantenuto per funzioni di controllo interno della città, in caso d'incendio o rivolta e come casello daziario.

Al di fuori della seconda cinta restavano i villaggi che erano comunque sottoposti alle leggi della città di Bruxelles, ovvero quei villaggi che oggi costituiscono le municipalità di Bruxelles-capitale.

Al di fuori della seconda cinta restavano i villaggi che erano comunque sottoposti alle leggi della città di Bruxelles, ovvero quei villaggi che oggi costituiscono le municipalità di Bruxelles-capitale.

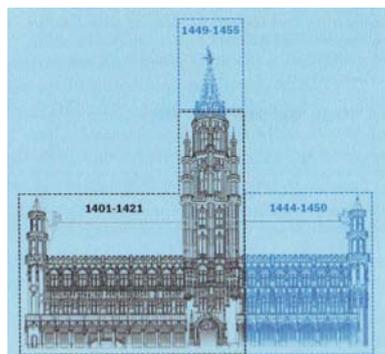
1.3.2 XIV-XVII secolo

Di quei tempi, molte città cominciarono a costruire edifici in pietra come segno di potenza politica, per accrescere il proprio prestigio agli occhi del Duca.

Anche Bruxelles, tra il 1401 ed il 1421, un edificio con funzione amministrativa: l' Hotel de Ville, opera dell'architetto Jaques Van Thienen, la cui facciata principale sulla Nedermerct (che ormai stava diventando un simbolo di rilevanza politica) era affiancata da una torre quadrata dotata di un grande portone.

Nel 1444, probabilmente a seguito della riforma amministrativa del 1421 secondo la quale la nobiltà fu costretta a spartire il controllo della città con le corporazioni, fu aggiunta un'ala in stile gotico fiammeggiante, sempre affacciata sulla Grand Place, ed una guglia in cima alla torre, coronata poi nel 1455 da una statua dorata di Saint-Michel.

A sottolineare lo stretto legame tra politica e commercio, l'Hotel de Ville si trovava a diretto contatto con la Halle au draps, il mercato della lussuosa



01.07
Le due cinte murarie.

01.08
La facciata dell' Hotel de Ville

stoffa brussellese che attirava commercianti da tutta Europa.

In questo periodo Bruxelles inizia a diventare la sede preferita dei sovrani, prendendo il posto di Leuven, che risiedevano nel palazzo di Coudenberg, portando il quartiere a diventare un centro internazionale e favorendo lo sviluppo economico della città.

L'autorità ducale fu definitivamente stabilita a partire dal XV secolo, con la costruzione di edifici di servizi tra cui l'ufficio delle imposte e i tribunali e, nel XVI secolo, con l'edificazione della Maison Du Roi (in fiammingo Broodhuis, "casa del pane", in quanto costruito sulla vecchia Halle du Pain) ad opera di Carlo V, duca di Brabante e re di Spagna.

Nello stesso periodo vennero costruite, sempre affacciate sulla Grand-Place, le case delle corporazioni, a rimarcare il loro ruolo nella vita politica della città (furono di fatto ammesse al consiglio della città).

Alla fine del secolo però, volendo Louis XIV far valere i propri diritti sui Paesi Bassi, spostò la frontiera della Francia verso nord, causando un periodo di continue guerre, ordinando nel 1695 il bombardamento di Bruxelles.

Quest'operazione distrusse più di 4000 edifici nella città con particolare accanimento sulla Grand-Place da parte del maresciallo Villeroi (un'azione dichiarata "tanto barbara quanto inutile" anche da Napoleone), causando anche la perdita degli archivi comunali, situati a fianco dell'Hotel de Ville.

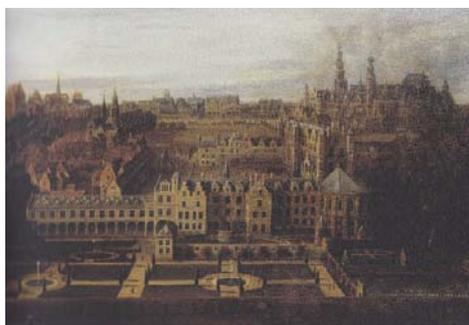
L'unico elemento a sopravvivere al bombardamento fu la facciata principale dell' Hotel de Ville.

Durante la ricostruzione, il governatore Maximilien-Emmanuel di Baviera voleva ricostruire tutta la piazza in stile classico omogeneo, nello stile delle piazze francesi del XVII secolo, ma non riuscì ad imporre la propria volontà che sul il fronte est, mentre il resto venne riedificato secondo uno stile barocco sontuoso secondo la volontà degli artigiani e dei cittadini.

Il bombardamento offrì la possibilità di realizzare un nuovo sviluppo urbanistico, eliminando le irregolarità ereditate dal medioevo.

Tra i provvedimenti più importanti vi fu l'obbligo di ricostruire le case in pietra, sostituendo il legno.

Sempre in questo periodo si sviluppò, per la presenza dei sovrani, il quartiere de La Montagne de la Cour, ricco di palazzi, intorno alla fortezza di Coudenberg, che continuò ad espandersi con costruzioni successive, assumendo un aspetto eteroclitico, fino ad un disastroso incendio nel 1731 che lo ridusse in cenere.



01.09
Place des Bailles, sulla Montagne de la Cour.

01.10
Il giardino dietro la fortezza.
(fonte: «Regardes sur le développement urbain de Bruxelles»)

Le sue vestigia archeologiche sono ancora visibili al di sotto dell'attuale Place Royale.

A partire dal XIV secolo la Senne aveva inoltre iniziato a non essere più adeguata alle necessità commerciali, in quanto caratterizzata da regimi troppo variabili stagionalmente.

Venne quindi decisa la creazione di un canale che collegasse Bruxelles a Willebroek. Ma l'inizio dei lavori fu ritardato a causa di un difficile accordo con la città di Malines, posseditrice del diritto di pedaggio sulla Senne e dell'opposizione dei cittadini Brussellesi, cui vennero imposte nuove tasse sul commercio dei beni alimentari.

Il nuovo canale (uno dei primi d'Europa), cominciato nel 1551 e finito dieci anni più tardi, permise di ridurre il percorso per raggiungere la città di Anversa da 120km a 30km, riducendo il tempo di percorrenza da 8 a 2 giorni.

La creazione di questo canale indusse lo spostamento del porto e lo sviluppo di tutta l'area a nord-ovest tra le due cinte murarie, fino ad allora ancora poco costruita, diventando anche un prestigioso quartiere residenziale borghese.

1.3.3 XVIII-XIX secolo

Il XVIII secolo si aprì all'insegna dei movimenti sociali, ma fu comunque un periodo di crescita economica che portò ad uno sviluppo dell'insieme urbano della città di Bruxelles.

Principalmente, fu in questo secolo che vennero pavimentate le strade, rendendo la città più accessibile per i collegamenti via terra con Gand, Leuven e Mons.

01.11
*Pianta topografica
della città di Bruxelles,
L.A. Dupuis, 1777*



Inoltre Charles de Lorraine fece costruire la strada tra Bruxelles e Lussemburgo, collegando così la città con Vienna, capitale imperiale.

Fino alla fine del secolo però la città resta confinata entro la seconda cinta muraria, ad eccezione di qualche piccolo agglomerato sorto intorno alle porte, sviluppatosi occupando gli spazi liberi sottratti ai campi agricoli e quelli liberati a seguito dell'editto austriaco del 1784, che imponeva la soppressione dei conventi.

Iniziano però i primi lavori urbanistici caratterizzati dalla considerazione di parti

della città come degli insiemi urbanistici: la sistemazione del Coudenberg, con la creazione del quartiere reale, è ancora uno dei più grandi progetti urbanistici conosciuti dalla città.

La collina fu sottoposta ad opere di livellamento per la creazione della piazza reale, sorta sulle rovine del palazzo ducale, di cui vennero però conservati i livelli sotterranei come cantine, e del parco reale. Immagine piazza reale

Tutta la piazza segue lo stile classicheggiante tipico francese, con l'imposizione di fronti uniformi anche agli ordini religiosi . immagine chiesa St. Jacques

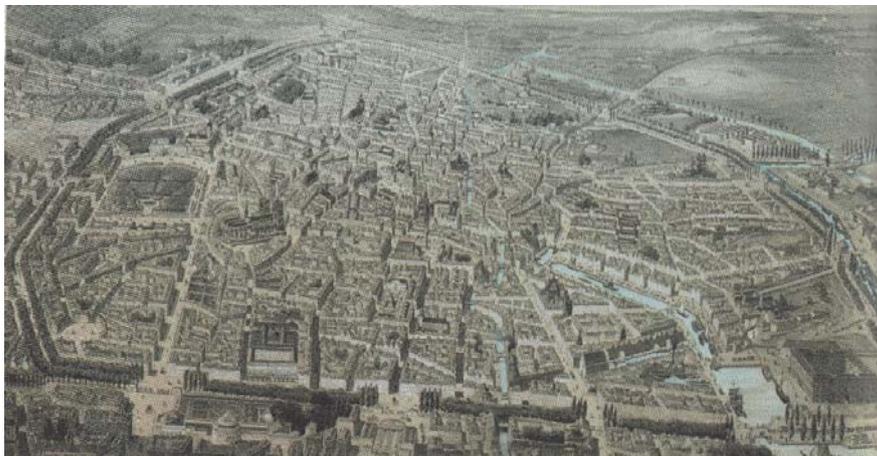
Abbattimento del muro di cinta

Durante il 1700 le mura di cinta della città iniziarono a non essere più utili e di ostacolo all'espansione della città: venne quindi ordinato l'abbattimento alla fine del secolo, nel 1781, su ordine di Joseph II, nonostante fossero uno dei luoghi preferiti dai Brussellesi per passeggiare data la vista che si estendeva sui territori di campagna circostante.

Questo rientrava nel piano austriaco di miglioramento delle infrastrutture commerciali e comportò l'abbattimento di alcune porte e del muro tra la porta di Leuven e la porta di Namur.

Tuttavia, l'occupazione francese nel 1794 fece interrompere le operazioni, in quanto la città venne utilizzata come presidio.

Nel 1810 Napoleone ne decise il definitivo abbattimento con un decreto, ma non fu che nel periodo olandese che fu terminato lo smantellamento, sostituendo al muro un viale alberato.



01.12
Panorama di Bruxelles,
1850 circa.

La struttura larga e contornata d'alberi ne fece il percorso preferito per le passeggiate dei cittadini, ponendosi come spazio di transizione tra la città e la campagna che ancora la circondava.

Furono però mantenute fino al 1860 delle palizzate in legno all'esterno del boulevard e furono costruite delle stazioni per il pagamento del pedaggio in stile neoclassico negli snodi dove si trovavano le porte, mentre il casello daziario di Porte de Namur fu spostato all'esterno, verso il Bois de La Cambre.

Lo smantellamento della cinta muraria aumentò di circa un quarto la superficie della città e i costi furono recuperati con la vendita dei terreni liberati: la zona Ovest divenne un'importante attrattiva per gli investitori, data la prevista creazione del canale di Charleroi, mentre ad est il paesaggio collinare donava una

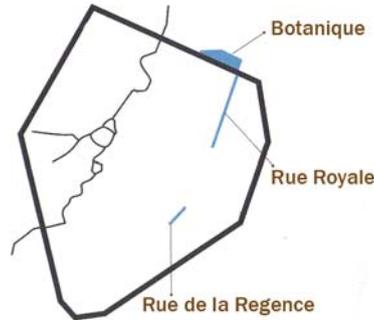
ottima vista, rendendo quindi la zona appetibile per quartieri residenziali per la popolazione più ricca.

Inizio XIX secolo

Durante l'occupazione francese, Bruxelles perse parte della sua importanza

commerciale, recuperando prestigio con la reintegrazione dei Paesi Bassi meridionali al Reame dei Paesi Bassi, quando la città divenne sede alternata con l'Aia degli stati generali, dotandosi quindi di numerosi edifici ufficiali.

Viene in quest'epoca creata, nella città alta, una nuova arteria Nord-Sud, con lo scopo di estendere il quartiere reale prolungando la Rue Royale fino alla porta di Schaerbeek e creando la Rue de la Regence verso sud fino alla



chiesa di Marie de Sablon.

Si dovette però attendere il 1830, anno della rivoluzione belga, perché Bruxelles si vedesse attribuito il ruolo di capitale incontrastata del territorio circostante, ruolo che ne determinò la trasformazione da città autonoma a città integrata e appartenente ad uno stato.

In quel periodo Bruxelles conobbe un'accelerazione dell'attività economica ed industriale, essendo stata una delle prime città del continente a prender parte alla rivoluzione industriale, determinata anche dai grandi lavori sulle infrastrutture, quali l'approfondimento dei canali esistenti e l'apertura del canale di Charleroi, ma soprattutto grazie all'inaugurazione della ferrovia nel 1835, quando partì il primo treno passeggeri del continente europeo dalla stazione dell'Allée Verte, situata in zona industriale, fuori dal Pentagono, vicino al canale di Willebroek.

In breve tempo però questa stazione divenne troppo piccola per la città: venne quindi costruita la Gare du Nord dove attualmente si trova la Place Rogier, alla fine della Rue Neuve, sul bordo esterno del viale del Pentagono, mentre nel 1869 venne inaugurata la Gare du Midi, una stazione in stile neoclassico con ingresso monumentale, a sottolineare il ruolo di nuove porte della città.

La creazione delle stazioni fu uno spunto per la costruzione e la riqualificazione dei quartieri circostanti.

Durante il XIX secolo si procedette poi alla rivalorizzazione del centro antico, che nei secoli precedenti era stato lasciato andare in rovina a causa dei periodi turbolenti vissuti dalla regione, aggravati da una mancanza di mezzi finanziari, uno scarso interesse ed un cambiamento dei gusti.

Verso la metà del secolo è cominciato a sorgere l'interesse per i vecchi monumenti, interesse sostenuto dalla fondazione dello Stato Belga, in particolare indirizzato agli antichi edifici prestigiosi.

L'attenzione si concentrò in particolare sull'Hotel de Ville, di cui il restauro della torre fu intrapreso nel 1840 sotto la direzione dell'architetto T. F. Suys, seguito dal 1860 da Pierre-Victor Jamaer, che fu incaricato inoltre del rimaneggiamento

01.13
Il prolungamento a Nord della Rue Royale.

dell'interno.

Jamaer si concentrò in particolare sulla parte medievale, basandosi sullo studio scientifico dell'architettura gotica, dando quindi un'interpretazione molto personale ai lavori.

L'altro edificio ricco di storia presente sulla Grand-Place al tempo del XIX secolo era la Maison du Roi, che presentava un carattere ibrido a seguito di numerose distruzioni e trasformazioni. Il suo restauro era quindi una conseguenza logica del recupero di tutta la Grand-Place.

I lavori cominciarono nel 1861, sempre ad opera dell'architetto Jamaer, mirati a ristabilire lo stato originale dell'edificio sulla base degli antichi disegni originali. I lavori procedettero però troppo lentamente a causa dello stato troppo alterato dell'edificio, quindi, nel 1875, si decise di abbattere l'originale ed operare una ricostruzione secondo i principi di Viollet-le-Duc.

Con i soldi lasciati in eredità dall'inglese John Waterloo Wilson, nel 1887 fu aperto, al secondo piano della Maison du Roi, il Museo della città, con lo scopo di ricordare la storia della città e di conservarne il patrimonio architettonico ed urbanistico.

Come altri quartieri, nel XIX anche la Grand-Place corse il rischio di essere distrutta al fine dei piani di espansione. Prima vittima fu la Maison d'Etoile nel 1853, abbattuta per consentire l'allargamento della Rue d'Etoile.

Il successivo avvento del borgomastro Charles Buls però comportò l'impegno della città nella difesa della Grand-Place come insieme urbanistico, facendo approvare nel 1883 dei provvedimenti che impedissero definitivamente l'abbattimento della piazza.



01.14
L' Hotel de Ville,
C. Dommershuizen,
1887



01.15
La Maison Du Roi



01.16
Le facciate della
Grand-Place, F.J. De-
rons, 1727-1747.

La città si caricò della maggior parte dei costi di restauro degli edifici circostanti, costringendo i proprietari a non intraprendere autonomamente lavori sulle facciate, né di apporre pannelli o iscrizioni senza autorizzazione.

Il restauro si basò su degli acquerelli del 1727 rappresentanti le facciate dell'intera piazza, opera di Ferdinand-Joseph Derons.

A partire dal 1998 la Grand-Place e i suoi dintorni sono diventati patrimonio mondiale dell' UNESCO.

L'interramento della Senne

Con la creazione di nuovi canali, il fiume non svolgeva più il suo ruolo di importante via di comunicazione, divenendo più che altro una via di scarico di rifiuti urbani ed industriali: attorno ad essa si sviluppavano ormai solo quartieri popolari, caratterizzati da una scarsa igiene, che vi riversavano i propri rifiuti.

Dopo l'epidemia di colera del XIX secolo, la colpa fu attribuita all'ambiente malsano della Senne (anche se già si sapeva che il batterio era giunto da con le spedizioni coloniali in oriente).

Il problema igienico andava a sommarsi al regime irregolare del fiume, che frequentemente debordava allagando le strade della Ville Basse, seccandosi altrettanto frequentemente a causa dell'uso industriale delle sue acque a monte della città.

Questa situazione indusse la borghesia a fuggire dalla città bassa, spostandosi ad est riducendo quindi le entrate fiscali dell'amministrazione comunale.

A partir dal 1859 furono quindi fatti studi e proposte per risolvere la situazione e all'amministrazione pervennero più di quaranta progetti, tra cui fu scelto il più radicale. Esso consisteva nella completa copertura del fiume, costruendo al suo posto un boulevard affiancato da case prestigiose seguendo la tendenza di tutta Europa in materia di abbellimento delle città, seguendo il modello parigino.

Inoltre erano necessari, per la capitale del giovane stato belga, una serie di boulevard di prestigio.

Per rendere effettivo il piano dell'architetto Léon Suys fu necessario attendere il 1867, con l'applicazione della «legge di sfruttamento» che permise la demolizione delle case dei quartieri popolari che sorgevano sui fianchi del fiume, realizzando la canalizzazione del fiume in un tunnel sotterraneo sovrastato dal boulevard di circa 30 metri di larghezza, chiudendo anche il secondo braccio della Senne (la petite Senne) che scorreva al di fuori della seconda cinta.

Il progetto, terminato nel 1871, diede origine quindi a 4 boulevards: Boulevard Lemonnier, che parte dalla nuova Gare du Midi prolungandosi in Boulevard Ans-

01.17
Piano per l'interramento della Senne, L.Suys, 1866



pach fino alla piazza De Brouckère, dove si biforca in Boulevard Adolphe Max e Boulevard Jacqmain.

Il progetto di Suys comprendeva inoltre due edifici, la Bourse e le Halles Centrales (queste ultime abbattute nel 1958).

Il tracciato reale

Il quartiere reale, costituito nel XVII secolo, giocò un ruolo determinante nello sviluppo della città alta e dei quartieri esterni che si avvicinavano durante il XIX secolo.

La Rue de la Loi fu estesa verso la fine degli anni 1830 oltre la cinta del Pentagono, fino all'odierno Parco del Cinquantenario.

Dal 1866 al 1872 la Rue de la Regence fu estesa oltre la chiesa del Sablon, diventando un vero e proprio asse monumentale, secondo le idee diffuse nel XIX secolo riguardo l'abbellimento delle città, sotto la volontà delle autorità di creare una strada esemplare, piena di edifici pubblici prestigiosi.

Il palazzo di belle arti (attualmente Museo di belle arti), il Conservatorio di musica e la Sinagoga si trovano così riuniti in un'unica linea, culminante con il maestoso Palazzo di Giustizia, opera dell'architetto Joseph Poelaert, la cui prima pietra fu posata nel 1866.

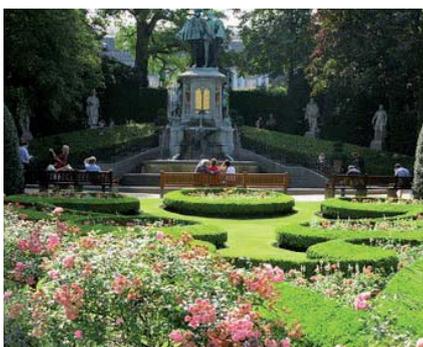
Al fine di permettere la costruzione di questo palazzo gigantesco, furono ordinate numerose espropriazioni tra i quartieri popolari, che causò delle proteste durante la cerimonia di inaugurazione.

Sempre su questo tracciato, fu intrapresa anche la sistemazione del Petit Sablon, ad opera dell'architetto Henri Beyaert, che concepì un piano per un giardino con fontana contornata di statue, abbattendo alcune case circostanti, dimostrando che le idee di conservazione dell'architettura medievale, tipiche del periodo, faceva non poche discriminazioni valorizzando solo grandi edifici e chiese.

Secondo questa filosofia fu infatti conservata la chiesa gotica dei Sablon, che a partire dal 1874 fu profondamente restaurata secondo un libero e fantasioso stile neogotico degli ornamenti.

1.3.5 Le estensioni oltre il Pentagono

La città di Bruxelles si estese per la prima volta al di fuori della seconda cintura impiantando un nuovo quartiere sull'altipiano sabbioso in prossimità del Palazzo Reale, ad ovest del Maelbeek, un affluente della Senne, luogo dove i



01.18
Il giardino del Petit Sablon.



01.19
La chiesa di Marie Du Sablon.

Brussellesi si recavano la domenica.

Il quartiere Léopold, dal nome del primo re Belga che si fece protettore di questa operazione immobiliare, si sviluppa a partire dal 1837, su disegno dell'architetto T. F. Suys, con l'obiettivo di donare alla città un quartiere residenziale prestigioso per la cittadinanza più ricca a fianco del parco della Warande, dove si trovava il Palazzo Reale, il parlamento, le ambasciate e la sede della Società Generale del Belgio. Molta dell'aristocrazia che vi si trasferì proveniva dai quartieri del centro, che stavano subendo dei grandi cambiamenti a causa delle grandi opere.

Il quartiere fu strutturato secondo la visione classica dello spazio urbano: sei strade parallele partivano dal boulevard di cintura, delineando degli isolati allungati riempiti di case maestose.

La sua creazione portò allo spostamento del centro gravitazionale della città verso est, con conseguente creazione di una stazione ferroviaria, la Gare Léopold (oggi Gare du Luxembourg).

Fu inoltre creato un parco in stile giardino inglese, approfittando delle irregolarità della valle del Maelbeek, aggiungendo anche un ruolo scientifico, istituendo un giardino botanico dotato di alcune serre ed un parco zoologico.

Nel secolo successivo però la destinazione a case borghesi fu cambiata a favore della funzione terziaria, con la costruzioni di grattacieli.

Nel 1870 la città si espanse con profitto a Nord-Est del quartiere Léopold, in un territorio acquitrinoso, dove sorgeva il più grande stagno formato dal Maelbeek,

01.20
Parco di Square Marie-Louise.



meta di pomeriggi di relax dei cittadini e sede anche di un quartiere povero densamente popolato.

La città si estese in questa direzione secondo un sistema di più assi, di cui i principali delimitavano il 'quartier des squares' (quartiere delle piazze), seguendo la concezione tipica del XIX secolo di

abbellimento ed igiene delle città, creando un quartiere verde di case eleganti e riempiendo la maggior parte degli stagni.

L'architetto Gédéon Bordiau basò il proprio piano sullo sfruttamento dei dislivelli naturali del luogo, generando un asse principale su quattro terrazzamenti successivi creando una piazza all'incrocio con il secondo asse, ortogonale al primo, da cui si allontanano delle piccole strade trasversali.

Due palazzi, uno di belle arti ed una chiesa, inseriti nel piano iniziale, non furono realizzati e fino al 1890, buona parte del quartiere rimase invenduto e non costruito.

Ad Est del 'Quartier des squares' si trovava il plateau di Linthout, una zona malsana, avanzo della foresta de Soignes, sede delle esercitazioni della Guardia Civile.

Nel 1877, in occasione dei festeggiamenti per i cinquanta anni d'esistenza del



01.21
Il parco del Cinquantesimo nel 1880.
(fonte: 'Regards sur le développement urbain de Bruxelles').

Belgio, fu creato il Parco del Cinquantesimo, anche se, per mancanza di fondi, per il 1880 soltanto alcuni padiglioni in vetro e ferro furono terminati, mentre il completamento fu raggiunto nei seguenti trent'anni.

Il complesso comprendeva due ali ed un arco di trionfo al centro, che, oltre all'iconografia rappresentante il Belgio, si presentò come nuova porta della città, indicando il passaggio tra la città e la campagna.

Intorno al parco si instaurò anche un nuovo quartiere urbano.

Oltre che verso la zona del Maelbeek la città di Bruxelles si estese anche verso Sud-Est, in direzione del bosco della Cambre. L'avenue Louise fu creata per realizzare quindi la congiunzione tra il Pentagono e il polmone verde della regione, fino ad allora difficilmente raggiungibile.



01.22
L'avenue Louise nei primi anni del '900.
(fonte: 'Regards sur le développement urbain de Bruxelles').

Fu così creata una nuova area di passeggiate in prossimità del boulevard di cintura, che divenne parte del territorio della città nel 1864: si trattava di una via la cui larga parte centrale era coperta di ghiaia per il passaggio delle carrozze con sentieri laterali per pedoni e cavalieri, affiancati da entrambi i lati da castagni.

Fu su questa via che nel 1869 passò il primo tram del paese (un tram a cavalli), seguendo il tragitto proveniente dalla Rue Royale.



01.23
Il lago del Bois de la Cambre, 1900.
(fonte: 'Regards sur le développement urbain de Bruxelles').

01.24
'Il prato degli inglesi' al bosco della Cambre, 1900 circa, I. Hoeterickx

Lo scopo fu quello di creare una passeggiata borghese, ricca di alberi, panchine e statue, affiancata da case prestigiose.

La transizione tra l'avenue Louise e il bosco della Cambre fu sottolineata da due edifici neoclassici, precedentemente situati a Porte de Namur come caselli daziari, a simboleggiare lo spostamento delle porte della città.

Il piano di trasformazione in parco pubblico della parte periferica della Forêt de Soignes, inizialmente appartenente all'abbazia della Cambre, fu opera dell'architetto paesaggista tedesco Keilig, tra il 1862 ed il 1867.

Si tratta di un parco paesaggistico all'inglese che trae profitto dalla movimentazione naturale del terreno, con la creazione di sentieri sinuosi ed un lago con una piccola isola raggiungibile tramite un piccolo traghetto.

In occasione dell'Esposizione universale del 1910, tenutasi sul plateau di Solbosh situato a fianco del bosco della Cambre, il territorio della città si estese ancora, nel 1907, annettendo l'edificio dell'abbazia della Cambre ed i suoi giardini alla città, costruendo una serie di nuove strade per rendere l'esposizione accessibile dal centro, dando l'input per l'urbanizzazione di tutta l'area.

Durante il XIX secolo si presentava anche la necessità di un rimaneggiamento del sistema dei canali della città: da sempre mancava un collegamento con il sud del paese, in particolare con la città di Charleroi ed i canali che portavano a nord avevano bisogno di essere approfonditi ed allargati.

Il canale di Willebroek fu così adattato alle nuove esigenze e un nuovo porto fu costruito sulla piana di 'Tour et Taxis', su terreni appartenenti ai comuni di Laeken e Molenbeek, che furono annessi al territorio di Bruxelles nel 1897.

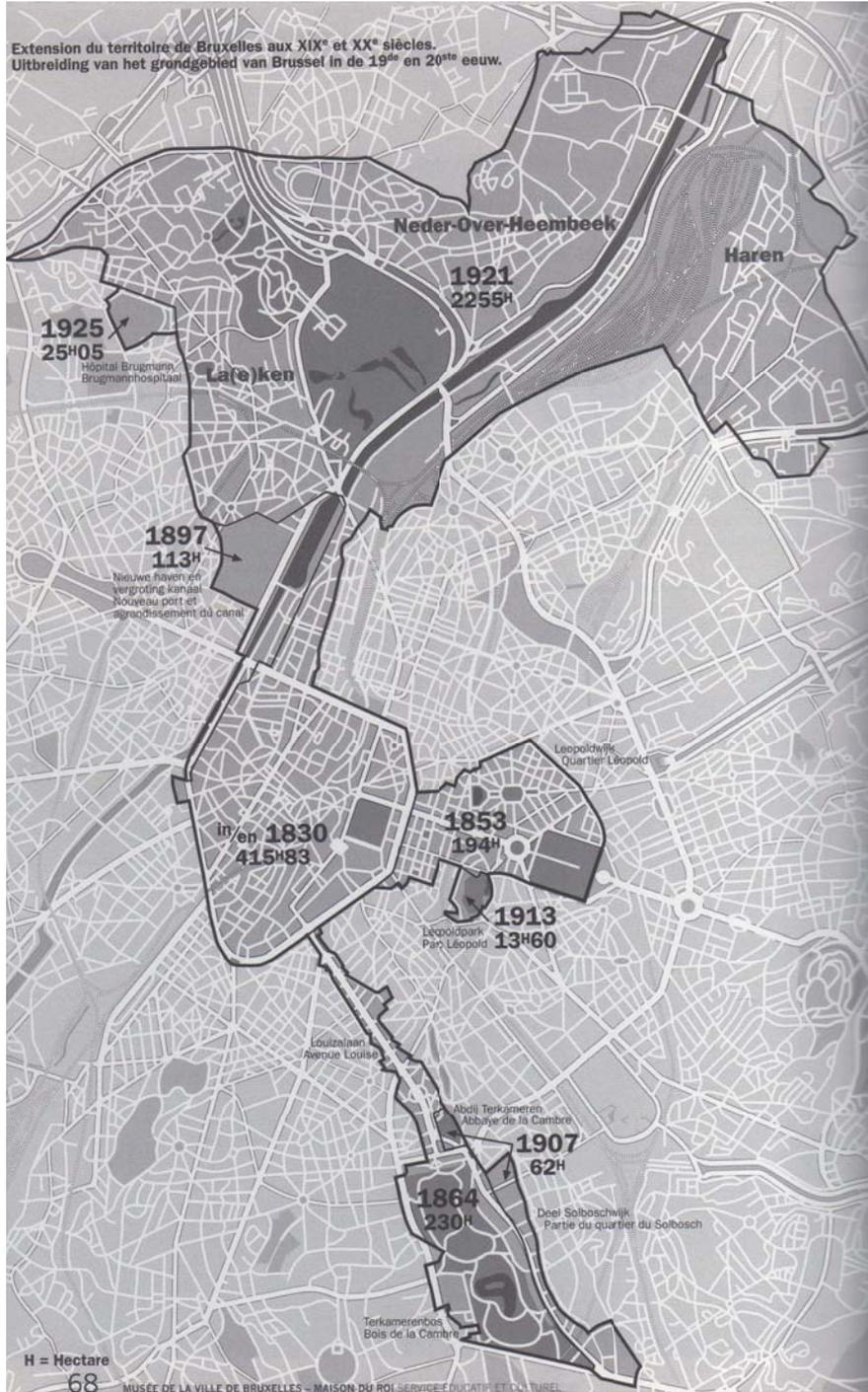
Vi furono installati anche una nuova stazione, sull'antica 'Gare de l'Allée Verte', ed i nuovi uffici della dogana.

A partire dal 1900 iniziarono i lavori di ristrutturazione del canale con la creazione di nuovi bacini con funzioni specifiche e la modernizzazione del sistema viario della zona, che durarono però a lungo, fino al 1922, anno d'inaugurazione del canale, a causa dello scoppio della prima guerra mondiale.

Al contempo fu anche approfondito il canale di Charleroi a partire dal 1879 e concluso nel 1933.

I due canali risultavano però ancora scollegati, perciò fu creato un nuovo percorso d'acqua che li mettesse in diretto contatto: la connessione fu effettuata alla piazza Saintelette, con un flusso d'acqua naturale da un canale all'altro.

Questi lavori comportarono un nuovo sistema viario intorno ai canali e la creazione di nuovi quartieri popolari direttamente connessi con il porto. Inoltre la creazione dei nuovi bacini e del nuovo porto resero inutile l'esistenza degli antichi bacini all'interno della città che furono quindi riempiti, dando occasione per



01.25
Le estensioni della città di Bruxelles.
(fonte: 'Regards sur le développement urbain de Bruxelles').

la creazione di una nuova arteria viaria che connettesse la Bourse e le nuove installazioni periferiche e una conseguente rivalorizzazione dei quartieri a Nord-Est.

La creazione di un pre-porto nella zona di Moplaisir, a Schaerbeek, come espansione già necessaria del nuovo porto, comportò l'annessione di nuovi territori alla città di Bruxelles: i comuni di Laeken, Neder-over-Hembeek e Haren furono aggiunti nel 1921.

Nel 1939 furono allungate le sponde del porto, che raggiunse così la sua forma definitiva.

1.3.6 XIX-XX secolo

Il monte delle Arti

Alla metà del XIX secolo si iniziò a proporre progetti per il recupero dell'antica Montagne de la Cour, ma difficoltà finanziarie si opposero alla loro esecuzione. Fino ad allora il quartiere era connesso al centro solamente tramite delle piccole stradine dalla forte pendenza, rendendo la percorrenza dell'asse principale Est-Ovest molto difficoltosa.

Si instaurò una lunga discussione tra i diversi poteri sul destino della zona e a partire dal 1897 il quartiere Saint-Roch fu demolito, ma si dovette attendere dieci anni prima che il terreno ricevesse nuove destinazioni.

La minaccia di vedere il quartiere più vivo della città svuotarsi del suo spirito originale portò la maggior parte dei commercianti a spostare le proprie attività

su strade più attraenti, quali la Rue Neuve, Rue de Namur e Rue Royale.

Si accesero nuove discussioni, in cui soltanto il Re continuava ad esser convinto della necessità di proseguire nel piano megalomane di rimaneggiamenti, e di conseguenza il quartiere restò in stato di rovina per anni, finché nel 1910 l'esposizione universale offrì una soluzione.

Per non lasciare questa ferita visibile agli occhi dei visitatori, la capitale rimpiazzò il vuoto con un giardino a terrazze, affiancato da scale e da una cascata, che rimase intatto fino alla costruzione della Biblioteca Reale.

Negli anni dal 1911 al 1923 fu anche realizzata la rue Ravenstein che negli anni seguenti vide sorgere numerosi edifici molto rilevanti, quali il palazzo di Belle arti, la sede della Banca Generale e numerosi palazzi. Tra il 1954 ed il 1958 fu eretta anche la galleria Ravenstein che fungeva da collegamento

01.26

La cascata del giardino a terrazze negli anni '50.



01.27

Il parco della biblioteca reale.



tra il quartiere amministrativo e la nuova Stazione Centrale.

Dopo la morte del re Alberto I, si ricominciò a riflettere sul quartiere della Montagne de la Cour volendo erigere un monumento commemorativo in onore del re, la Biblioteca Reale Alberto I.

I concorsi furono lanciati a partire dal 1937 ed il progetto degli architetti Ghobert ed Huyoux fu realizzato tra il 1954 ed il 1969. Questo comportò l'inglobamento nel nuovo edificio della cappella di Sain-George e la sostituzione del giardino a terrazze con un parco dalla pianta geometrica.

A fianco della creazione della biblioteca e dell'allargamento del Museo Reale di Belle Arti si installarono negli anni altre istituzioni culturali quali il Museo sotterraneo di Arte Moderna (1984), il museo degli strumenti musicali, nell'edificio dei vecchi magazzini Old England, il museo di Magritte (2009), portando al nuovo nome di 'Mont des Arts' (monte delle arti).

La connessione Nord-Sud

La realizzazione del collegamento tra la stazione Nord e la stazione Sud fu uno dei più grandi progetti urbanistici della prima metà del XX secolo.

Entrambe erano delle stazioni di testa che collegavano le due parti del paese alla capitale ed una connessione tra le due avrebbe facilitato la fluidità del traffico ferroviario.

Furono presentate diverse possibilità tecniche per la realizzazione di questo piano, ma vinse la soluzione che prevedeva un tracciato sotterraneo.

I costi dell'operazione furono spartiti tra lo stato, la società ferroviaria e la città, cui spettò il compito degli espropri e delle demolizioni.



01.28
Lo scavo per la creazione della Stazione Centrale. 1913

Lo sviluppo dei 3300m della connessione ferroviaria all'interno del Pentagono portò alla totale rottura tra la città alta e la città bassa.

Tutta l'area compresa tra la piazza Reale, la Cattedrale di Saints-Michel-et-Gudule e la rue de la Madeleine (comprensiva di circa 1200 case) fu completamente rasa al suolo.

I lavori cominciarono nel 1911, interrompendosi per la prima guerra mondiale e il seguente periodo di recessione, riprendendo nel 1934 come risposta ad

un'enorme disoccupazione. Furono nuovamente interrotti durante la seconda guerra mondiale e ripresi nel 1947 grazie all'impulso del piano Marshall, giungendo all'inaugurazione nel 1952.

L'enorme progetto comprendeva anche tre nuove stazioni (la stazione centrale, collegata al progetto di recupero della Montagne de la Cour, le stazioni Bruxelles-Chapelle e Bruxelles-Congrès) e l'abbattimento e ricostruzione degli edifici originali delle stazioni Nord e Sud. Lo spazio in superficie fu destinato alla creazione di nuovi boulevard espressamente destinati al traffico veicolare che col tempo furono progressivamente contornati di edifici pubblici e privati di carattere monumentale.

L'EXPO del 1958

L'altopiano di Heysel ed il parco d'Osseghem, a Nord della città, furono trasferiti sotto il dominio della città di Bruxelles nel 1927, dopo che furono donate da re Léopold II allo stato, divenendo sito prescelto per l'esposizione universale del 1935.

Sopra l'esposizione si sarebbero dovuti costruire dei quartieri residenziali che però non videro mai la luce a causa della seconda guerra mondiale. Fu quindi

01.29
Vista della 'Petite Ceinture' a fianco del giardino botanico.



scelta questa stessa area per l'esposizione universale del 1958, organizzata secondo un punto centrale, situato sull'avenue du Centenaire, dove fu eretto l'Atomium.

In occasione dell'Expo 58 la città doveva essere resa pienamente accessibile, soprattutto dal traffico veicolare: furono create le autostrade Ostende-Bruxelles e Anversa-Bruxelles e l'esplosione della quantità di automobili nella città portò ad un piano di miglioramento del sistema stradale.

A partire dal 1955 furono finanziati lavori per l'allargamento delle vie d'accesso alla città e soprattutto per l'ammodernamento del boulevard di cintura che presentava ancora una struttura studiata per passeggiate e cavalieri, affiancata da filari d'alberi, che dovettero essere sacrificati.

La soluzione fu l'interramento della strada ad ogni incrocio importante e la creazione di un viadotto dove il canale e la Senne entravano nella città. Il viadotto però mise a rischio la vivibilità dei quartieri circostanti e fu quindi demolito alla fine degli anni '80, quando fu rimpiazzato dal tunnel Léopold II.

1.3.7 Il quartiere Europeo

L'impiantazione delle istituzioni europee a Bruxelles ha indotto uno spostamen-

to del centro di gravità della città verso l'Est.

Da che la Commissione Europea si installò nel 1958 nella città, i suoi servizi furono distribuiti in diversi edifici nel quartiere Léopold, finché il governo non acquistò un grande terreno, dove un tempo sorgeva un convento, per l'edificazione, a partire dal 1967, del palazzo del Berlaymont (dal nome dell'antico convento), un edificio monumentale totalmente scollegato dal tessuto urbano esistente.

A causa dell'enorme crescita del personale delle istituzioni, numerosi immobili del quartiere furono abbattuti in favore di nuovi uffici, fino alla creazione, nel 1993, del Parlamento Europeo intorno alla vecchia stazione, facendo progressivamente perdere la destinazione residenziale del quartiere.

La creazione del quartiere europeo rispondeva alla definizione di 'Brussellizzazione' data da Puissant e Dessouroux: «Une politique d'urbanisme au service des agents immobiliers, la destruction des structures sociales et urbaines existantes, la négligence spéculative de patés des maisons, l'aménagement de zones de bureaux qui exclut toute autre fonction.» ('Una politica urbanistica al servizio degli agenti immobiliari, la distruzione delle strutture sociali e urbane esistenti, la negligenza speculativa dei quartieri, la creazione di aree di uffici che escludono ogni altra funzione.').

Secondo uno schema direttore della regione Bruxelles-Capitale del 2008, il quartiere a fianco della Rue de la Loi dovrà finalmente avere una destinazione mista, implicando quindi la presenza di abitazioni e spazi verdi.

La strada che ad oggi è una via d'accesso alla città estremamente frequentata, dovrà trasformarsi in una zona dove i pedoni ed i trasporti pubblici hanno priorità.

1.3.8 Lo stato attuale

Come accadde per molte città europee, dopo la seconda guerra mondiale ci fu un'invasione delle città da parte delle autovetture, comportando la creazione di numerosi spazi ed edifici a destinazione di parcheggi, prendendo il posto anche di edifici antichi. Contemporaneamente, soprattutto durante la crescita degli anni '60, le attività economiche iniziarono a spostarsi dal centro della città a favore delle periferie.

Questo comportò quindi un calo dell'attrattiva generata dal centro storico, generando un grande esodo verso i quartieri periferici, dove, grazie al maggior potere d'acquisto della popolazione, era possibile per le famiglie comprare delle case più ampie e con giardino. Così crebbero i comuni limitrofi, che oggi costituiscono l'agglomerato di Bruxelles-Capitale.

Il centro iniziò quindi a svolgere un nuovo ruolo, divenendo principalmente luogo di shopping, turismo e ristorazione. Date le nuove funzioni, il centro iniziò ad essere caratterizzato da zone pedonali, quali l'Ilot Sacrée, o a traffico limitato.

A partire dalla fine degli anni '70 si iniziò inoltre a promuovere un rinnovamento della città in maniera però totalmente diversa da quella adottata durante il XIX secolo: si iniziò ad operare su piccola scala, con il recupero dei singoli isolati, senza sconvolgere il tessuto urbano. Soprattutto a partire dal 1990 si ripresentò l'interesse per il miglioramento degli spazi pubblici con l'introduzione di elementi di abbellimento urbano, quali fontane e spazi verdi, adatti al gusto moderno.

1.4 Presentazione del sito di progetto

Il progetto in questione riguarda un isolato di circa 10000 m² di superficie, situato sul confine del pentagono di Bruxelles-Ville con la Commune d'Ixelles, uno dei 19 comuni costituenti la regione Bruxelles-Capitale.

Amministrativamente l'area risulta appartenente alla municipalità di Ixelles, ma geograficamente e urbanisticamente può essere ritenuta parte del centro del nucleo urbano di Bruxelles-Capitale, che costituisce una città unitaria a tutti gli effetti.

L'isolato si trova nella zona a Sud-Est del centro storico della città, affacciata sull'Avenue de la Toison d'Or, parte dell'anello costituito dal boulevard di cintura (la Petit Ceinture), nella zona di transizione tra il centro della città di Bruxelles ed i centri dei comuni periferici.

Si tratta di un'area dal forte carattere misto, come in gran parte tutta la città, caratterizzata dal contrasto tra dinamicità

sociale ed economica delle vie principali e la tranquillità e trascuratezza delle vie secondarie: si rilevano infatti i nuclei commerciali e viari della Place Louise e di Porte de Namur, aree di fondamentale importanza per la vita della città. Si tratta infatti di due importanti snodi per il traffico veicolare e per i trasporti pubblici tra il centro e l'esterno della città che sono di conseguenza diventati anche dei luoghi di rilevanza sociale e commerciale.

L'ilot 24 si trova quindi inserita in un'area di secondaria importanza al limitare di quartieri di estrema rilevanza per tutta la città, ovvero il quartiere Namur-Matongé-Flagey, il quartiere Louise ed il grande quartiere Sablon.



01.30
Il centro città.
In rosso l'area di progetto, evidenziata in arancione la 'Petit Ceinture' e le vie principali di uscita dalla città, in giallo Place Louise e Porte de Namur.



01.31
I quartieri del centro.
Evidenziata in rosso l'Ilot 24.

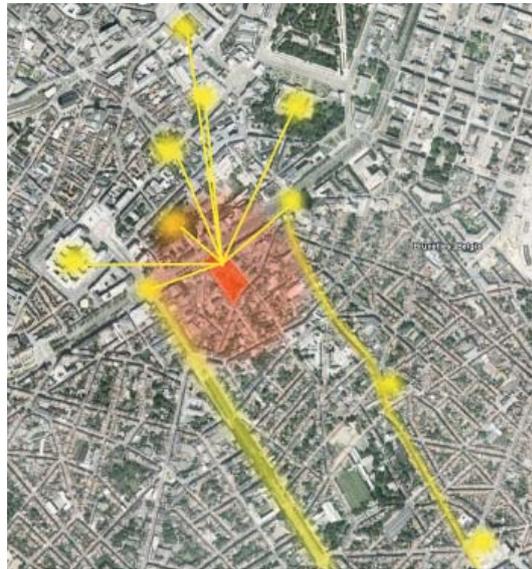
Lo spazio definito dall'avenue de la Toison d'Or risulta quindi un semplice spazio di collegamento tra due nodi fondamentali, ricoprendo un ruolo importante a

livello commerciale ma urbanisticamente di secondaria importanza.

In prossimità dell'area si trovano inoltre molti luoghi fondamentali della città: sono infatti poco distanti il parco d'Egmont, a nord appena oltre il boulevard de Waterloo, il palazzo di giustizia (a Ovest), la piazza ed il giardino del Sablon (a Nord) con la loro chiesa gotica ed il conservatorio di musica, raggiungibili in pochi minuti a piedi, mentre leggermente più a nord, in pieno centro, si trovano il Palazzo Reale con il suo parco e la piazza Reale, il Museo di belle arti e la biblioteca reale.

Spostandosi invece verso l'esterno del pentagono si incontrano l'avenue Louise, che si allontana dal centro verso il bosco della Cambre a partire dalla Place Louise, centro dello shopping di lusso, e la chaussée d'Ixelles, che da Porte de Namur conduce direttamente alla piazza F.Cocq, centro amministrativo della municipalità d'Ixelles ed in seguito a Piazza Flagey, fulcro sociale del comune.

01.32
Punti di interesse vicini
all'area di progetto.



1.4.1 Il boulevard de Waterloo e l'avenue de la Toison d'Or

Il boulevard de Waterloo, di cui l'avenue de la Toison d'Or costituisce il fianco Sud-Est, si caratterizza per gli ampi marciapiedi alberati, ricco di boutiques prestigiose, di bar e ristoranti, alberghi, un cinema ed una chiesa, ma la sua morfologia determina una scarsa vivibilità dell'area nel suo complesso: la struttura viaria impedisce una diretta comunicazione tra i due fronti se non ai suoi estremi, ovvero in coincidenza grossi carrefours di Porte de Namur e Place Louise.

01.33
Vista dell'avenue de la
Toison d'Or.



E' una strada costituita da un nucleo centrale ad alta percorrenza a quattro corsie, affiancato da due vie secondarie per la circolazione di quartiere e parcheggi a bordo strada. La parte centrale è caratterizzata poi da una serie di tunnel in corrispondenza degli incroci principali, come quello di Place Louise, e lascia quindi un ampio spazio centrale nella parte sud-occidentale adibito ora a parcheggi.



01.34
Vista del boulevard de Waterloo, parte Nord.
Si nota la barriera costituita dall'interramento della strada nel centro.

Il nucleo a quattro corsie percorre tutto il perimetro del pentagono, in un continuo susseguirsi di tunnel, svolgendo quindi un ruolo fondamentale per distribuzione veicolare nella città, circondando il centro e smistando il traffico negli assi radiali di uscita che calcando le antiche vie commerciali verso le vicine città.

1.4.2 L'Ilot 24

L'area di progetto riguarda un isolato, denominato Ilot 24, dalla forma trapezoidale allungata secondo l'asse Nord-Ovest, Sud-Est.

Rivolge uno dei suoi lati, quello corto, verso l'avenue della Toison d'Or ed è delimitato sugli altri tre da delle piccole vie secondarie: rue des Chevaliers a Nord-Est, rue de Stassart a Sud-Est e rue des Drapiers a Sud-Ovest.



01.35
Immagine zenitale dell'area di progetto.

Tutte queste vie sono caratterizzate da una larghezza modesta (6m circa di carreggiata, affiancata da due marciapiedi di dimensioni inferiori a 2m) e da una percorrenza a senso unico.

Il terreno è qui caratterizzato da un dislivello di circa 10m tra il fronte Nord-Ovest e Sud-Est, determinando quindi una pendenza superiore al 5% su rue de Drapiers e rue de Chevaliers.

01.36
Vista dell'ilot 24
dall'Hotel Hilton.



01.37
Vista dell'hotel Hilton
dall'avenue de la
Toison d'Or, di fronte
all'area di progetto.



Allo stato attuale, gli edifici circostanti presentano altezze che variano dai 3-4 piani degli edifici più interni del quartiere, a Sud, agli 8 piani a Nord affacciati sull'avenue de la Toison d'Or. Il fronte opposto del boulevard de Waterloo è caratterizzato dalle medesime altezze dell'avenue de la Toison d'Or, ad eccezione della torre dell'hotel Hilton, alta quasi 100m.

All'interno dell'isolato 24, la porzione sud presenta edifici che ricalcano il tipo tradizionale bruxellese, composto da isolati chiusi da piccole case strette e profonde, alte al massimo quattro piani e dotate di giardino posteriore. La parte settentrionale risulta invece ora completamente demolita e destinata, momentaneamente, ad installazione d'arte temporanee.

La condizione attuale dell'isolato è dovuta ad un dibattito ancora acceso tra le istituzioni, le imprese immobiliari proprietarie e la popolazione locale.

Il terreno infatti fu liberato dall'impresa proprietaria in accordo con il comune d'Ixelles, offrendolo temporaneamente alla popolazione per esposizioni d'art in cambio di una possibilità futura di riedificazione.

Le proposte di progetto avanzate dalle imprese però non incontrarono il favore delle associazioni cittadine locali, che vi si opposero con forza, generando anche degli scontri: si trattava infatti di progetti commerciali megalomani, che avrebbero distrutto la struttura originaria del quartiere, trascurando ogni studio socio-economico e la presenza di verde: in entrambi i casi (nel 2002 e nel 2008) furono proposti infatti progetti che includevano la creazione di unità commerciali di notevoli dimensioni, evidentemente destinati a megastores di compagnie internazionali. Centri di questo tipo si sarebbero male integrati ed al contempo avrebbero causato un aumento degli affitti, causando la fuga delle botteghe esistenti e lasciando il quartiere sprovvisto dei servizi commerciali necessari.

CAPITOLO 02

- Il Progetto Architettonico -

2.1 Premessa

In questo capitolo verranno mostrate, passo dopo, le tappe principali della concezione del T.I.N.-Tin Building.

Da un'analisi urbanistica, che ci ha portato a definire le esigenze dell'ilot 24, fino alla definizione architettonica dell'edificio: un percorso lungo e in molti punti iterativo; un continuo rivedere e ripensare le proprie scelte alla luce di nuovi dettagli messi in luce dagli aspetti della progettazione integrale.

Il processo di analisi procede dal generale al particolare; da Bruxelles Capital fino al quartiere ristretto, nel tentativo di sottolineare le forze e le debolezze, ma soprattutto le opportunità legate al progettare in questa parte della città.

Alla luce delle analisi sono quindi state decise le funzioni da insediare e la loro disposizione spaziale.

Dopo una fase di masterplan ci si è concentrati unicamente sull'edificio a torre, tema centrale della tesi, che è stato sviluppato fino al dettaglio.

La duplice funzione, l'aspetto, le tecnologie scelte sono quindi il risultato di un processo analitico e non una scelta dettata da preferenze estetico-formali: come si è cercato di sottolineare, sono state vagliate differenti ipotesi per arrivare a un risultato il più coerente possibile, cercando di tenere sempre presente tutti gli aspetti che avrebbero potuto partecipare alla determinazione delle scelte.

La sfida della progettazione di un edificio a torre sta proprio nell'impossibilità di analizzare gli ambiti singolarmente: questo capitolo non deve essere quindi visto come a se stante, ma parallelo ed integrato con i capitoli più tecnici, quali quello delle strutture e delle soluzioni tecnologiche.

2.2 Normativa di riferimento

DM 236 del 1989 Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche

D.P.R. 384/78 Norme tecniche per le strutture pubbliche d'uso collettivo.

UNI UNI 8999: 2006 Impianti di ascensori elettrici a frizione- istruzioni per l'integrazione negli uffici, alberghi, ospedali

UNI 10670: 1997 Servizi, attività alberghiera. Requisiti

D.M. 14 giugno 1989, n°236 - Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche

2.3 Il Percorso progettuale

2.3.1 Indagini ed analisi

Funzioni

Bruxelles è caratterizzata da una mixité orizzontale: è forte la scelta di non creare isolati monofunzionali (come invece è successo nel quartiere europeo). La maggior parte del territorio è occupata da residenze ma è visibile la presenza di altre due funzioni, che caratterizzano la città anche nell'immaginario comune:

- Le sedi delle istituzioni europee
- Gli uffici

L'ingente quantità di edifici adibiti ad uffici è dovuta principalmente alla presenza della sede delle istituzioni europee che hanno portato un grande afflusso di aziende e quindi delle loro sedi.

*02.01
Analisi delle funzioni a
livello cittadino*

*Legenda
Zona residenziale*

*Zona mista uffici e re-
sidenze*

Zone amministrative

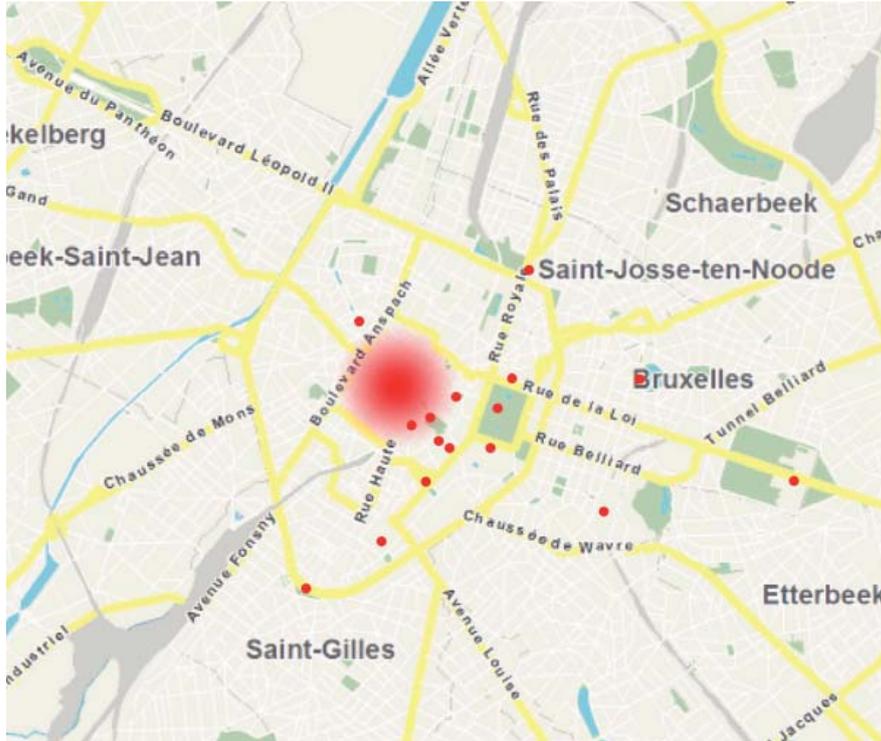
Zone industriali

*Zone interesse collet-
tivo o servizio pubblico*

Zone verde o cimitero

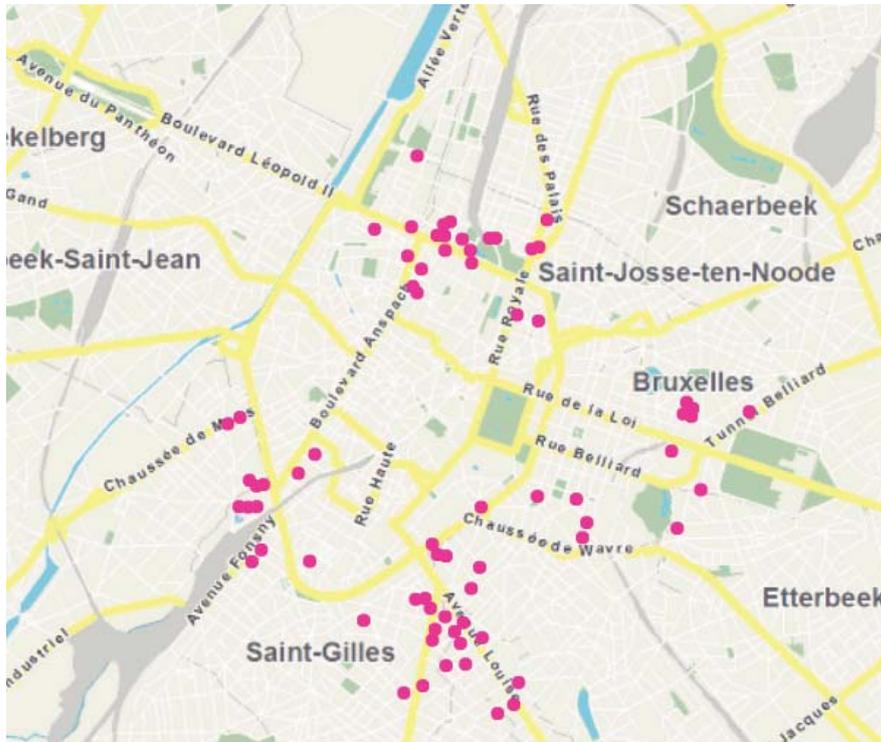


Sicuramente da non dimenticare la vocazione turistica della città, meta di turismo culturale ma anche di turismo legato al lavoro.



02.02
Analisi di attrattività turistica

Solo a Bruxelles ci sono più di 150 hotel di differenti classi pronti ad accogliere i turisti come i business man.



02.03
Analisi edifici con funzione ricettiva

Inoltre Bruxelles è sempre stata una città di commercio e i numerosi quartieri con questa vocazione lo possono attestare.

Si pensa ovviamente a Rue Neuve e a l'Avenue Louise come punti di riferimento importanti, ma da Saint-Gilles à Jette, da Ganshoren à Uccle, la città è ricca di aree commerciali e ciascuna ha il proprio carattere e le proprie specificità.

Si possono trovare fino a 139 quartieri commerciali in città.

Vicino al lotto di progetto ci sono 3 punti di vitale importanza per lo shopping bruxellese:

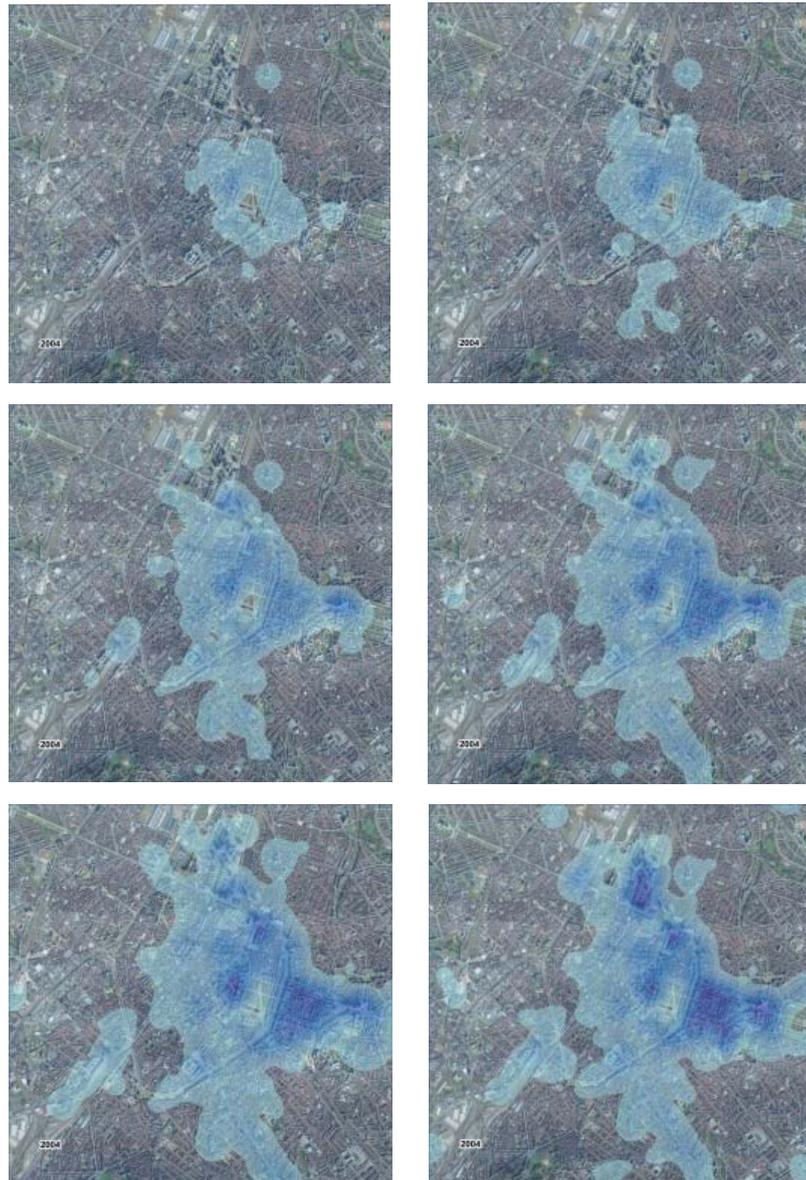
- Avenue Louise
- Boulevard Waterloo per i negozi di alta moda
- Porte de Namur, a prevalenza con commercio di moda e legato alla bellezza e alla salute

Alla luce delle precedenti analisi si è ritenuto doveroso approfondire il tema degli uffici a Bruxelles, grazie anche all'ausilio del libro "Bruxelles, ses bureaux, ses employés".

La domanda di superficie ad uffici dagli anni 50 ai nostri giorni è cresciuta in modo esponenziale, quintuplicandosi:

02.04
Analisi evoluzione storica
espansione zona
ad uso uffici

1950 - 1960
1970 - 1980
19090 - 2000



Di seguito gli edifici adibiti ad uffici, e poi la superficie ad uffici in rapporto alla superficie totale dell'edificio (indice che sottolinea proprio la tendenza alla coesistenza di differenti funzioni)



02.05
Analisi edifici ad uffici
con superficie maggio-
re di 100 mq



02.06
Analisi edifici ad uffici.
La colorazione indica
la percentuale di su-
perficie ad uffici sulla
superficie totale.
Dal celeste al blu:
 $x < 50\%$
 $50\% < x < 90\%$
 $x > 90\%$

Spostando l'analisi a livello di quartiere si può vedere come siano presenti differenti funzioni in un buon equilibrio.

Prevalente è sicuramente la funzione residenziale. Nel lotto sono ancora presenti alcuni edifici che devono essere abbattuti, tutti con funzione residenziale.

02.07
Analisi funzioni a livello del quartiere

Residenziale

Commercio al dettaglio

Uffici

Hotel/Ristoranti/Caffè

Hotel

Medico

Sanità; Sport; Insegnamento; Religione

Atelier; Industria; Deposito

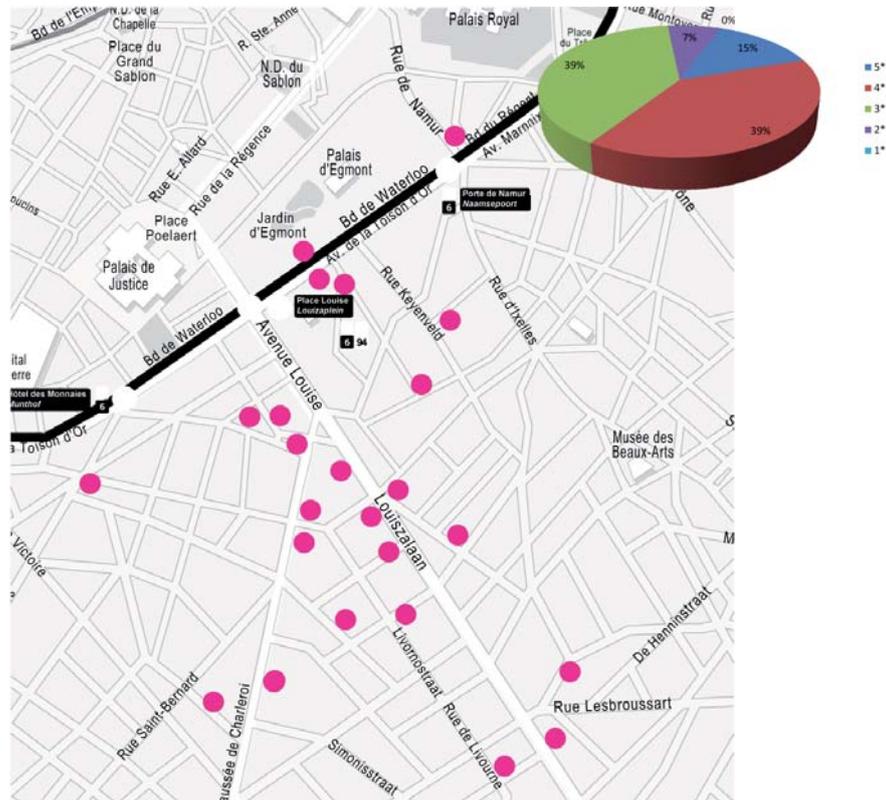
Parcheggio



Per quanto riguarda gli edifici con funzione recettiva, nel raggio di 1,2 km ci sono 28 hotel, principalmente di fascia medio alta.

02.08
Analisi hotels a livello di quartiere

Grafico 02.01
Proporzione hotel di differenti categorie nel raggio di 1,2 km



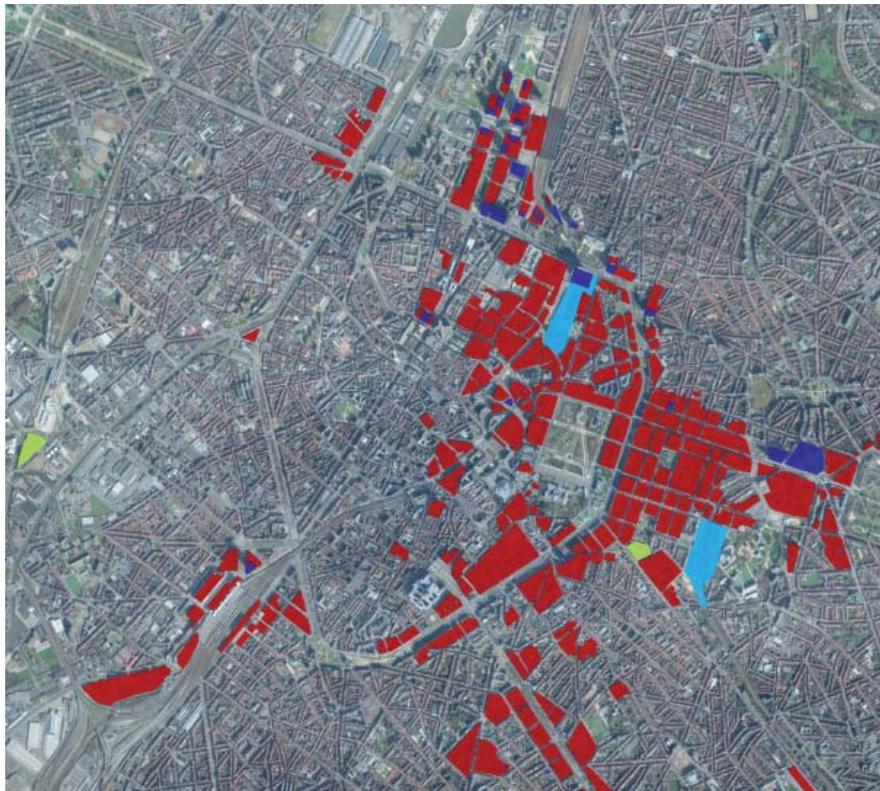
L'area di progetto, grazie alla sua posizione al confine con il centro di Bruxelles mostra, quindi, la sua inclinazione a funzioni di accoglienza del turismo senza però dimenticare la caratteristica del lotto Bruxelles, e la coesistenza di più funzioni.

Morfologia

Il lotto caratteristico di Bruxelles è un lotto chiuso, a corte, con edifici al contorno di all'incirca 5/6 piani di altezza.

Nel corso degli anni questa forma è andata modificando forme più aperte che garantiscono luce e aria per tutti gli edifici

Per quanto riguarda gli uffici, dal punto di vista morfologico si possono trovare le più svariate forme:

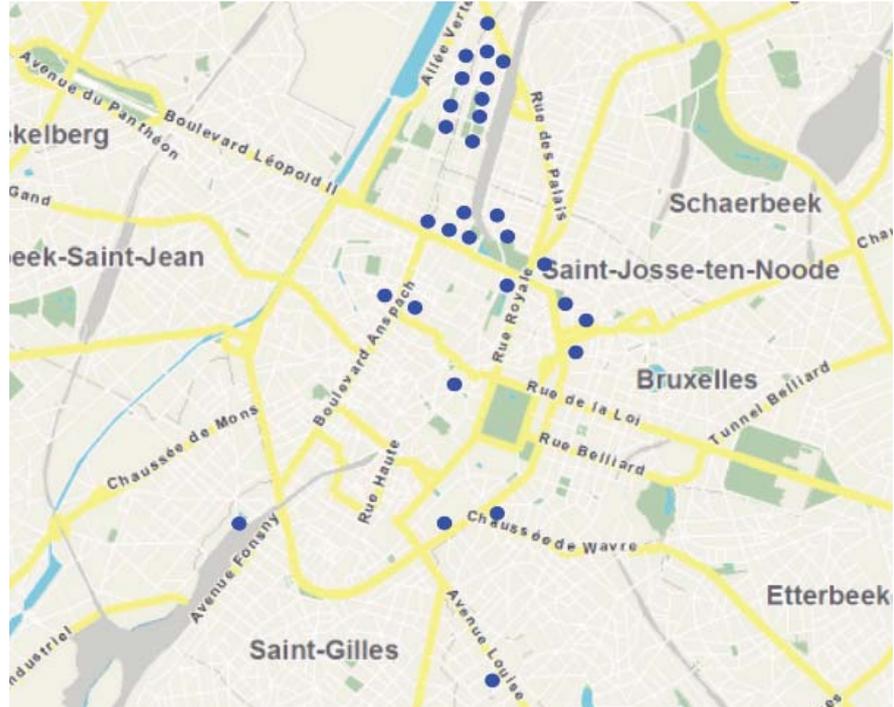


- Tipologia
- Torre
 - Urbanisme sur dalle
 - Edificio isolato
 - Edificio isolato II
 - Parco affari
 - Allineamento chiuso o semi/aperto

02.09
Analisi edifici ad uffici:
tipologia di impianto-
zione

Come molte capitali europee anche Bruxelles, dopo gli anni 70, ha iniziato a volgere il suo sguardo alla “ville vertical” per ottimizzare lo spazio e permettere alla maggior parte di popolazione possibile di usufruire dei trasporti pubblici.

02.10
 Analisi morfologica: i
 grattacieli a Bruxelles



Attualmente a Bruxelles sono presenti 37 edifici a torre, di cui due a funzione residenziale e uno a funzione alberghiera (l'hotel Hilton, proprio di fronte all'area di progetto).

Le altezze vanno dai 42 metri fino a 150 m: l'altezza media è di 92 metri.

Scendendo di scala e analizzando la morfologia :

- I lotti limitrofi sono chiusi e con edifici medio bassi
- Di fronte al lotto c'è l'Hilton hotel , una torre di 102 m
- L'altezza media degli edifici limitrofi è di 15 m

Mobilità

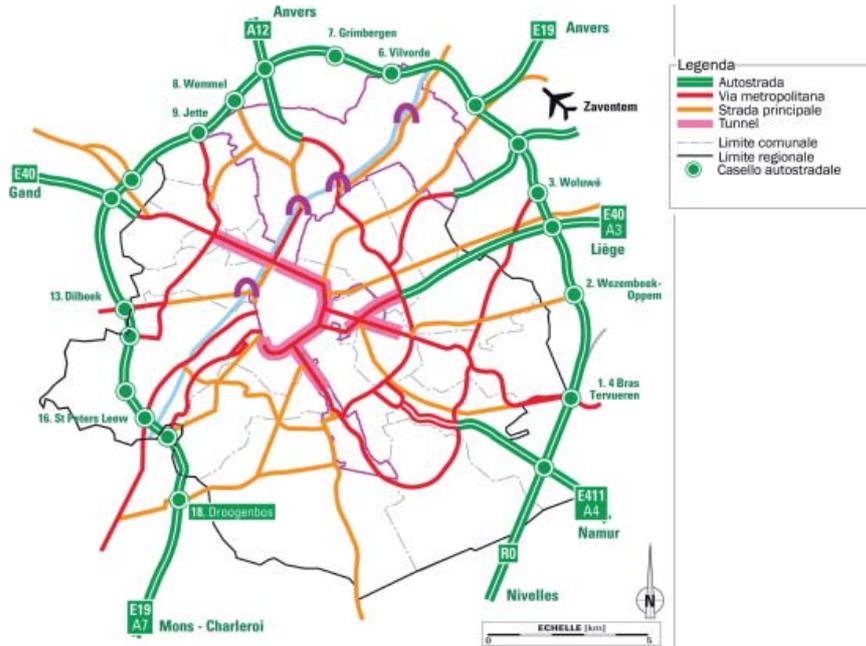
La struttura stradale di Bruxelles Capital è costituita da tre infrastrutture concentriche eterogenee per capacità e caratteristiche:

- L'anello RO è la tangenziale regionale. Con un profilo autostradale di tre corsie in ciascuna direzione e una ventina di scambiatori di grandi dimensioni, è connesso all'insieme della rete autostradale con la Vallonia e le Fiandre e alla rete principale radiale in connessione con il cuore della regione. È situato a circa 8 km dal centro città e presenta una discontinuità al livello del sud tra i due assi autostradali verso Mons/Charleroi e Nivelles. La sua capacità di flusso è dell'ordine di 150000 veicoli al giorno.

- La "cintura di mezzo", situata tra il centro città e l'anello, al livello dei comuni della prima corona, presenta degli itinerari più leggibili e una capacità molto eterogenea. È meglio identificata nella sua parte est tra la a12 e l'avenue Louise, dove contorna il quartiere europeo e le importanti zone di lavoro situate in questo settore, connettendosi agli assi radiali che le servono.

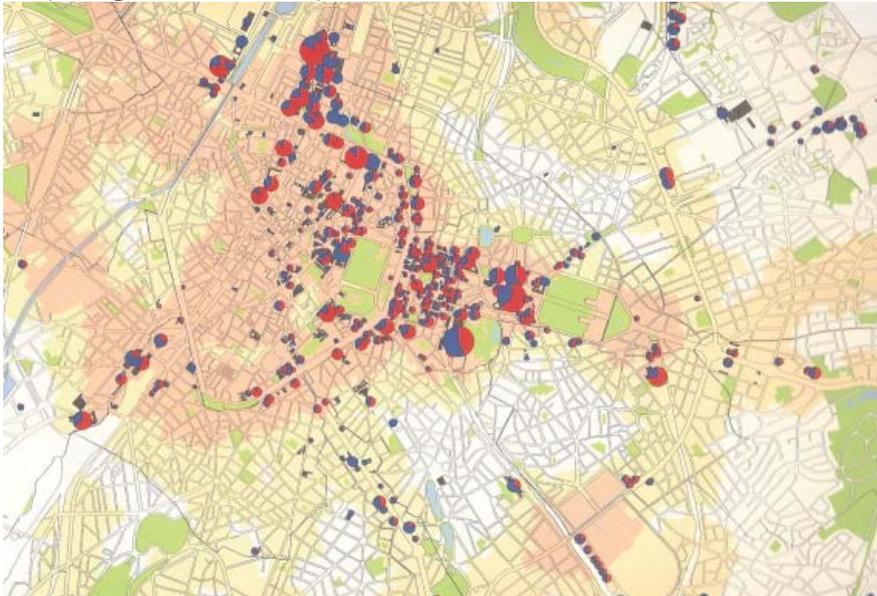
- La "petite ceinture" circonda il cuore della regione , le pentagone. Questa infrastruttura consiste di viali urbani a forte calibraggio (almeno due vie per ogni senso di circolazione nella sezione corrente). Essa è raddoppiata nei sui

tronconi nord e est, in sotterranea, da tunnel a forte capacità che si connettono alla rete di superficie al livello delle intersezioni strutturanti. La connessione di superficie con gli altri assi della rete principale sono per gran parte gestiti con semafori ed alcune parti sono sotterranee. La capacità totale della petit ceinture è dell'ordine di 50000 veicoli al giorno per le sezioni ovest e sud e superiore a 120000 veicoli ogni giorno per la sezione orientale e settentrionale. Questi tre livelli sono connessi a una ventina di vie radiali.



Senza essere particolarmente gerarchizzati in termini di funzione, questi assi presentano dei calibri e delle capacità molto variabili.

Nel pentagone le vie hanno prevalentemente orientamento nord-sud.



La città si trova al centro di un buon sistema ferroviario e dispone di molti collegamenti con i principali centri europei; le stazioni più importanti sono Gare du Midi, Gare Centrale, Gare du Nord. Grazie all'avanzato sistema dei treni ad alta velocità (TGV) la capitale belga si raggiunge con notevole risparmio di tempo da Francia, Germania e Olanda; la stazione di riferimento per chi viene

02.11
Analisi mobilità: le infrastrutture

02.12
Analisi mobilità: i parcheggi

Legenda
Il diametro della circonferenza indica il numero di parcheggi per immobile che conta almeno 5000 mq di uffici.
I valori sono tre: 1500; 500; 150 posti.
In blu la percentuale di parcheggi ammessa dal regolamento, il rosso la percentuale eccedente

dall'estero è quella di Gare du Midi.

02.13
Analisi mobilità: la
metro e la ferrovia

Legenda
in giallo il percorso
della metro e in bianco
quello della ferrovia



I mezzi pubblici sono molto efficienti e servono la città intera tramite bus, metro e tram (il mezzo più usato e più efficiente).

La rete metro conta due linee principali e una linea secondaria.

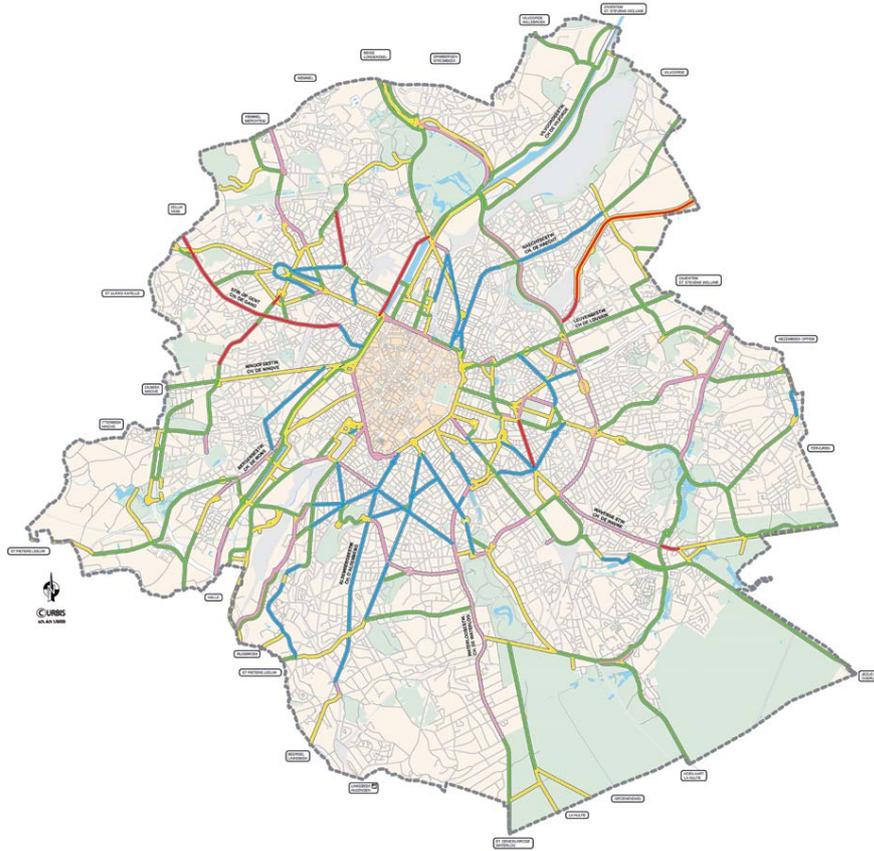
Attualmente ci sono 64 fermate della metro e più di 2200 fermate di trasporto in comune di superficie.

La società di Bruxelles del trasporto pubblico, la STIB, propone 50 linee di autobus e 20 linee di tramway.

02.14
Analisi mobilità: li ser-
vizi pubblici



Il comune di Bruxelles inoltre incoraggia l'utilizzo della bici all'interno della città. In questa prospettiva, la rete ciclabile si sta costituendo lentamente per permettere ai ciclisti di vivere la città in tutta sicurezza.



02.15
Analisi mobilità: i percorsi ciclabili

Percorsi non attrezzati, da studiare

Percorsi con attrezzatura standard

Percorsi segnalati

A Bruxelles è attivo il servizio di bike sharing Villò: 180 Stazioni in tutta la città (all'incirca una stazione ogni 450 m)

Scendendo di scala e analizzando la viabilità in prossimità dell'area di progetto:

- Boulevard de Waterloo si interseca all'altezza di rue ducale fino a rue de drapiers
- Rue des drapiers e Rue de Stassart è a senso unico
- Rue des chevaliers è a doppio senso di marcia

La viabilità intorno al lotto è di portata ridotta, prevalentemente strade a doppio senso o a senso singolo che permettono la circolazione .

Vi sono i parcheggi lungo Avenue du toison d'or e alcuni parcheggi privati nei lotti limitrofi.

I marciapiedi sono molto spaziosi e alberati lungo Avenue du toison d'or mentre quelli intorno al lotto sono molto stretti e non in buone condizioni.

Accanto all'area di progetto ci sono due fermate della metro: Porte de Namur e Louise

I bus e tram che fermano nei paraggi: 34 64 80 97 94 92 54 71.

Vi sono già due stazioni Villò nei pressi dell'ilot 24:

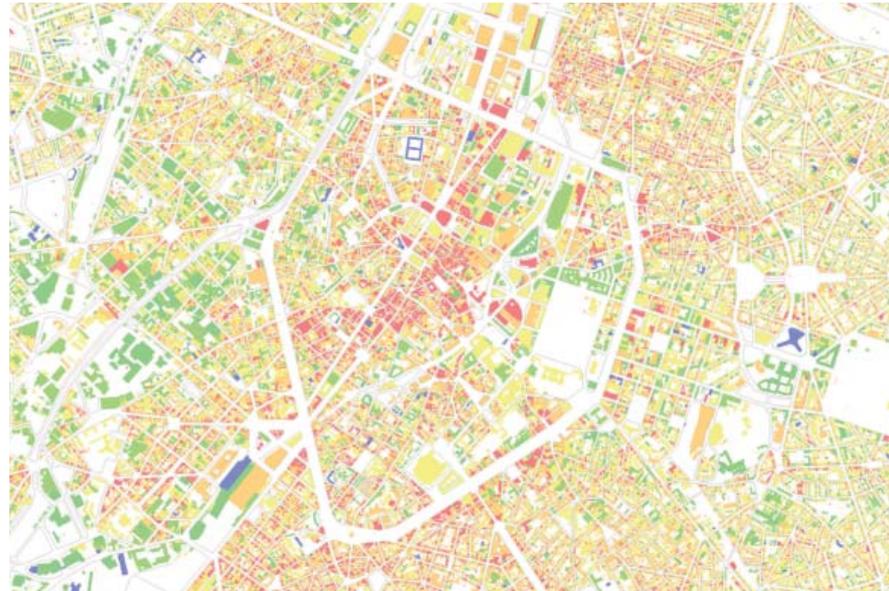
- stazione numero 16 con 18 bici disponibili in Place Louise
- stazione numero 14 con 23 bici disponibili sul Boulevard du regent

Sostenibilità

Negli ultimi anni Bruxelles capital sta mostrando molta attenzione alla sostenibilità ambientale.

Questa attenzione si può vedere nella creazione di un modulo per la certificazione energetica degli edifici e per gli strumenti forniti nel sito internet www.bruxellesenvironmental.be.

Ecco di seguito una vista dall'alto delle dispersioni dei vari edifici:



02.16
Analisi sostenibilità:
termografia aerea

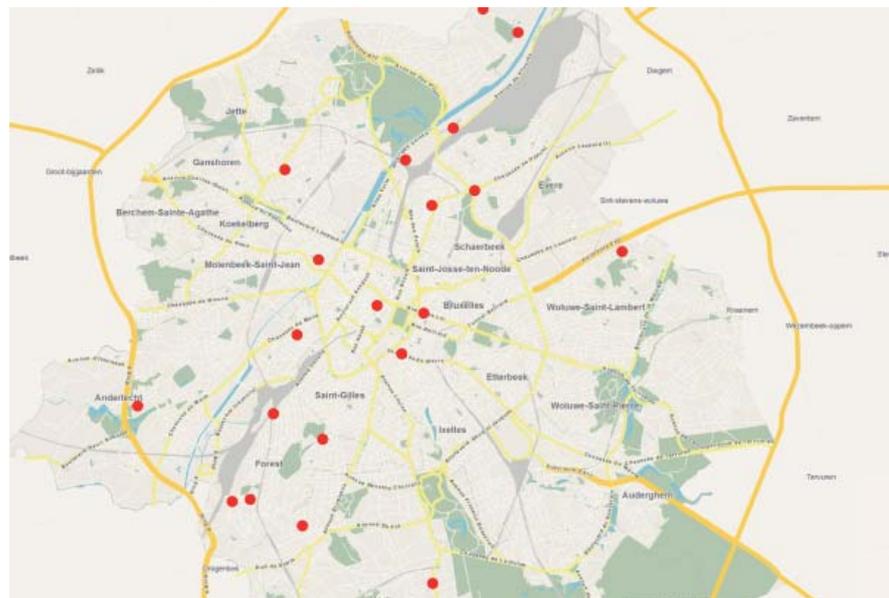
Legenda (dispersione):
Blu : non percepibile
Verde scuro: molto bassa
Verde chiaro: bassa
Giallo: media
Arancione: forte
Rosso: molto forte

Fonte
www.bruxellesenvironment.be

Anche se non sono forniti valori, la scala cromatica può comunque aiutare a comprendere il fenomeno: la maggior parte degli edifici sono stati costruiti prima degli anni 80, senza alcuna attenzione per le problematiche relative all'energia. Uno degli edifici che risalta per performance è la sede della commissione europea.

Di seguito alcuni edifici per uffici segnalati per le particolari caratteristiche di performance energetica: l'anagrafe di progetti è stata creata dal 2007, quindi si tratta di edifici degli ultimi ¾ anni.

02.17
Analisi sostenibilità:
uffici con particolari
caratteristiche di
sostenibilità

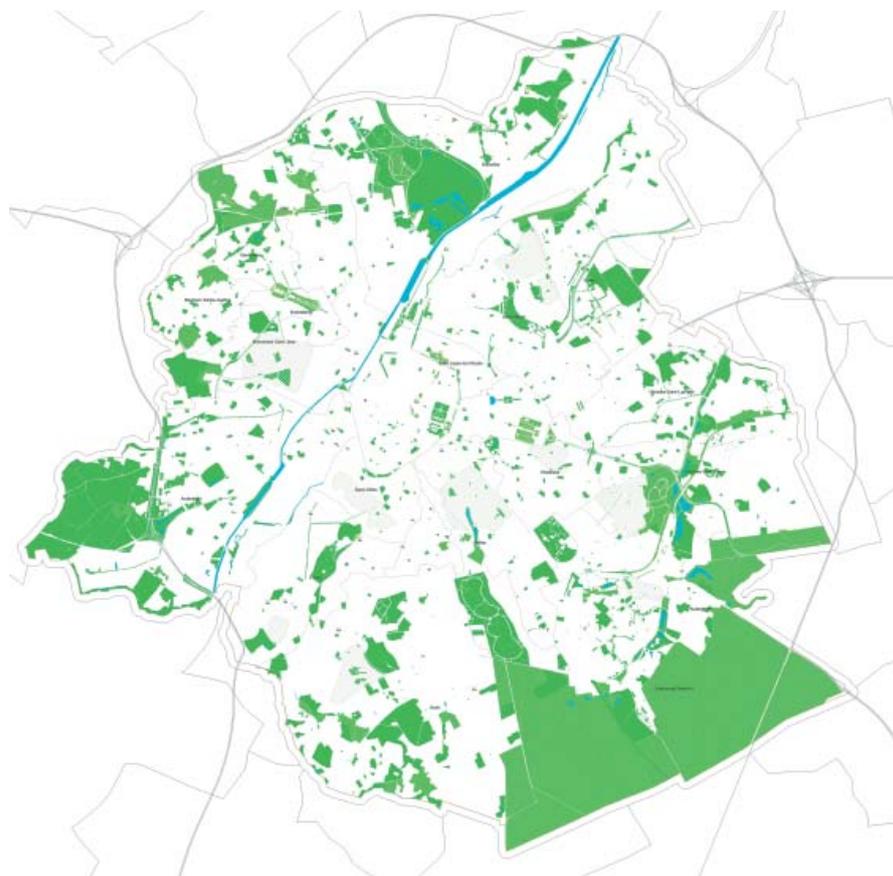


Verde

Tra parchi, boschi, giardini privati, cimiteri e terreni sportivi Bruxelles ha più di 8000 ettari di spazi verdi, questo vuol dire quasi la metà della superficie della regione.

È una delle capitali europee più verdi d'Europa, ciò nonostante la percezione della città cambia nei differenti punti della città: infatti la densità di spazi verdi diminuisce dalla periferia verso il centro.

I parchi e i giardini accessibili al pubblico sono all'incirca 3000 he.



02.18
Analisi aree verdi

Nel raggio di 3 km dall'ilot 24 ci sono il Jardin d'Egmont e le Square du Petit Sablon.

FDOM: Forze, debolezze, opportunità e minacce

Le analisi svolte ci hanno permesso di ottenere alcuni risultati riassunti secondo il metodo FDOM

	Forze	Debolezze
Funzioni	<p>Presenza di persone dovuta allo shopping sulla petite ceinture</p> <p>Presenza di negozi di lusso</p>	Mancanza di punti attrattivi culturali
Mobilità	<p>Lotto posizionato in una parte della città molto accessibile</p> <p>Presenza di due fermate metro</p> <p>Zona servita da un gran numero di linee bus</p> <p>Presenza di ampi marciapiedi alberati</p> <p>Presenza stazioni Villò (bike sharing)</p>	<p>Difficoltà nell'attraversamento pedonale della grande arteria centrale</p> <p>Mancanza di Parcheggi</p> <p>Circolazione ad alta densità sulla petite ceinture</p> <p>Mancanza di percorsi ciclabili</p>
Morfologia	Lotto da riprogettare quindi possibilità di creazione di nuovi volumi in autonomia rispetto alle preesistenze	-
Verde	Presenza di verde pubblico rappresentato dal Parc d'Egmont	<p>Quartieri limitrofi fortemente edificati, con poche aree pubbliche</p> <p>Verde urbano presente ma da riqualificare</p>
Sostenibilità	Presenza di vento a velocità ideali per lo sfruttamento del microeolico	Mancanza di edifici emblematici dal punto di vista della eco compatibilità nei quartieri circostanti

Tabella 02.01
Analisi FDOM

	Opportunità	Minacce
Funzioni	<p>Capitale Europea con forte potenziale turistico</p> <p>Necessità di strutture recettive per business man e parlamentari europei</p> <p>Prossimità al centro storico e turistico</p> <p>Mixità funzionale tipica della capitale belga</p> <p>Prossimità a importanti nuclei commerciali quali Place Louise e Porte Namur</p> <p>Città caratterizzata da forte richiesta di edifici per uffici</p>	<p>Concorrenza con numerosi hotel dei dintorni</p>
Mobilità	<p>Ridefinire la Petite Ceinture come passeggiata pedonale e riconnettere questa zona al centro città</p>	<p>Circolazione viaria intorno al lotto di dimensioni ridotte</p>
Morfologia	<p>Esistenza di numerosi grattacieli per uffici</p>	-
Verde	<p>Richiesta della popolazione di aree verdi</p>	-
Sostenibilità	<p>Impegno della Region de Bruxelles nello sviluppo di edifici ecosostenibili, soprattutto con funzioni terziarie</p>	-

Tabella 02.01
Analisi FDOM

2.3.2 Obiettivi urbanistico-sociologici

Il boulevard

Alla fine del 1700, sotto il dominio austriaco, fu ordinato l'abbattimento della seconda cinta muraria, portato a termine da Napoleone agli inizi del 1800. Lo scopo di questa operazione fu quello di dare alla città una nuova apertura verso l'esterno, al commercio. Il boulevard creato al posto delle mura divenne un vero e proprio spazio intermedio tra la città e la campagna, un collegamento diretto tra le due aree.

Al giorno d'oggi, con l'intenso traffico veicolare e la creazione dei tunnel ad alto scorrimento, la 'petit ceinture' ha perso completamente questo ruolo di collegamento, diventando una nuova barriera di separazione tra centro e periferia. Il passaggio tra l'interno del pentagono e i comuni circostanti è infatti reso pressoché impossibile se non in corrispondenza dei grossi carrefours che sono stati creati dove un tempo si trovavano le porte della città.

Si è creata quindi una condizione del tutto simile a quella dei tempi della cinta muraria.

In questo modo si è relegato il boulevard di cintura ad una funzione di mero collegamento tra i diversi nuclei di circolazione e commercio che sono rappresentati dalle porte: pur essendo, per quasi tutta la sua lunghezza, ricco di esercizi commerciali, l'anello che circonda il centro risulta un luogo di secondaria importanza per la vita dei bruxellesi.

Per ovviare a questa situazione si è perciò deciso di suggerire, in collegamento alla riprogettazione dell'Ilot 24, un rimaneggiamento del boulevard de Waterloo, includendolo in un piano urbanistico più ampio, che portasse beneficio non solo al quartiere in questione, ma a tutta la città.

L'obiettivo urbanistico principale che ci si è posti è quindi quello di creare un'area che ripristinasse il collegamento tra centro e periferia, uno spazio filtro che facesse parte integralmente della vita della città.

In quest'ottica si è deciso di proporre un interrimento della parte centrale della strada, quella ad alta densità di traffico, tra Porte de Namur e Place Louise. Allo stato attuale infatti si ha solo un parziale interrimento della circolazione, in corrispondenza dei due carrefours, lasciando in superficie il traffico congestionato in corrispondenza dell'area di progetto.

Si viene a creare ora un unico tunnel, con ingresso prima delle due porte, in corrispondenza degli attuali ingressi, senza tornare in superficie per tutta la lunghezza del boulevard di Waterloo.

Viene di conseguenza liberato dello spazio in superficie che potrà essere destinato ad un traffico veicolare di quartiere di dimensione ridotta, lasciando ampio spazio alla circolazione pedonale e rendendo più permeabile l'area.



02.19
L'interramento della circolazione in Boulevard de Waterloo. In rosso i due ingressi nel nuovo tunnel, in giallo la parte di circolazione attualmente in superficie che verrà resa sotterranea.

02.20
Struttura tipo 'rambla'
prevista per il boulevard de Waterloo.



Si è preso a riferimento una struttura stradale di tipo rambla spagnola, caratterizzata da un nucleo centrale di passeggiata pedonale, delimitate da due carreggiate a senso unico, affiancate da ampi marciapiedi su cui si affacciano gli esercizi commerciali.

La connessione Est-Ovest

Con i grandi interventi urbanistici messi in opera tra la seconda metà dell'ottocento e la prima metà del 1900 si è intervenuto radicalmente sulla struttura della città. Lavori quali l'interramento della Senne e la costruzione del collegamento ferroviario tra la stazione Nord e la stazione Sud hanno portato alla modifica sostanziale della circolazione all'interno del pentagono, con la creazione di nuovi assi viari importanti in direzione Nord-Sud, quali la Rue de la Regence, la Rue Royale e la rue Neuve.

Questo ha portato ad un cambiamento dell'asse principale della città, un tempo direzionato Nord-Ovest, Sud-Est, secondo l'antica via che portava da Colonia a Brugges, mettendo in comunicazione la città alta e la città bassa.

Lo spostamento dell'asse cittadino secondo la nuova direzione Nord-Sud ha portato ad un concentrazione dell'attività commerciale e della circolazione (anche pedonale) secondo questo nuovo asse e ad una scissione del centro in due aree, quella occidentale e quella orientale.

Un ulteriore obiettivo che ci si è posti nella progettazione urbanistica correlata alla nuova edificazione dell'Ilot 24 è l'incitamento alla rivalorizzazione di questo percorso trasversale. Partendo dall'area del canale a Nord-Ovest, soggetta anch'essa ad un piano di recupero, in coincidenza con la Porte de Flandres, si prosegue toccando la piazza di Ste. Catherine e passando per l'edificio della borsa, si arriva nell'Ilot Sacré, fulcro del turismo della città. Da qui il percorso si discosta dal tracciato originale per continuare verso Sud-Est passando per la biblioteca reale, giungendo poi, più a Sud, alla zona del Sablon, da cui si accede al Parc d'Egmont, dietro all'hotel Hilton. E' qui che si attraversa la 'petit ceinture' in corrispondenza dell'Ilot 24, grazie alla permeabilità creata dalla riprogettazione del boulevard de Waterloo.

Attraverso quest'area si può procedere poi sia verso Place Stephanie, lungo l'avenue Louise, sia verso Place Flagey, attraversando tutto il quartiere compreso tra la chaussée d'Ixelles e Louis, coinvolgendo quindi un'area fin'ora secondaria nella dinamicità della città.

Vengono inoltre coinvolti, nella zona Nord, i bacini di Ste Catherine, un'area dall'alto potenziale ma poco sfruttata in quanto rimasta slegata dal centro.



02.21
 Il percorso Est-Ovest.
 In tratteggio il percorso originale corrispondente alla via Colonia-Brugges, evidenziati in arancio i punti fondamentali toccati.

Entrando più nel dettaglio dell'area di interesse per il progetto, si osserva come dal giardino del 'Petit Sablon', sia possibile accedere al Parc d'Egmont, un parco dalle dimensioni ridotte, dotato di una splendida orangerie, rimasto sempre però scarsamente utilizzato, rispetto ai maggiori parchi della città, data la sua poca visibilità ed accessibilità.

Dal parco si può accedere ora al boulevard de Waterloo tramite due piccoli passaggi, uno situato sul retro dell'hotel Hilton, a fianco della rampa del suo parcheggio, l'altro situato più a nord, denominato 'Passage de Milan', decisamente più piacevole.



02.22
 L'orangerie del Parc d'Egmont.

02.23
 Il Passage de Milan

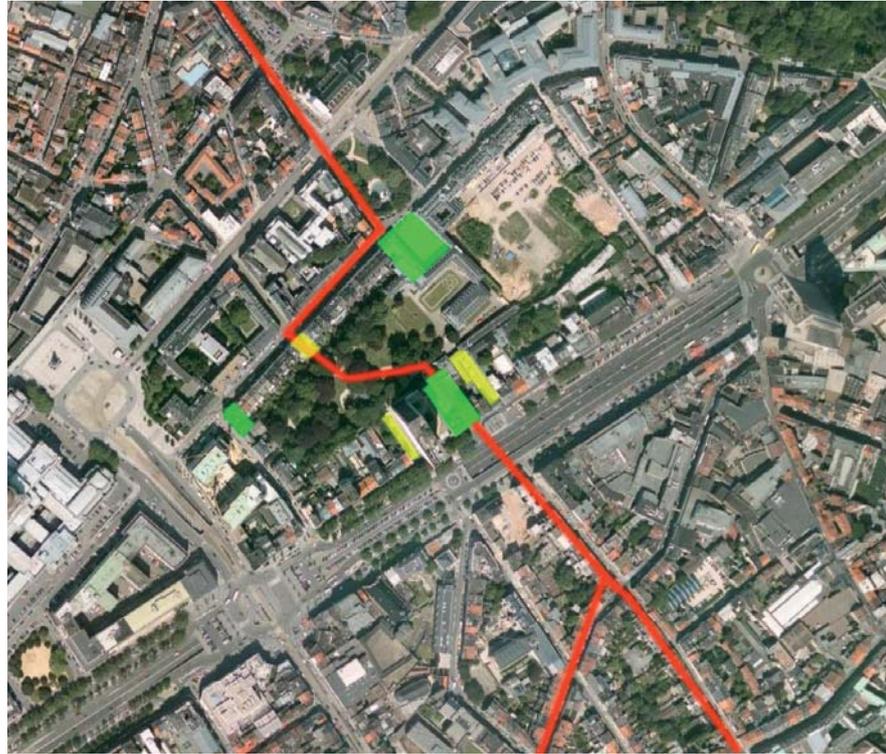
Una volta giunti sul boulevard de Waterloo, è ora necessario creare un ambiente che funga da filtro tra il centro e la periferia, che fornisca la possibilità di passare da un lato all'altro della 'petite ceinture' senza doversi spostare fino alle trafficate porte.

Per ottenere questo risultato si è quindi pensato di dare una maggiore apertura al Parc d'Egmont, sia sulla rue Aux Lains, sia sul boulevard de Waterloo: si prevede la creazione di un nuovo passaggio a Ovest, verso il palazzo di Giustizia, uno a Nord-Est, in corrispondenza del palazzo ministeriale, e di uno a Sud, sul fianco Nord-Est dell'hotel Hilton. Questi nuovi accessi comporterebbero l'abbattimento di alcuni piccoli edifici privati ed un passaggio attraverso un palazzo di funzione

pubblica, perciò non rientrano direttamente nella progettazione dell'isolato, ma restano solo come semplice proposta di miglioramento urbanistico per il buon funzionamento del percorso cittadino creato.

Il passaggio a fianco dell'Hilton risulta per'altro necessario in quanto garantisce la continuità della passeggiata verso l'Ilot 24, da cui si proseguirà verso il cuore d'Ixelles.

02.24
Il percorso attraverso il Parc d'Egmont: in giallo i passaggi esistenti, in verde i nuovi.



L'occupazione dell'isolato

Addentrando nell'analisi del terreno oggetto del progetto, si osserva come la forma allungata verso l'interno del quartiere suggerisca una suddivisione in due parti dell'isolato stesso: una rivolta verso il boulevard, più viva, pubblica ed

urbana, mentre la seconda posta a sud, all'interno del quartiere, che, affacciandosi su strade piccole e tranquille, offre la possibilità di creare un'area più privata.

Questa distinzione risulta inoltre supportata dal forte dislivello, di oltre 10m, tra il boulevard a nord e rue de Stassart a sud, che consentirà di creare una maggiore separazione tra l'area pubblica rumorosa e gli edifici che necessitano di una maggiore tranquillità e intimità.

02.25
Suddivisione dell'isolato: in arancio l'area pubblica, a contatto con il boulevard (in giallo). In blu l'area più tranquilla e privata.



2.3.3 Il verde urbano ed architettonico

La presenza di una buona quantità di aree verdi all'interno di una città risulta di fondamentale importanza per la creazione di un ambiente vivibile, sia socialmente che igienicamente. Parchi e giardini forniscono un luogo d'incontro e relax per la popolazione in un ambiente bello e salutare, in quanto la presenza naturale è in grado di fornire un indubbio piacere sensoriale ed anche psicologico, nonché un miglioramento della qualità dell'aria riducendo gli agenti inquinanti.

In una città dalle grandi dimensioni come Bruxelles risulta indispensabile quindi la creazione di aree verdi, con lo scopo di creare spazi di socializzazione alternativi alle piazze mineralizzate: queste infatti creano delle aree sociali altamente dinamiche, dedite all'attività turistica e commerciale. I parchi e le aree verdi si pongono invece come obiettivo di essere delle zone franche all'interno della frenesia tipica delle città, dove il cittadino può soffermarsi per un momento di relax.

Anche la sola presenza di piccole aree ricche di vegetazione all'interno di un sistema radicalmente costruito e cementificato, quali aiuole e piccoli giardini, è in grado di fornire un aiuto alla vivibilità della città, inducendo un inconscio richiamo all'ambiente naturale ormai dimenticato nelle città.

Risulta quindi fondamentale una progettazione urbanistica che prenda in considerazione l'esistenza di numerose aree verdi ben integrate nel tessuto urbano, che vadano anche oltre al semplice inserimento di giardini pubblici o privati, di aiuole o grandi parchi: la progettazione del verde diventa una parte integrante della progettazione in ogni sua applicazione.

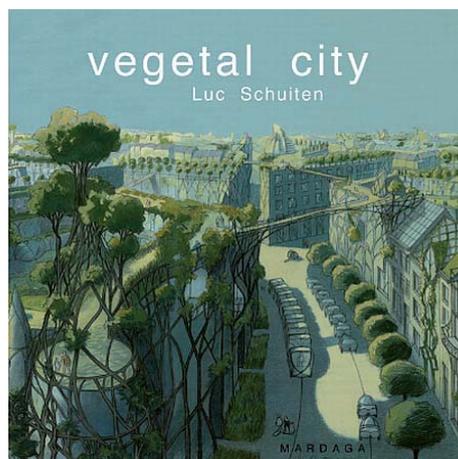
Vegetal City

Una visione molto interessante, seppur utopica, dell'integrazione tra natura e città è rappresentata dalle teorie e dalle immagini generate dall'architetto-artista belga Luc Schuiten: un approccio profondamente rispettoso della natura all'urbanistica ed all'edilizia diviene una visione estrema e totalmente nuova dell'ambiente cittadino.

Nel suo progetto, denominato 'Vegetal City', il fulcro risulta la concezione del futuro considerato "come un tentativo di riconciliazione e cooperazione con la natura, con l'obiettivo di permetterci di vivere insieme in un'armonia bilanciata" (Luc Schuiten, vegetalcity.net), sfociando in una progettazione edilizia ispirata completamente a madre natura.

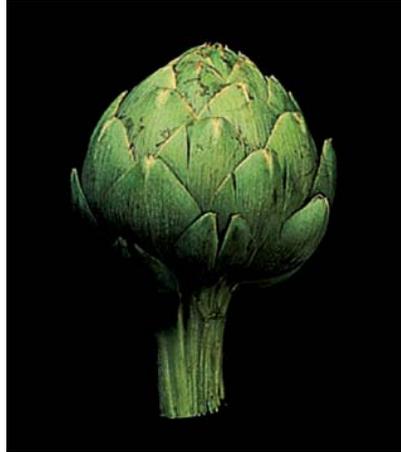
Il concetto sovrano è quello riguardante il "biomimetismo", ovvero un richiamo formale e materiale alla natura, creando edifici con forme floreali e materiali completamente naturali, biodegradabili ed ecologici.

Fin dagli anni '70, Schuiten fu inoltre uno dei primi architetti ad immaginare



02.26
Copertina del libro di
Luc Schuiten, *Vegetal
city* (bibliografia [32]).

02.27
Esempio di biomimetismo secondo Luc Schuiten.
(fonte vegetalcity.net).



case completamente indipendenti energeticamente, grazie agli apporti solari e del vento.

Oltre a creare un immaginario di città estemporanee, utopiche, Schuiten si dedica anche all'integrazione delle sue idee visionarie in città reali, prime tra tutte la sua originaria Bruxelles. L'architetto immagina un'evoluzione della città verso l'architettura verde (non in senso metaforico) pur non intaccando la sua struttura edilizia ed urbanistica: disegna infatti delle case che rispecchiano la

02.28
Modello fisico di una tipica casa bruxellese riadattata secondo le teorie di Schuiten.
(fonte: 'Vegetal City', bibliografia [32]).



tipologia caratteristica del Belgio, con lotti stretti e profondi edificati per tre o quattro piani, ma caratterizzati da forme più organiche generate da alberi con funzione strutturale e pellicole trasparenti organiche come chiusure.

Sulla base di questa tipologia edilizia si avrà una sostituzione graduale degli edifici attuali generando una città completamente verde e vegetale.

02.29
Evoluzione vegetale della città di Bruxelles.
(fonte: 'Vegetal City', bibliografia [32]).



La linea verde

La necessità di riportare elementi consistenti di vegetazione all'interno di Bruxelles, città dominata da una forte vocazione ecologica e naturalista (testimoniata dall'impegno mostrato dalle istituzioni locali e da diverse associazioni nella conservazione dell'ambiente naturale della regione), impone la presa in considerazione, all'interno delle proposte urbanistiche, delle aree

verdi già esistenti, come quella del giardino del Sablon, il Parc d'Egmont ed in parte i bacini di Ste. Catherine, e la possibilità di crearne di nuove, anche di piccole dimensioni, come l'arricchimento tramite aiuole ed alberi di viali e piazze, quali la piazza del Grand Sablon, l'area della chiesa di Marie-Madelein ed il carrefour d'Europe.



02.30
Le aree verdi integrabili con il percorso Est-Ovest.

In questo piano generale, il progetto per l'Ilot 24 si inserisce come un punto di particolare forza nella continuità di questo percorso in grado di collegare il centro alla periferia tramite una passeggiata verde. Ne scaturisce la decisione di inserire aiuole ed alberi all'interno del boulevard de Waterloo, in particolare nell'area centrale della struttura a rambla, dedicata esclusivamente alla circolazione pedonale, e mantenendo la tipologia già esistente del viale alberato per quanto riguarda i grandi marciapiedi laterali.

All'interno dell'isolato si provvederà alla creazione di un verde di tipo semiprivato collegato all'area Sud della parcella e ad un'integrazione della vegetazione nel

proseguimento del percorso e, soprattutto, nell'architettura degli edifici stessi.

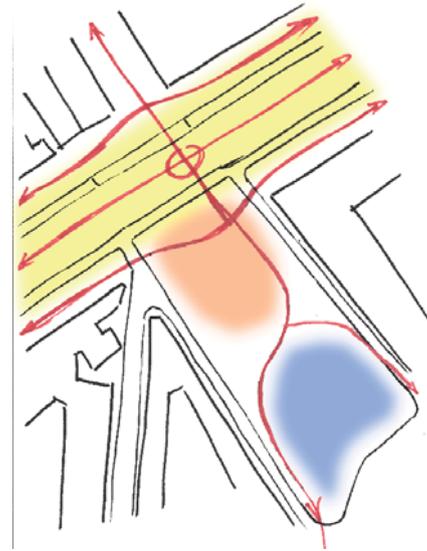
2.3.4 Strategie

Entrando nel dettaglio delle scelte progettuali riguardanti l'area di progetto, si è cominciato considerando principalmente i flussi che si verrebbero a generare date le decisioni urbanistiche illustrate.

Si osserva principalmente che il triplice flusso lungo il boulevard de Waterloo genera, all'incrocio con il percorso proveniente dal Parc d'Egmont, genera un'area di concentrazione dei flussi che potrà essere gestita esclusivamente

con la creazione di uno spazio ampio ed aperto, quale una piazza.

Entrando nell'isolato il percorso si trova poi a dover attraversare prima l'area pubblica ed in seguito quella più privata. Per evitare un'eccessiva incidenza del rumore generato dall'intenso passaggio di persone all'interno di un'area che richiede una buona dose di tranquillità si è deciso di dividere il flusso in due direzioni mantenendolo al suo esterno. Questa scelta ottiene anche un risvolto positivo nel direccionamento del flusso anche verso Place Stephanie, a Sud-Ovest.

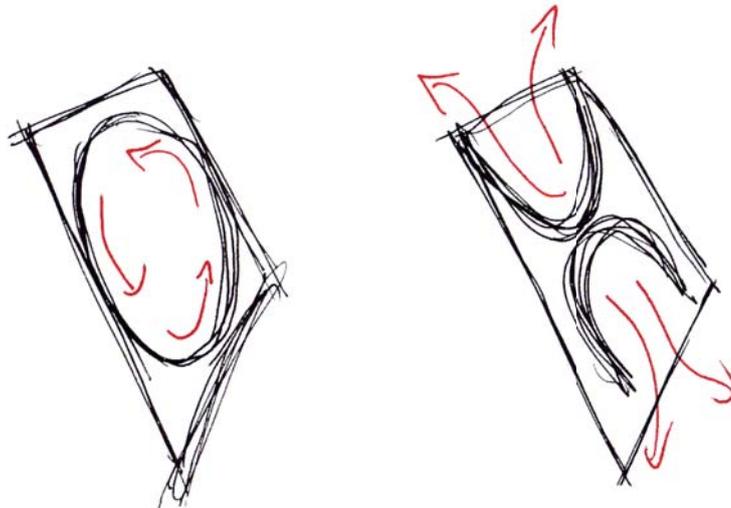


02.31
Schematizzazione dei flussi sul boulevard e all'interno dell'isolato.

Si ottiene in questo modo una netta separazione tra le due aree, senza intaccare l'unitarietà dell'isolato.

Allo scopo di offrire una maggiore apertura verso le aree circostanti si è inoltre pensato di modificare la tipologia caratteristica dell'isolato classico bruxellese, costituito da una struttura a isola chiusa, con una cortina continua di edifici rivolti verso la strada ed aree solitamente a giardino all'interno, trasformandolo in un isolato formato da due corti aperte verso l'esterno.

In questo modo si ottiene un isolato totalmente permeabile ed in comunicazione



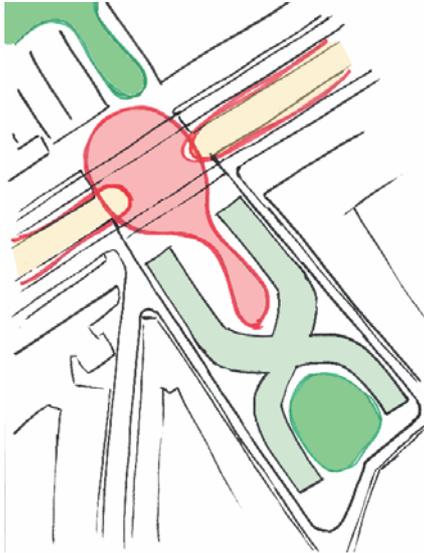
02.32
Schematizzazione isolato aperto/isolato chiuso

con le aree circostanti.

Grazie all'apertura dell'isolato si ottiene come conseguenza la totale partecipazione della corte nord alla vita del boulevard ed in particolare della piazza antistante, generando una continuità spaziale che porta alla formazione di un'unica entità di piazza, in parte interna all'isolato, in parte esterna sul boulevard.

Al contempo questa scelta permette anche la creazione di un'area adibita a verde semi-privato nell'altra corte, ad uso principalmente dell'utenza degli edifici privati rivolti a sud.

Grazie allo sfruttamento del dislivello presente si crea un sistema a due piazze su due livelli differenti, a rimarcare la distinzione funzionale e tipologica, offrendo una discreta intimità all'area sud, che parteciperà solo parzialmente alla vita pubblica della città, offrendo comunque una buona sensazione d'apertura e di comunione con gli spazi confinanti.



02.33
Illustrazione delle aree generate.

Inserendosi in una strada dall'alta occupazione commerciale, basata su negozi di piccola taglia ma di alta qualità, la piazza Nord dovrà offrire una continuità con questa struttura, presentando quindi esercizi commerciali della stessa tipologia rivolti verso l'area di maggior traffico pedonale. Si rivela quindi necessario adottare delle strategie che inducano i passanti all'ingresso nella piazza, in modo che non venga bypassata da chi percorre l'avenue de la Toison d'Or facendo shopping.

Per ottenere questo risultato si è pensato che la soluzione migliore fosse sottolineare il passaggio in un ambiente differente dal resto del boulevard, lasciando un segno di separazione fisico, senza interromperne i flussi. Si portano quindi i volumi sui fronti Nord-Est e Sud-Ovest ad 'invadere' il boulevard, sfornando dal limite del fronte stradale di tutta la Toison d'Or, lasciando però un passaggio a livello del terreno: in tal modo si ottiene l'effetto di un effettivo ingresso in un nuovo ambiente senza rallentamenti o bruschi cambiamenti direzionali, offrendo inoltre un'alta visibilità al progetto per i passanti.

In particolare per quanto riguarda il volume Nord-Est, un oggetto rivolto verso il Parc d'Egmont offre un'immagine di ideale collegamento tra il progetto ed il parco, sottolineando la partecipazione dell'area alla passeggiata urbana proveniente dal canale a Nord-Ovest.

Per quanto concerne l'altezza dei volumi, si è previsto di mantenersi agli stessi livelli degli edifici circostanti per non entrare in contrasto con il contesto creando edifici fuori scala. Si passa perciò da altezze di un massimo di otto piani sul fronte della Toison d'Or a circa quattro piani giunti sulla rue de Stassart.

La presenza dell'hotel Hilton sul fronte opposto del boulevard de Waterloo però induce la concessione di un innalzamento della quota massima raggiungibile, creando una forte demarcazione prospettica della passeggiata sulla 'rambla' ed una sorta di porta cittadina, allineata però con il perimetro del centro.

Un edificio alto in questa posizione va a costituire un punto forte, di

concentramento, a fianco del percorso, nonché un segno distintivo e di visibilità per il riconoscimento del luogo.

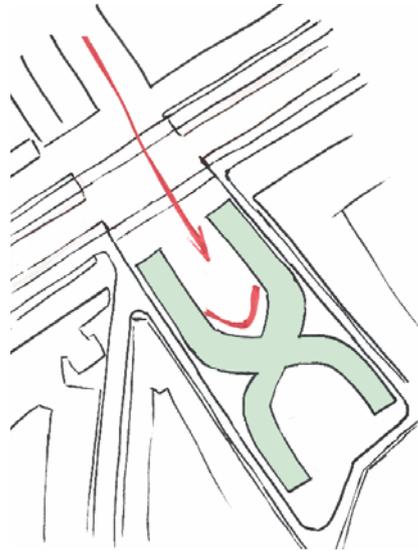
2.3.5 Scelte tipologiche

Dalla conformazione sorta dall'analisi delle strategie da adottarsi per la riqualificazione dell'isolato e dei flussi che lo attraversano, si è dato origine ad una volumetria che si adattasse alle necessità della creazione di un percorso fluido che palesasse l'intento del collegamento tra centro e periferia attraverso l'isolato in questione. Questo si deve verificare in contemporaneità al mantenimento della piazza a Nord e della separazione funzionale e principalmente sonora tra le due aree create.

Il corridore

Giungendo sul boulevard de Waterloo, il percorso urbano rischia di perdere la propria forza in quanto lo sfociare in una piazza, che per sua natura tipologica

rappresenta un punto d'arrivo, potrebbe rappresentare un 'cul de sac', disperdendo e bloccando i flussi. Questo rischio risulta particolarmente elevato nel caso in questione, in quanto la conformazione scelta per l'isolato presenta una totale chiusura della piazza sul fronte Sud, ponendo una barriera alla continuità del percorso. Si è perciò scelto che il percorso si mantenesse tangente alla piazza, sul fianco Nord-Est, in coincidenza della volumetria presente, non entrando direttamente nello spazio aperto e dispersivo generato dalla piazza,



02.34
Schematizzazione del
rischi di 'cul de sac'
della piazza.

mantenendo quindi la focalizzazione sull'obiettivo del passaggio.

Ci si trova quindi di fronte alla problematica dell'integrazione del percorso all'interno di un volume, pur rimanendone separato.

In questa situazione viene in soccorso la storia, con un esempio di architettura: il Corridore Vasariano di Firenze.

Il concetto base di questo collegamento, che sarà adottato anche nel progetto, è la creazione di un passaggio che sia in parte palese e ben visibile dalla città, come sul ponte vecchio, ed in parte integrato e quasi completamente nascosto all'interno dell'architettura degli edifici attraverso i quali si trova a dover passare.

Allo stesso modo del corridoio fiorentino, il nostro percorso risulterà visibile e palese nel suo passaggio dal Parc d'Egmont al boulevard e lungo l'attraversamento, ma diventerà un elemento



02.36
Il corridore vasariano a
Firenze.

appartenente all'edificio una volta giunto sull'altro lato, risultando visivamente meno riconoscibile, ma comunque ben delineato, guidando la gente verso la direzione per la Place Stephanie.

Il cambio di direzione imposto dalla biforcazione per il raggiungimento della Place Stephanie e quindi dell'avenue Louise pone, però, il rischio di creare dei punti di discontinuità che potrebbero intaccare la dinamicità del percorso, rendendolo meno efficace. Si sceglie perciò di fluidificare il corridore ponendo delle forme che non presentino angolature troppo marcate o elementi di interruzione, dando quindi origine ad una camminata continua.

Si arriva quindi a definire una forma curva e sinuosa che tagli trasversalmente l'isolato con continuità secondo l'asse Nord-Sud.

Dovendo creare uno spazio unitario per quanto riguarda la piazza Nord, si rivela necessario mantenere la stessa quota della superficie del boulevard antistante, perciò si dovrà affrontare a Sud un forte dislivello, di circa 7-8m, per giungere alla stessa quota di rue des Drapiers.

Questo dislivello ha suggerito la scelta di uno sdoppiamento del corridore su due livelli sovrapposti, uno alla quota di piazza, il secondo alla quota d'arrivo.

Entrambi i percorsi saranno affiancati da esercizi commerciali, che accompagneranno gli utenti lungo tutto l'attraversamento dell'isolato.

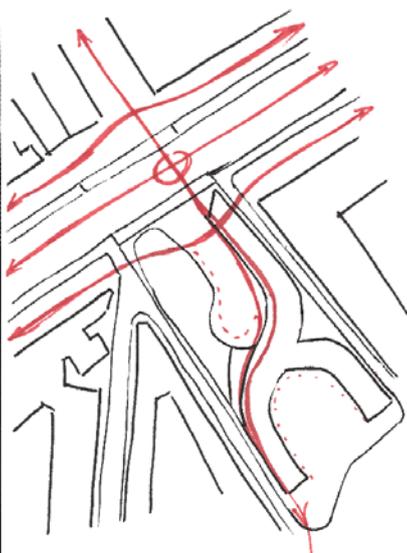
Per risolvere il problema di continuità generato dal dislivello si è pensato di porre una salita in concomitanza con l'inizio del volume Nord-Est che generasse la divisione ed un'ampia scalinata a Sud, che delineasse il ricongiungimento dei due percorsi, che da quel punto continuerebbero nuovamente uniti.

Questa seconda scalinata verrebbe inoltre a costituire parte del paesaggio urbano della piazza.

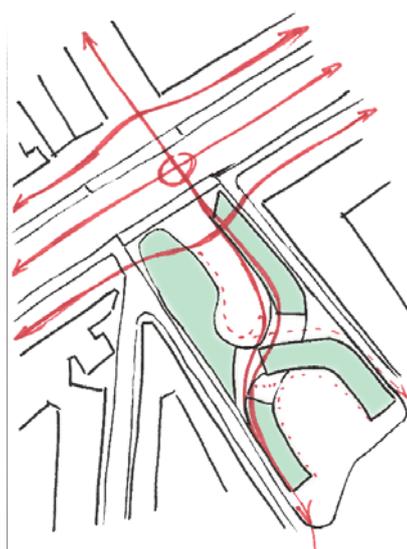
Con questa netta suddivisione vengono anche a crearsi due circolazioni secondarie interne, separate per le due piazze, di cui quella all'interno della piazza Nord risulterebbe come prolungamento del flusso dell'avenue de la Toison d'Or.

Sorge però la necessità di creare ulteriori passaggi al fine di creare lo sdoppiamento del percorso che conduca il cuore del comune d'Ixelles, verso la Place Flagey, e un collegamento secondario tra le due piazze.

L'unitarietà delle forme mantenuta



02.36
Schematizzazione dello sdoppiamento del flusso. Con linea tratteggiata sono sottolineati i flussi interni propri delle due piazze.



02.37
Schematizzazione dei flussi, con evidenziazione dei volumi.

fin'ora verrà quindi spezzata in due punti lungo il percorso, all'altezza del congiungimento tra le aree Nord e Sud.

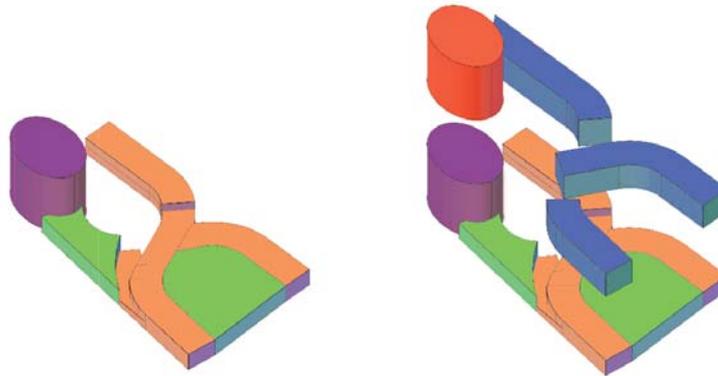
I Volumi

Dalla creazione di questi passaggi si vengono a creare quattro principali volumetrie, due coinvolte dalla piazza pubblica a Nord, due principalmente rivolte verso lo spazio più calmo a Sud. Dato il differente ruolo svolto dagli spazi su cui questi volumi si affacciano, è logica conseguenza una distinzione di funzioni: i due volumi della zona Nord, rientrando a far parte di una logica più urbana, dinamica e commerciale essendo a diretto contatto con la piazza ed il boulevard, ospiteranno principalmente delle funzioni pubbliche e commerciali, mentre i due blocchi Sud, affacciandosi su un'area tranquilla e protetta dal caos cittadino, ospiteranno delle residenze.

Considerata inoltre la tipica 'mixité' degli isolati bruxellesi e le richieste delle associazioni di quartiere (che lamentavano nei precedenti piani attuativi proposti l'assenza di un numero adeguato di abitazioni affacciate sulla prestigiosa avenue de la Toison d'Or), si è deciso di inserire, ai piani più alti, anche delle residenze nel blocco Nord-Est, al di sopra dei due livelli adibiti a funzione commerciale.

Con l'obiettivo di fornire uno stimolo maggiore alla vitalità del quartiere si è poi optato per l'inserimento di una funzione culturale, consistente in uno spazio espositivo ipogeo, con ingresso sulla piazza ma sviluppato al di sotto dell'area

02.38
Schematizzazione delle volumetrie.
In arancio sono indicati i volumi adibiti a commercio, in blu quelli residenziali, in verde l'Expo, viola l'albergo, rosso gli uffici.



Sud, tra gli edifici delle residenze. In questo modo si riesce a sfruttare anche il volume di scavo generato dalla costruzione dei due blocchi residenziali.

Il volume Nord-Ovest, data la possibilità di un maggiore innalzamento del fronte in corrispondenza dell'edificio dell'Hilton, consisterà in un edificio a torre dell'altezza approssimativa di 70m, mantenendosi quindi più basso dell'eccessivo edificio con cui si trova ad interagire, che risulta completamente fuori scala rispetto al contesto.

La presenza di un nuovo edificio alto crea un nuovo dialogo della torre con il contesto, donandole una dimensione più proporzionata e generando uno stimolo per l'innalzamento di altri edifici nei dintorni, per creare un nuovo quartiere moderno e metropolitano.

Trovandosi l'area in stretta prossimità del centro storico, del quartiere europeo e di zone ad alta concentrazione di uffici, risulta molto utile la creazione di un albergo che possa servire sia i turisti che lavoratori in trasferta. L'inserimento in un'area ricca di servizi, quali i trasporti e le istituzioni, e di terziario suggerisce

l'opportunità di inserire anche degli spazi adibiti ad uffici, di cui la torre è la tipologia più emblematica.

2.3.6 Scelte architettoniche

Passando da un ambito schematico ad uno più dettagliato, si arriva alla precisa



02.39
Plani volumetrico di progetto.

definizione delle forme, degli spazi creati e degli accessi, ottenendo il seguente masterplan.

Si nota come la riqualificazione del boulevard abbia portato ad un sistema a tre livelli di percorrenza pedonale: le due camminate laterali si sviluppano su degli ampi marciapiedi su cui si affaccino gli esercizi commerciali, affiancati da un filare di alberi e da alcuni parcheggi di superficie, mentre il percorso centrale consiste in una passeggiata più tranquilla, separata dalla frenesia della via dello shopping. Si tratta di un percorso fondamentalmente rettilineo, movimentato però dalla creazione di ricche aiuole dal profilo dolcemente ondulato che



02.40
Vista fotorealistica delle aree di relax lungo la camminata centrale del boulevard.

generano degli spazi di sosta nelle proprie insenature, attrezzati con delle panchine dalle forme morbide.

A fianco degli alberi presenti nelle aiuole verrà posizionato, su entrambi i lati della passeggiata, un filare di pale eoliche ad asse verticale, dall'altezza di circa 12m. Oltre ad essere un mezzo di produzione energetica, questi elementi vanno a sottolineare la profonda prospettiva generata dalla rettilineità del boulevard stesso e, grazie alla loro forte valenza architettonica, possono essere elevati a simbolo della sostenibilità dell'intero progetto, creando un parco eolico,

connesso alla rete elettrica della città, in pieno contesto urbano risultandovi pienamente integrato.

Una volta giunti, attraverso questa passeggiata, di fronte all'isolato, ci si ritrova in un ambiente completamente differente: un'ampio spazio indifferenziato,

02.41
Vista fotorealistica della piazza proveniendo dal boulevard de Waterloo, sul lato Nord.



circondato da panchine sinuose che ne delimitano il perimetro, delineando lo sfociarvi dei flussi in maniera dolce.

La superficie complessiva della piazza sarà pavimentata con lo stesso materiale della passeggiata centrale, anche sull'area di passaggio dei veicoli. La differenza di materiale rispetto al manto stradale, combinata ad un leggero dislivello di una trentina di centimetri, saranno sufficienti a indurre negli automobilisti la coscienza di trovarsi in un luogo distinto dalla strada in cui è necessaria una maggiore prudenza ed attenzione. Il passaggio delle autovetture sulla piazza non si rivela una fonte di problemi e pericoli in quanto, grazie all'interramento della maggior parte del flusso veicolare al di sotto del boulevard, il traffico risulterà molto ridotto, limitato alla circolazione di quartiere.

Come elemento distintivo che non intaccasse l'ampiezza e la continuità dello spazio, sono stati inseriti dei getti d'acqua a terra, distinti in due gruppi, in grado di movimentare l'ambiente e di raffrescarlo durante l'estate.

Rivolgendosi poi verso l'Ilot 24, si avrà un proseguimento del medesimo spazio in un ambiente più chiuso ma comunque appartenente ad un ambito pubblico ed urbano. Quest'area della piazza risulterà uno spazio di sosta e shopping, più che un'area di incontro e passaggio, assimilabile ad un proseguimento del marciapiede sul fronte della Toison d'Or. Il flusso proveniente da questa direzione sarà infatti convogliato all'interno dell'isolato senza essere interrotto: l'edificio

02.42
Vista fotorealistica dal boulevard de Waterloo.
Si evidenzia l'effetto generato dagli aggetti che si protendono verso la piazza.



Nord-Est si protenderà verso il Parc d'Egmont, estendendosi con un volume in aggetto sopra al marciapiede, lasciando libero il passaggio al livello 0, mentre di fronte alla torre sarà posta una copertura per l'ingresso dell'Hotel. Grazie a queste due strategie si ottiene il risultato di donare la sensazione ai pedoni di entrare in uno spazio nuovo, che si apre a fianco della passeggiata, senza però porre alcuna barriera o deviazione. Al contempo questi due elementi, che si estendono oltre il fronte degli edifici circostanti donano una maggiore visibilità al progetto lungo tutto il boulevard de Waterloo, in aggiunta al segnale lanciato dall'inserimento di un edificio alto.

Il protendersi dell'edificio Nord-Est in direzione del passaggio per il Parc d'Egmont sottolinea l'appartenenza dell'isolato al percorso proveniente dal centro, indicandone fortemente la direzione, sottolineandone la continuità. Si è inoltre deciso di non terminare l'aggetto con un taglio ortogonale all'asse principale dell'edificio per lasciare l'immagine di un ideale proseguimento lungo il corridore.

Giungendo invece dal Parc d'Egmont, si attraversa un passaggio ricavato sul fronte Nord del boulevard, anch'esso affiancato da delle sinuose aiuole alberate, trovandosi improvvisamente di fronte alla grande apertura di spazio generata dalla piazza, senza però perdere la propria direzione notando immediatamente il segnale di proseguimento lanciato dall'edificio sul lato opposto.

Attraversando la piazza ci si trova di fronte allo sdoppiamento del percorso,



02.43
Vista fotorealistica della piazza e dell'area di progetto proveniente dal passaggio del Parc d'Egmont.

che offre la possibilità di continuare il percorso allo stesso livello nella piazza commerciale interna, uno spazio parzialmente chiuso e quindi distinto dal precedente. Si procede qui affiancati a Nord-Est da un livello di negozi, mentre sul lato opposto si trova l'accesso all'Expo, inserito nel basso volume che determina il basamento della torre, fino ad arrivare all'estremità Sud, dove si incontra l'ampia scalinata che porta al ricongiungimento con l'altro ramo del corridore, al livello della rue de Drapiers.

Alternativamente all'ingresso nella seconda parte della piazza, è possibile salire al livello superiore proseguendo su un ballatoio che affianca un bar ed una serie di esercizi commerciali, prima nascondendosi al di sotto dell'edificio, poi palesandosi in aggetto in concomitanza della biforcazione che porta, tramite una leggera rampa, alla rue des Chevaliers. Le forme morbide dei volumi guidano poi, senza forzature, verso la rue des Drapiers, incontrando prima la biforcazione secondaria che porta nella piazza-giardino dell'area residenziale tramite una scalinata, ed in seguito il ricongiungimento con il primo ramo del corridore, proseguendo unitamente, con un leggero dislivello gestito tramite una

rampa, fino all'incrocio tra rue des Drapiers e rue de Stassart.

Anche lungo quest'ultimo ramo del percorso si è affiancati da negozi e coperti dall'edificio residenziale soprastante.

Lo spazio del giardino a Sud sarà invece caratterizzato da un percorso interno adiacente agli edifici, a fianco del quale si troverà un basamento rialzato per l'accesso al livello delle residenze e dal grande lucernario circolare del sottostante spazio espositivo.

Gli accessi alle residenze di quest'area sono posizionati esclusivamente verso il giardino, separandoli completamente dal percorso commerciale. Per quanto riguarda le residenze inserite nell'edificio a Nord, l'accesso avverrà dalla rue

02.44
Piano degli accessi e
dei percorsi pedonali.

02.45
Piano degli accessi e
dei percorsi veicolari
(in giallo gli accessi ai
parcheggi interrati)



de Chevaliers, sempre con l'obiettivo di mantenersi separati dall'ambiente più vivace della piazza.

Per quanto riguarda invece il traffico veicolare, il sistema stradale, ad eccezione dell'interramento lungo il boulevard, rimarrà invariato, mantenendo i medesimi sensi unici sulle strade che circondano l'isolato.

Sarà profondamente modificato invece il sistema dei parcheggi: lungo il boulevard de Waterloo rimarranno, a fianco di entrambi i marciapiedi laterali, dei parcheggi di superficie mentre verrà spostata la rampa d'accesso al parcheggio della Galleria de la Toison d'Or, originariamente situato di fronte all'Ilot 24.

La nuova rampa sarà situata a ovest dell'isolato, a fianco del marciapiede, e condurrà sia al parcheggio interrato già esistente, sia al parcheggio di nuova edificazione, situato al di sotto di tutta l'area Nord dell'Ilot 24, dove è situata anche tutta l'area spedizioni e depositi dell'isolato.

Spazi box per le residenze saranno creati invece sotto ai volumi residenziali

02.46
Sezione contestuale
longitudinale sull-asse
della piazza.



dell'area Sud, al primo livello interrato, a fianco dello spazio espositivo, con un accesso dalla rue des Chevaliers.

Si ottengono quindi, nel complesso, i seguenti valori approssimativi di metrature sull'isolato, distinti per destinazione e tipologia:

associati ai seguenti valori di spazi comuni ed accessori:

Comerciale	Residenziale	Uffici	Albergo	Ristoro	Expo
2783	12755	5976	9960	582	15230

Tabella 02.02
Metrature ambienti interni.

Si è infine deciso di destinare a verde anche tutte le coperture degli edifici,

Piazza	Giardino	Parcheggi superficiali	Parcheggi interrati	Box	accessori
5800	1537	1948,44	6400	2160	7350

Tabella 02.03
Metrature ambienti comuni.

mantenute piane, per incrementare l'incidenza della vegetazione all'interno del quartiere.

Per ciò che concerne l'isolato si ottengono perciò una percentuale di superficie di più del 50% destinato a vegetazione.

Ci si pone nell'ottica di restituire alla natura il terreno sottrattolo con la

Verde a terra	Coperture verdi		%
912	5374		51,1223162

Tabella 02.04
Percentuale di vegetazione in rapporto alla superficie dell'isolato.

cementificazione delle aree urbane: la superficie edificata intacca infatti la biodiversità regionale, riduce la capacità del suolo di riassorbire le acque piovane, causando danni ambientali ma anche alla città stessa (come allagamenti, smottamenti e cedimenti), inoltre le superfici dure consentono ad una quota maggiore di agenti inquinanti di confluire nelle acque di falda, venendo a mancare il filtro posto dalla vegetazione e dal terreno.

2.4 Il T.I.N.-Tin Building

Si è scelto di concentrare l'attenzione sull'elemento più significativo e complesso dell'isolato: l'edificio a torre.

2.4.1 La tipologia a Torre

La tipologia a torre risulta una delle più complesse ed attraenti dell'ambito architettonico e tecnico. La sua attrazione deriva da una tendenza ancestrale dell'uomo ad elevarsi verso il cielo, sfidando le leggi terrene.

Questa tendenza risulta ben visibile fin dagli albori delle costruzioni e sempre più evidente con l'evoluzione della tecnologia costruttiva.

All'origine la torre nacque come elemento difensivo, il cui scopo era quello di favorire l'avvistamento del nemico a grandi distanze. In seguito però questo meccanismo di visibilità si è ribaltato, portando la torre ad essere un edificio il cui scopo è quello di essere visto anche da lontano, un punto focalizzatore di attenzione.

Al giorno d'oggi lo scopo della creazione di un edificio alto non è molto differente: la torre viene infatti adottata come elemento di visibilità, simbolo di potere e ricchezza, da parte delle grandi compagnie del commercio internazionale, dalle istituzioni e dalle amministrazioni.

Ma le questioni su cui si deve concentrare l'attenzione per valutare la scelta dell'edificazione di un edificio a torre vanno anche oltre il ruolo sociale che questa assolve: lo studio architettonico e tecnologico di un edificio di questo tipo si discosta infatti radicalmente dai criteri utilizzati per l'edilizia tradizionale, che non tengono conto della caratteristica principale, ovvero l'altezza.

Questa influenza tutti i parametri di progettazione, costruzione e funzionamento, rendendo quindi di difficile valutazione la sostenibilità intrinseca della tipologia, che andrà affrontata caso per caso bilanciando le scelte architettoniche, urbanistiche e sociali con le necessità energetiche, funzionali e costruttive.

Uno dei principali fattori di dibattito riguardo gli edifici alti risulta quello dello sfruttamento del suolo: sebbene un edificio dalla piccola pianta e grande altezza evidentemente minimizza l'impatto al suolo, ponendo un maggior volume su un'area ridotta, al contempo implica un minor sfruttamento del volume stesso dovuto alla necessità di grandi elementi di distribuzione verticale. Questo fattore viene espresso dal rapporto tra la superficie netta dell'edificio (NRA: Net Rentable Area), ovvero l'area effettivamente utilizzabile, e la superficie totale realizzata (GFA: Gross Floor Area), comprendente gli elementi strutturali, i collegamenti verticali e tutti i vani tecnici necessari, non compresi nelle superfici commerciabili.

Al crescere dell'altezza dell'edificio, il numero di ascensori, l'ingombro delle strutture e degli elementi tecnici aumenta in maniera non lineare.

Il rapporto NRA/GFA risulta infatti molto alto per edifici di modesta altezza, riducendosi però drasticamente passando oltre i 18-20 piani, in particolare in correlazione all'aumento del numero di ascensori necessari, che, oltre ad avere una forte influenza sulla superficie utilizzabile, porta ad un incremento dei consumi energetici di forte impatto sul bilancio complessivo dell'edificio.

Inoltre la struttura di un edificio alto risulta molto più soggetta ai carichi

orizzontali ed implica una crescita elevatissima di quelli verticali. Ciò porta ad un incremento delle dimensioni e della massa degli elementi strutturali, che implica un aumento dell'energia immagazzinata nel processo produttivo dei materiali da costruzione.

L'elevarsi in altezza però presenta anche fattori positivi, sia a livello urbano che costruttivo.

La possibilità di moltiplicare verticalmente la superficie del lotto, porta ad una riduzione dell'impatto al suolo dell'edificio, con risvolti positivi sia economici (dato l'aumento di capacità remunerativa del lotto stesso) sia ambientali.

L'aumento della densità urbana porta infatti ad un minor consumo di superficie, riducendo l'espansione dei nuclei costruiti e salvaguardando gli spazi verdi limitrofi, ed alla riduzione dei consumi dovuti a trasporti: un'alta concentrazione porta ad una grande riduzione delle distanze medie di spostamento e facilita l'utilizzo dei trasporti pubblici grazie ad un'aggregazione della domanda.

Il vantaggio ottenibile in termini di riduzione dei consumi di carburante può mitigare o anche annullare gli effetti negativi relativi all'energia accumulata nella costruzione, se esteso ad un ciclo di vita sufficientemente lungo dell'edificio.

Bisogna inoltre considerare le economie di scala generate da costruzioni di grandi dimensioni ed alcuni fattori di fisica dell'edificio: con l'aumento delle dimensioni dell'organismo, aumenta, con i dovuti accorgimenti palmivolumetrici anche il rapporto tra volume e superficie dell'involucro, rendendo l'edificio meno sensibile ai cambiamenti termici esterni.

Il raggiungimento di quote maggiori porta inoltre ad un cambiamento delle condizioni esterne, quali la riduzione della densità dell'aria, delle temperature e della percentuale di umidità assoluta dell'aria, migliorando le prestazioni per quanto riguarda il condizionamento estivo, fattore prevalente di consumo in posizioni geografiche calde e soprattutto per un'occupazione ad uffici.

Si può considerare inoltre la possibilità offerta da edifici alti all'applicazione di tecnologie per la produzione di energia da fonti rinnovabili: l'assenza di ostacoli rende infatti più produttivi i sistemi fotovoltaici ed l'altezza incrementa la produttività delle pale eoliche, dato l'aumento della velocità del vento.

Questo comporta però un incremento dei carichi sulle strutture e un impiego di ulteriori materiali, aumentando di conseguenza l'Embodied Energy dell'edificio.

Risulta perciò molto utile un principio espresso da Ken Yeang: «C'è un certo errore di valutazione su cosa sia il design ecologico. Non dobbiamo farci sedurre ed ingannare dalla tecnologia. Vi è la percezione diffusa che se assembliamo su un singolo edificio abbastanza paccottiglia tecnologica come collettori solari, fotovoltaico, sistemi di riciclaggio biologico, sistemi di automazione e facciate a doppia pelle, avremo automaticamente un'architettura ecologica.»

Risulta perciò fondamentale per una buona progettazione una valutazione estremamente approfondita di tutti gli aspetti specifici coinvolti nella costruzione e nel funzionamento di un edificio.

2.4.2 Riferimenti architettonici

In aggiunta all'opera artistica visionaria già citata dell'architetto belga Luc Schuiten, fonte di ispirazione per il progetto dell'Ilot 24 e del T.I.N.-Tin Building in particolare, sono state le teorie riguardanti il "Green Design" esposte dall'architetto Ken Yeang.

Secondo la sua filosofia, il fulcro dell'architettura sostenibile si trova nell'integrazione tra ambiente costruito e ambiente naturale, nella reintroduzione della vegetazione in ambienti già compromessi.

La sfida maggiore di questa concezione dell'architettura bioclimatica risulta rappresentata dalla tipologia del grattacielo ed è per questo che Ken Yeang si è concentrato su di essa, con la produzione di numerosi progetti, dominati da un intenso ed approfondito studio delle forme, dei volumi, degli oscuramenti e dei materiali, al fine di ridurre l'impatto che un edificio alto può portare all'ambiente.

Punti fondamentali della ricerca di Ken Yeang sono infatti l'introduzione degli elementi naturali all'interno e sull'edificio stesso, non solo nel contesto che lo circonda, e la versatilità degli spazi.

La sostenibilità di un edificio infatti non può essere valutata se non in rapporto alla sua durata nel tempo: più lunga sarà la sua vita, minore sarà l'impatto ambientale dell'energia e dei materiali utilizzati nella sua costruzione. Per questo motivo bisogna tendere a sviluppare un edificio che possa cambiare conformazione interna e funzione nel tempo, affinché ci accompagni per un lasso di tempo che va ben oltre la sua prima funzione ideata, adattandosi all'evoluzione delle richieste.

Tra i principali edifici che hanno influenzato la progettazione del T.I.N.-Tin Building può citare la Editt Tower a Singapore come esempio di integrazione e reinserimento del verde in un ambiente urbano compromesso, privo di elementi naturali, creando un corridoio continuo di vegetazione dalla base alla vetta della torre grazie alla piantumazione in facciata e sulle terrazze.

Di forte influenza è stata l'idea della creazione di un edificio in cui ogni piano potesse essere considerato come un piano terra, dotato quindi di una terrazza adibita a giardino pensile e circolazione esterna, con un gioco di variazione di forme esteticamente molto interessante.



02.47
Llewelyn-Davies-
Yeang, 'Zorlu Ecocity',
Istanbul.



02.48
Hazmah&Yeang, 'Editt
Tower', Singapore.

Si riportano altri esempi, sempre appartenenti all'opera di Ken Yeang, che hanno inciso particolarmente nella visione progettuale del T.I.N.-Tin Building.

02.49
Hazmah & Yeang,
'Chongqing Tower',
Chongqing.



02.50
Ken Yeang, 'Human
Research Institute',
Hong Kong.



Oltre alle teorie ed i progetti dell'architetto Malaysiano si è guardato anche ad esempi di edifici a torre di provata efficienza, primo tra tutti la 'Deutsche Post Tower' a Berlino, opera degli architetti Murphy e Jahn.

02.51
Murphy e Jahn, «Deutsche
Post Tower», Berlino



Si tratta di un edificio particolarmente interessante per l'applicazione di numerose tecnologie all'avanguardia, quali l'attivazione della massa, l'involucro a doppia pelle con particolari accorgimenti geometrici, un sistema di ventilazione di naturale e l'inserimento di skygarden.

Di particolare interesse risulta poi il principio progettuale di determinazione delle forme basato principalmente sullo studio dell'efficienza termica dell'involucro in funzione delle

condizioni climatiche esterne.

Interessante si è rivelata anche la 'Aqua Tower' a Chicago, dell'architetto Jeanne Gang, per l'utilizzo di solette in aggetto di varie forme sinuose, studiate in rapporto ad una funzione di protezione dall'irraggiamento solare, oltre che per il loro effetto estetico.

Si è poi guardato al Genzyme Center di Boston, degli Behnisch Architects per la creazione di piccoli giardini interni.



02.52
Jeanne Gang, 'Aqua Tower', Chicago.

02.53
Behnisch Architects, 'Boston Center', Boston. Schematic design.

Come ulteriore esempio della possibile integrazione della vegetazione nell'architettura dell'edificio si riporta l'esempio italiano del Centro Direzionale Forum di Rimini, ad opera di Mario Cucinella, in cui si è particolarmente apprezzata la struttura di facciata a supporto della crescita di piante rampicanti.



02.54
Mario Cucinella, 'Centro direzionale Forum', Rimini.

Dando anche uno sguardo indietro nel tempo si possono trovare moltissimi esempi di inserimento di elementi vegetali nell'architettura, in particolare nell'esperimento socio-urbanistico viennese della Hundertwasserhaus ad opera di Friedensreich Hundertwasser, in cui l'artista/architetto volle creare delle abitazioni popolari donando alle fasce meno abbienti un ambiente gioioso ed allegro tramite la realizzazione di 50 appartamenti dalle linee morbide (non vi è

alcuno spigolo vivo) e ricchi di giardini pensili.

02.55
Friedensreich Hundertwasser, 'Hundertwasserhaus', Vienna.



Esempi fondamentali si trovano poi nell'architettura tradizionale nordica, dove un sottile strato di terra dedicato alla crescita di un manto erboso era spesso depositato sulle coperture a falde come espediente per un maggiore isolamento termico.

02.56
Esempi di applicazione di coperture verdi nell'architettura tradizionale nordica.

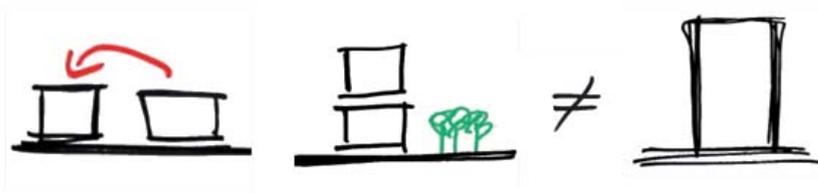


2.4.3 Scelte progettuali

Basandosi sul principio di donare volumi distinti a funzioni distinte, si è rielaborata la teoria di Ken Yeang dell'edificio alto come sovrapposizione continua di piani terra, giungendo a definire una torre come somma di due edifici bassi, sovrapponendo due blocchi totalmente indipendenti se non strutturalmente.

In questo modo si è definito un doppio volume, con interposta una piazza che svolgesse il ruolo di piano terra per il blocco soprastante e facesse ancora parte, di conseguenza, dell'ambiente urbano: si tratta infatti di uno spazio pubblico, raggiungibile tramite una circolazione verticale indipendente e da cui si può accedere esclusivamente al blocco superiore.

Questa decisione deriva dal concetto che vede l'edificio alto come una soluzione per una minore occupazione del suolo; considerando due edifici separati affiancati, la soluzione più logica per ottenere una minor occupazione del suolo, rendendolo disponibile per delle aree verdi, risulta la sovrapposizione dei volumi.



E' però fondamentale considerare la differenza che intercorre tra il concetto della sovrapposizione e la creazione di un blocco monolitico, quale è la struttura tradizionale di un edificio a torre. Il secondo caso infatti non lascia spazio alla creazione di ambienti pubblici, appartenenti alla città, quale la piazza in quota, definibile come Sky-Square, che si viene a creare con la sovrapposizione dei volumi, data l'unitarietà del suo volume.

La creazione di un ambiente intermedio, che rompe la continuità dei fronti offerti dall'edificio, si presenta inoltre come uno spazio supplementare per l'inserimento della vegetazione, con la creazione di giardini pensili.

Un secondo principio fondamentale infatti è stato l'inserimento della maggior quantità possibile di elementi verdi, sia in copertura che in facciata.

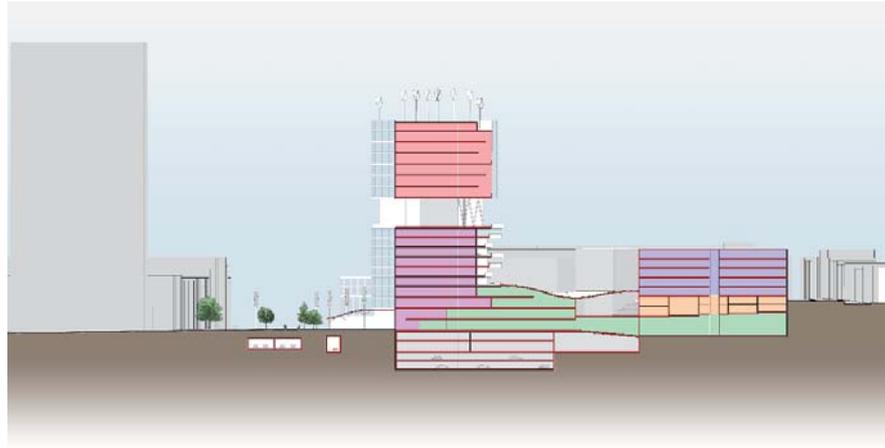


Dall'osservazione dell'ultimo schizzo progettuale si può notare come l'inserimento di un secondo piano terra consenta di raddoppiare la quantità di aree destinate a verde sull'edificio stesso.

02.57
Schizzo concettuale
della sovrapposizione
dei volumi.

02.58
Schizzo concettuale
dell'inserimento della
vegetazione in un edi-
ficio alto.

02.59
 Sezione funzionale.
 Arancio: negozi
 Blu: residenze
 Verde: expo
 Viola: hotel
 Rosso: uffici
 Grigio: parcheggi e locali accessori.



Per quanto riguarda la definizione della forma, ci si è basati invece su dei principi direttamente collegati all'efficienza energetica ed al comfort dell'utenza. Come punto di partenza si è assunta l'ipotesi della necessità di creare una pianta compatta, tendenzialmente vicina alla forma circolare.

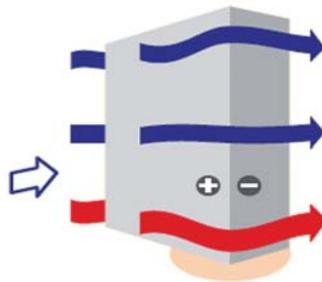
Il cerchio è infatti la figura geometrica che a parità di superficie, offre il minor perimetro, riducendo di conseguenza le superfici disperdenti, a fronte di una migliore gestione del controllo solare offerto da una pianta di tipo rettangolare orientata con l'asse maggiore secondo la direzione Est-Ovest.

Per riuscire a raggiungere un buon compromesso tra queste due forzanti, il comportamento nei confronti del vento e l'adattamento alla planimetria definita precedentemente, si è manipolata la pianta mantenendo sempre presente il principio di morbidezza delle linee e sinuosità propri di tutto il progetto.

Essendo il vento prevalente proveniente da Sud-Ovest, nella stessa direzione del boulevard, la forma ideale per minimizzare la spinta orizzontale si sarebbe dovuta affusolare ed allungare secondo questa direzione, offrendo una superficie d'impatto minore. Una scelta di questo tipo però avrebbe condotto ad un'occupazione eccessiva della piazza, restringendo il passaggio di collegamento con il boulevard intaccando di conseguenza l'unità spaziale caratteristica dell'ambiente che si è creato. La superficie della torre ha dovuto quindi estendersi leggermente verso Sud-Est.

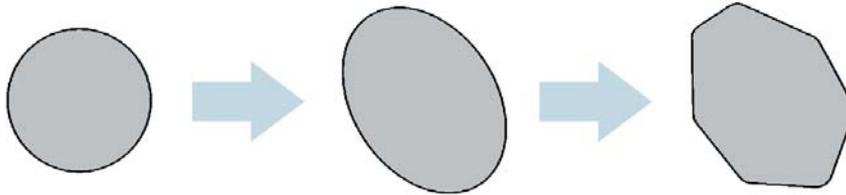
Per affrontare la questione del vento si è allora deciso modificare la forma al fine di renderla più aerodinamica: spezzare la linea di un fronte unitario ortogonale alla direzione del vento, generando un leggero angolo è una buona soluzione per indurre una sufficiente deviazione del flusso d'aria, ottenendo una pressione inferiore sulle due nuove facciate ottenute.

02.60
 Schematizzazione dell'effetto d'angolo.

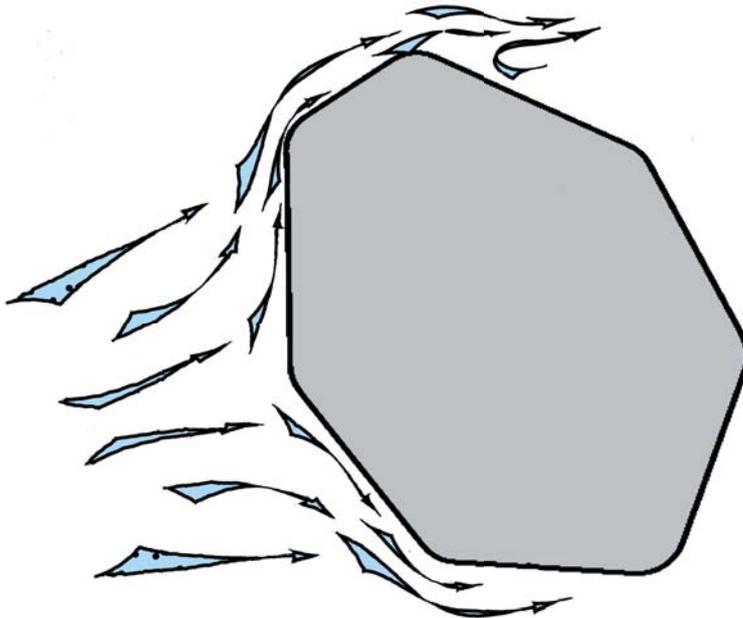


Per ridurre al minimo gli effetti di turbolenza generati dagli angoli degli edifici, tanto maggiori quanto più l'edificio è alto, si è optato per un arrotondamento degli spigoli che incrementasse l'aerodinamica della forma deviando dolcemente il vento, anziché con bruschi cambiamenti di direzione.

Secondo questi principi si è giunti alla determinazione di una forma pressoché ettagonale, leggermente allungata secondo l'asse Nord-Ovest, Sud-Est, dalle linee morbide coerenti con quelle del resto del progetto.



02.61
Evoluzione della forma.



02.62
Schematizzazione del comportamento del vento all'impatto con l'edificio.

La frammentazione del perimetro ha consentito inoltre l'applicazione di un altro principio base di una progettazione energeticamente efficiente, ovvero la gestione differenziata delle facciate in funzione del loro orientamento.

Per ogni affaccio si sono infatti seguite strategie differenti, mirate ad un controllo delle specifiche problematiche solari e termiche.

La differenziazione delle facciate non riguarda solamente la questione energetica ed illuminotecnica, ma svolge anche un ruolo architettonico importante.

La prima e principale distinzione va di pari passo con la distinzione delle funzioni e di conseguenza dei volumi: per il blocco superiore adibito ad uffici si è optato per un involucro dall'aspetto esterno più tradizionale per la categoria, ovvero un involucro completamente vetrato, che consenta la massima illuminazione naturale all'interno.

Nel caso dell'hotel invece si è deciso di adottare un sistema di facciata più movimentato e libero verso Sud, ricco di vegetazione ben visibile e soprattutto usufruibile dall'utenza, che donasse l'idea di un ambiente più rilassato. Verso Nord invece, rivolgendosi alla città, ad un ambiente urbano classico, si è adottato un affaccio più 'tradizionale', costituito da un muro a cortina vetrato.

2.4.4 Strategie

Le facciate dell'edificio sono state trattate in maniera differente in funzione del loro orientamento e delle necessità degli ambienti che delimitano.

Si sono perciò adottate strategie differenti che rispondessero a problemi specifici.

Il fronte Sud dell'hotel, presentando la problematica di un possibile eccessivo soleggiamento durante il periodo estivo, risulta delineato dalle solette in aggetto, arricchite da una fioriera continua, ricca di vegetazione, che funge anche da parapetto.

Al piano 4° ed al piano 7° si sono inseriti, in questi elementi a sbalzo, dei giardini pensili dotati anche di alberi ad alto fusto, come ambienti collettivi di relax.

02.63
Schizzo di progetto,
schematizzante il com-
portamento estivo del
fronte Sud dell'Hotel.



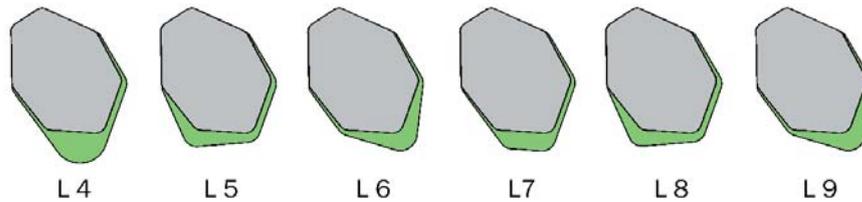
02.64
Schizzo di progetto,
schematizzante il com-
portamento invernale
del fronte Sud dell'Ho-
tel.



L'adozione di questa soluzione consente di ottenere un ombreggiamento significativo sulla facciata durante l'estate, determinato sia dagli aggetti che dalle fronde degli alberi.

Durante il periodo invernale invece il sole, basso e debole, riesce a penetrare a fondo nelle stanze, senza incontrare ostacoli essendo la sua inclinazione sufficiente ad evitare le solette ed essendo gli alberi ormai spogli.

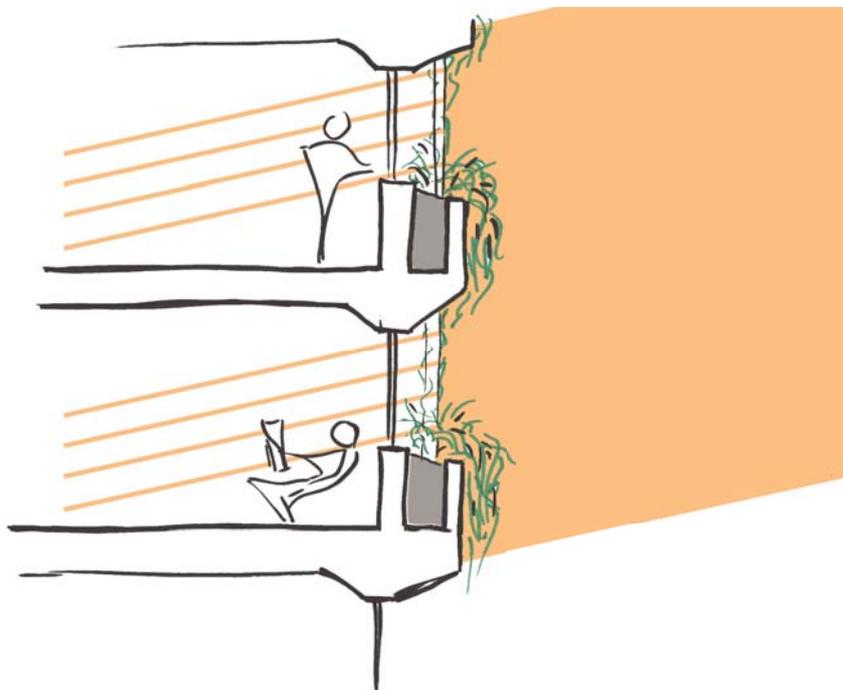
Il sistema di solette in aggetto però non risulta regolare: pur essendo direzionato principalmente secondo il Sud, si è deciso di rendere il versante molto movimentato dando uno slittamento laterale alle diverse solette.



02.65
Schema della variazione di forma delle solette.

Proseguendo verso gli affacci Sud-Est e Sud-Ovest, l'aggetto va riducendosi di dimensioni, avvicinandosi alla facciata, diventando progressivamente una semplice fioriera addossata alla parete. Ciò è determinato dall'inutilità della presenza di un ombreggiamento orizzontale nei confronti del sole basso delle prime ore del mattino e della fine del pomeriggio che incide su questi fronti.

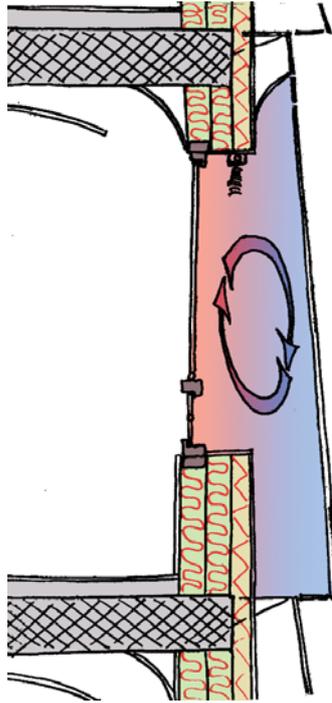
Si è perciò deciso di sfruttare le fioriere per la piantumazione di piante rampicanti, sostenute da dei supporti verticali discreti, ottenendo un sistema di oscuramento a frangisole verticali naturali.



02.66
Schizzo di progetto, schematizzante il comportamento delle facciate Sud-Est e Sud-Ovest nei confronti del sole basso.

Per ciò che riguarda l'involucro vero e proprio di questi fronti, si è creato un fronte esterno unitario che mimetizzasse la presenza delle finestre. Si è ottenuto questo risultando rivestendo i muri di tamponamento con pannelli di vetro stratificato, posti anche di fronte ai serramenti, fungendo quindi da protezione al forte vento (in particolare proveniente da Sud-Ovest) creando una Box-Window

02.67
 Schizzo di progetto,
 schematizzante il
 comportamento della
 doppia pelle in periodo
 invernale.



di tipo tradizionale.

I restanti tre affacci rivolti verso il Nord presentano invece un'estetica più lineare e tradizionale determinata da una cortina vetrata.

Per limitare le eccessive dispersioni invernali si è adottata di una facciata a doppia pelle.

La stessa soluzione è stata estesa poi anche al fronte in pieno Ovest, dove, durante le tarde ore pomeridiane d'estate, sarà necessario bloccare l'ingresso della radiazione solare tramite l'inserimento di dispositivi d'oscuramento e l'adozione di un adeguato sistema di vetraggio.

Questo tipo di chiusure viene poi applicata anche nei medesimi fronti del blocco superiore per le stesse motivazioni, ottenendo un affaccio verso il boulevard dall'aspetto unitario, seppur diviso dal vuoto creato dalla piazza.

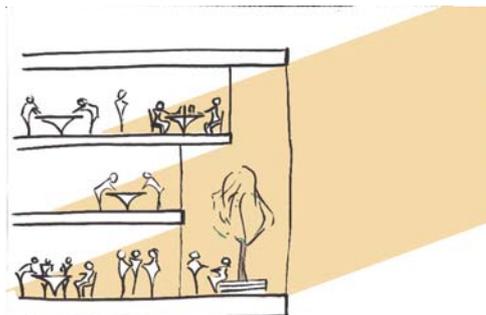
I fronti rivolti verso Sud riceveranno invece un trattamento basato sempre sul concetto di oscuramento solare estivo, problematica fondamentale in particolare per gli ambienti degli uffici, data l'elevata produzione di carichi interni e la necessità di illuminazione naturale. Per mantenere l'idea tradizionale di un blocco vetrato continuo, tipica degli edifici per uffici, si è trasferito il gioco di aggetti all'interno dell'involucro, che viene in questo modo raddoppiato.

Si ottiene così uno spazio interposto tra i due involucri vetrati, che avrà perciò un comportamento di tipo intermedio tra interno ed esterno durante i mesi più freddi, creando uno spazio dal clima piacevole per momenti di pausa durante l'attività lavorativa.

02.68
 Schizzo di progetto,
 schematizzante il com-
 portamento dell'affac-
 cio Sud del blocco uf-
 fici in periodo estivo.



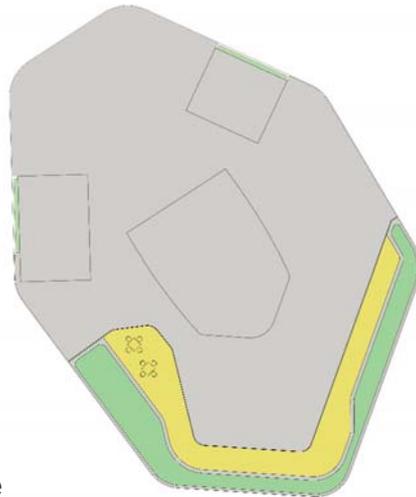
02.69
 Schizzo di progetto,
 schematizzante il com-
 portamento dell'affac-
 cio Sud del blocco uf-
 fici in periodo estivo.



Questi spazi saranno attrezzati con dei giardini ad aiuola, arricchendone il paesaggio interno e fornendo anche la possibilità d'inserire della vegetazione a fusto come dispositivo di oscuramento aggiuntivo.

Durante l'estate questo ambiente risulterà completamente apribile verso l'esterno, permettendo la circolazione dell'aria; si genera quindi uno spazio d'ombra a protezione dell'involucro interno e sempre usufruibile durante momenti di relax.

In particolare risulta rilevante l'area che viene occupata sul fronte Ovest, data l'enorme capacità di penetrazione del sole durante le ore serali estive, che da origine ad uno spazio comune esterno attrezzabile con panchine e tavolini.



02.70
L'area buffer nel blocco uffici.

2.4.5 Distribuzione

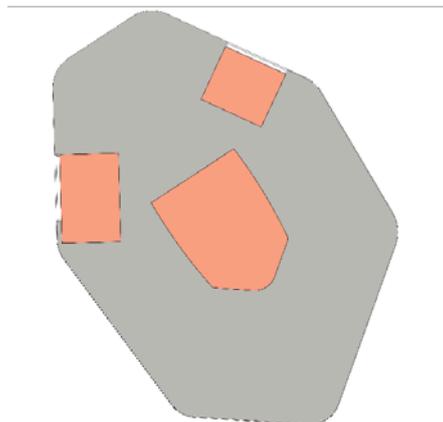
La disposizione degli elementi distributivi e di servizio è uno dei punti fondamentali della progettazione di un edificio a torre e va considerato sin dai primi passaggi progettuali. I nuclei contenenti scale, ascensori e condotte impiantistiche possono arrivare ad occupare fino al 40% della superficie dell'edificio, influenzando radicalmente la progettazione degli spazi interni.

I nuclei di servizio non hanno solo funzione strutturale, ma influenzano direttamente anche le prestazioni termiche dell'edificio e la sua estetica, determinando quali parti del tamponamento esterno potranno essere dotate di aperture.

Trovandosi nel caso di una pianta profonda è risultato necessario applicare un nucleo centrale, ad occupare quell'area che altrimenti sarebbe risultata inutilizzabile per qualunque attività, non essendo mai raggiunta dalla luce naturale.

La presenza di una duplice funzione rende però insufficiente l'area ricavabile al centro della pianta, imponendo la creazione di altri due nuclei periferici di circolazione.

Questi due elementi, trovandosi ad affacciarsi verso l'esterno, incidono significativamente sull'estetica dell'intero edificio e sono quindi



02.71
Gli elementi di distribuzione verticale.

stati trattati in maniera specifica: si è deciso di proseguire il tema delle fioriere esterne provenienti dal fronte Sud, piantumate con piante rampicanti su sostegni verticali come nei fronti Ovest ed Est, aumentandone però l'intensità. In questo modo si ottiene una linea verde verticale continua, dal basamento fino alla cima, come elemento delineante l'unità strutturale e distributiva dell'intero edificio, tramutando una necessità tecnica e di servizio in un elemento architettonico caratterizzante.

Dovendo servire due funzioni distinte ed incompatibili, si è avuta la necessità di creare due circolazioni separate, una che collegasse l'esterno con l'hotel, la seconda che mettesse in comunicazione la città con gli uffici tramite lo spazio di piazza sopraelevata che svolge il ruolo di piano terra urbano per il blocco soprastante.

La circolazione dell'albergo si risolve quindi in maniera convenzionale, tramite ascensori e scale all'interno del blocco stesso, con un collegamento al piano interrato dei parcheggi. Più particolare risulta invece il sistema di collegamento del blocco superiore.

Gli uffici dovranno infatti essere connessi indirettamente, tramite la piazza in quota, con l'ambiente urbano a livello 0, mantenendo però una circolazione interna indipendente. Si è quindi adottata come soluzione l'introduzione di un ascensore esterno urbano, che collegasse unicamente la piazza a terra con la sky-square, comportandosi come un marciapiede verticale, diretto proseguimento dei percorsi del boulevard.

A livello architettonico, questo elemento è stato caratterizzato traendo ispirazione dal principio delle torri d'assedio medievali, mantenendosi quindi come corpo indipendente, leggermente discostato dall'edificio e collegato ad esso tramite una passerella solamente alla quota d'approdo.

Data la posizione e l'altezza del vano, l'ascensore si trova a svolgere anche la funzione di ascensore panoramico, ed è per questo motivo che è stato pensato completamente vetrato, per permettere la massima visione verso il centro città e il boulevard.

La distribuzione del flusso proveniente dalla piazza viene poi gestito in maniera del tutto analoga ad un edificio tradizionalmente posto al livello strada.

Il blocco uffici dovrà poi però essere connesso anche al livello terra per consentire la fuga in caso d'incendio

ed ai parcheggi sotterranei. Sono perciò stati inseriti scale ed ascensori che percorressero, all'interno dei nuclei di servizio, tutto il blocco sottostante, senza però mai poter accedere ai piani dell'hotel per evitare problemi di sicurezza.



02,72
Vista dell'ascensore
vetrato proveniente
dal boulevard.

2.4.6 L'hotel

L'input principale per un dimensionamento di massima di una struttura alberghiera viene fornito dalla superficie disponibile destinata all'intervento, in quanto da questa dipende la capacità ricettiva e, di conseguenza, il numero di addetti. Quest'approccio coinvolge direttamente la fase metaprogettuale, definendo superfici e volumi da dedicare alle differenti funzioni, in base ad alcuni standard di riferimento parametrizzati per utente, addetto o camera.

La validità di questi parametri risulta però estremamente relativa, in quanto si tratta di valori puramente indicativi, che andranno valutati caso per caso.

Si osserva innanzi tutto quali siano gli spazi funzionali principali all'interno di una struttura ricettiva.

Area ingresso	Atrio e ingresso Accettazione portineria Back office Area attesa Deposito bagagli Servizi igienici Cassette sicurezza
Ristorazione	Area ingresso merci Spogliatoi e servizi personale Magazzini Depositi Dispense, celle frigorifere, etc. Cucine Sala ristorante
Bar	Sala bar principale Magazzino bar Servizi igienici
Sale comuni	Soggiorno, sala lettura Sala giochi da tavolo, biliardo, vari Sala ginnastica
Uffici	Direttoa Vicedirettore Segreteria-direzione Amministrazione Commerciale Manutenzione
Locali tecnici	Centrale termica Cabina elettrica Cabina gruppo elettrogeno Locale batterie tampone Centralina idraulica e depurazione Centraline di condizionamento Centraline aspirazione Locale apparecchiature telefoniche Cisterna d'acqua e autoclave Cisterna combustibile Centralina irrigazione Depuratore

*Tabella 02.05
Principali spazi funzionali delle strutture alberghiere.*

Si possono poi osservare i parametri medi per un predimensionamento di massima, adattandolo poi all'architettura specifica ed alle necessita del caso.

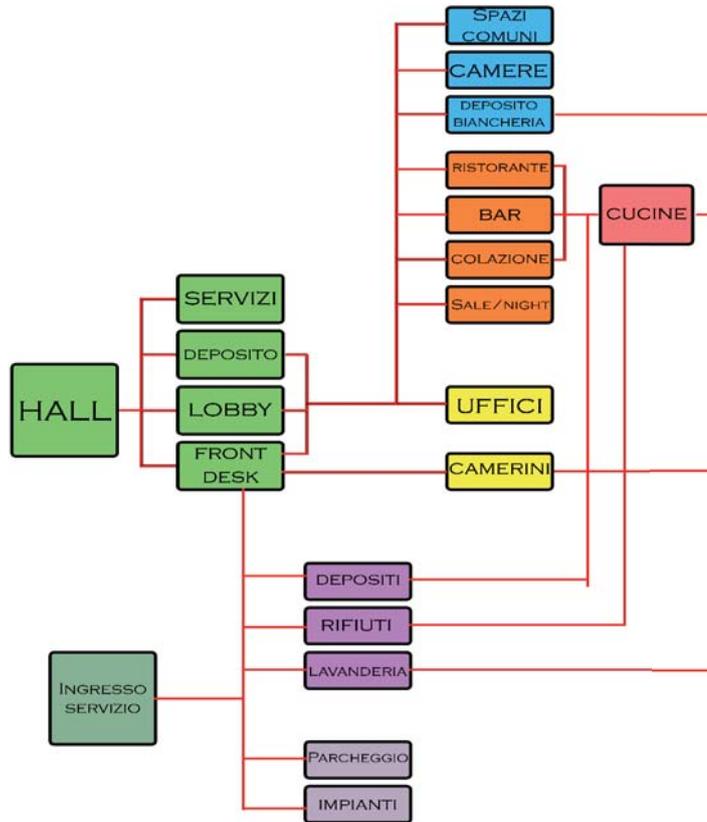
Tabella 02.06
Parametri per il dimensionamento degli spazi funzionali in base alla ricettività dell'impianto.
[fonte]

		Dimensioni dell'impianto in base al numero di camere		
		<100 m ²	<200 m ²	<500 m ²
Ingresso	Atrio	120	210	500
Ristorazione	Bar	40	75	190
	Saletta	90	150	180
	Ristorante	150	350	850
	Cucina	120	190	830
	Ufficio capo cuoco	8	10	10
	Depositi cibi e bevande non deperibili	22	45	130
	Depositi cibi e bevande refrigerati	9	20	48
	Deposito stoviglie	9	20	48
	Zone merci	53	74	133
	Zone comuni	Spogliatoi/servizi	20	30
Sala giochi		18	28	28
Sala comune multifunzione		200	350	720
Foyer		60	80	180
Uffici	Front-office	59	70	135
	Deposito	3	5	8
	Cassette sicurezza	3	5	8
	Amministrazione	40	90	180
	Direzione	49	60	80

Tabella 02.07
Parametri per il dimensionamento degli spazi funzionali in base alla ricettività dell'impianto.

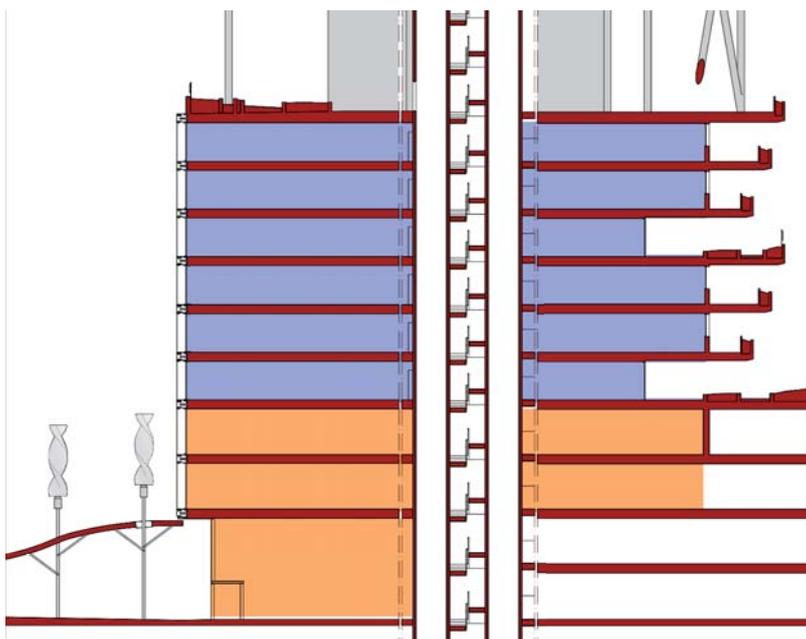
	m ² /utente
Ristorante	1,3
Sale bar	1,1-1,4
Sale intrattenimenti	0,9-1,3
Cucine ristorante	0,9-1,0
Cucinette bar	0,6
Magazzino derrate non deperibili	0,3-0,5
Spogliatoi personale	0,3-0,4

Analizzando gli spazi funzionali necessari e la geometria dell'edificio si è quindi giunti a definire il seguente diagramma riportante lo schema distributivo ed i collegamenti:



02.73
Schema distributivo e collegamenti tra i principali nuclei funzionali.

Si è giunti quindi a definire la dislocazione delle varie funzioni all'interno dell'edificio: principalmente si è separata l'area destinata alle camere da quella collettiva e di servizio, dedicando a quest'ultima i primi quattro piani, mentre i successivi sei all'area notte.



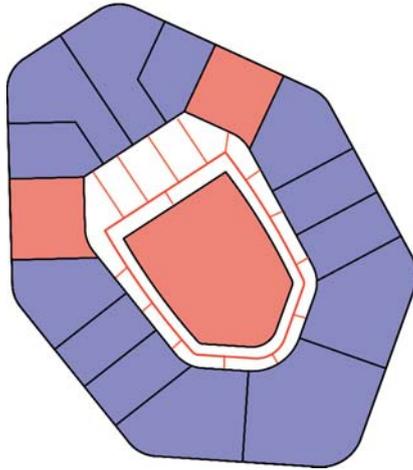
02.74
Sezione distributiva dell'hotel.
In arancione i livelli funzionali, in blu la zona notte.

Le Camere

Per una corretta progettazione degli spazi comuni e di servizio è necessario conoscere il numero di utenti dell'albergo, perciò in primo luogo si deve progettare lo spazio camere.

L'adozione di una pianta compatta circolare agevola questa fase di progettazione, in quanto si tratta della forma che offre il massimo sfruttamento della superficie esterna, garantendo ad ogni stanza un ampio affaccio con un'ottimo accesso alla luce naturale ed alla ventilazione.

02.75
Schematizzazione della pianta-tipo dei piani stanze.



Si riesce inoltre a fornire una circolazione caratterizzata migliore rispetto ad un blocco allungato, riducibile ad un semplice passaggio introno al nucleo centrale in grado di servire tutte le camere con percorsi dalle lunghezze ridotte.

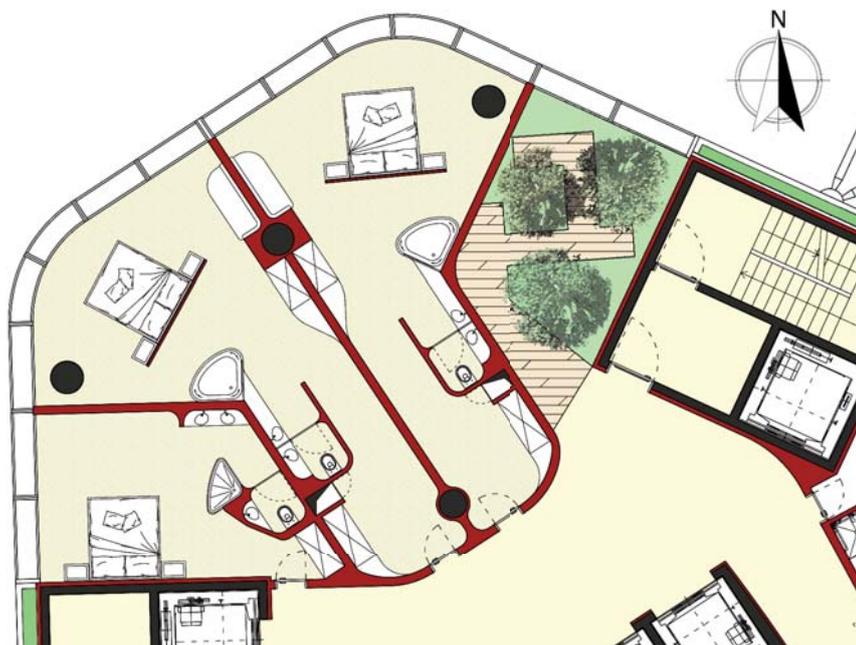
Le stanze si sviluppano poi a raggiera sul perimetro esterno.

Si giunge quindi alla definizione di tredici camere per piano, suddivise in tre tipologie in base alla dimensione ed all'attrezzatura: comfort, suite, appartement long sejour.

Si è deciso poi di eliminare una stanza ad ogni piano, sostituendola con uno spazio comune, consistente in un giardino d'inverno a doppia altezza, situato alternativamente a Ovest ed a Nord-Est, per un totale quindi di tre giardini.

Al piano 4° e 7° sono inoltre presenti, sulla soletta a sbalzo verso Sud, i giardini pensili di uso pubblico. Si è dovuto quindi creare un passaggio che collegasse questi spazi comuni esterni alla circolazione interna, modificando a questi livelli la forma degli appartamenti sul fronte Sud.

02.76
Pianta piano tipo stanze, fronte Nord.
Si evidenzia il giardino d'inverno, che alternativamente si affiancherà ai nuclei distributivi Nord-Est e Ovest.

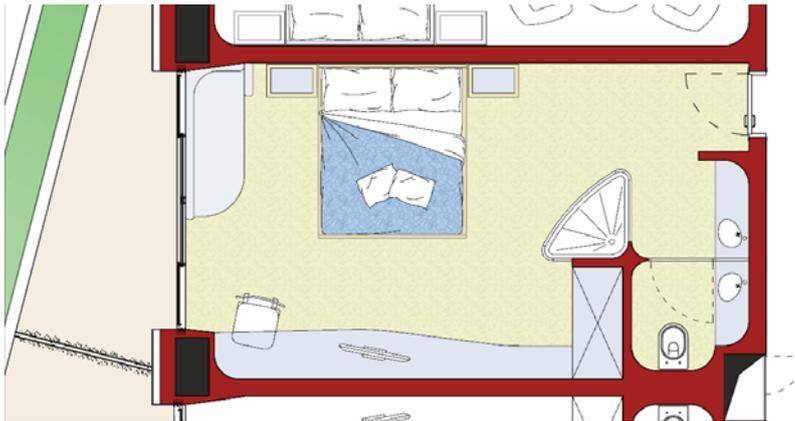




02.77
Pianta piano tipo stanze, fronte Sud.
Si evidenzia il passaggio di collegamento con il giardino pensile.

Per mantenere il massimo dell'illuminazione possibile proveniente dagli affacci esterni, i bagni sono stati posizionati verso l'interno della pianta, accoppiati in maniera tale da poter condividere le canalizzazioni impiantistiche. Queste sono state inserite in allineamento con il muro di separazione tra due ambienti e rivolte verso il corridoio, in maniera tale da essere facilmente accessibili da parte del personale tecnico senza dover accedere alle camere.

Il principio compositivo che ha guidato la progettazione interna delle stanze è stato la creazione di un ambiente unitario tra camera da letto e bagno, in modo che fossero separate visivamente solo in maniera leggera. Il compito di separazione, nel caso base delle camere comfort, è stato assolto dall'elemento doccia, consistente in un 'tubo luminoso' satinato, accessibile solamente dal lato bagno, di forma triangolare arrotondata, che risultasse anche un forte elemento d'arredo per la camera.



02.78
Pianta stanza 'Comfort' tipo.

Nelle Suite e negli appartamenti il medesimo ruolo viene svolto dalla vasca idromassaggio, sempre di forma triangolare arrotondata.

Si è poi scelto di mantenere delle linee morbide anche all'interno delle camere, in coerenza con lo stile complessivo del progetto, arrotondando tutti gli angoli concavi dei tamponamenti e dei tramezzi. Questa scelta, oltre a rispondere ad una questione formale, è il risultato di una riflessione psicologica e sensoriale: l'annullamento degli spigoli, in particolare quelli concavi, dona la sensazione di

uno spazio indefinito, meno opprimente. L'associazione poi di curve concave a spigolo vivi convessi produce un effetto plastico molto caratteristico.

Si ottengo quindi dodici camere per piano, per un totale di 72 sull'intero hotel, offrendo una capacità d'accoglienza di 144 persone.

Tra queste, si dovrà mantenere un minimo di camere attrezzate per l'accoglienza di portatori di handicap, come previsto dal DM 236 del 1989 "Prescrizioni tecniche necessarie a garantire l'accessibilità, l'adattabilità e la visitabilità degli edifici privati e di edilizia residenziale pubblica sovvenzionata e agevolata, ai fini del superamento e dell'eliminazione delle barriere architettoniche", che prevede:

"Ogni struttura ricettiva (alberghi, pensioni, villaggi turistici, campeggi, etc.) deve avere tutte le parti e servizi comuni ed un determinato numero di stanze accessibili anche a persone con ridotta o impedita capacità motoria. Tali stanze devono avere arredi, servizi, percorsi e spazi di manovra che consentano l'uso agevole anche da parte di persone su sedia a ruote.

Qualora le stanze non dispongano dei servizi igienici, deve essere accessibile sullo stesso piano, nelle vicinanze della stanza, almeno un servizio igienico. Il numero di stanze accessibili in ogni struttura ricettiva deve essere di almeno due fino a 40 o frazione di 40, aumentato di altre due ogni 40 stanze o frazione di 40 in più. In tutte le stanze è opportuno prevedere un apparecchio per la segnalazione, sonora e luminosa, di allarme. La ubicazione delle stanze accessibili deve essere preferibilmente nei piani bassi dell'immobile e comunque nelle vicinanze di un "luogo sicuro statico" o di una via di esodo accessibile."

A questo scopo si è perciò progettata una camera ad ogni piano che rispondesse ai requisiti della normativa per disabili, per un totale di sei stanze su 72, quindi superiore di due unità rispetto al minimo imposto, posizionate in prossimità degli accessi al piano, sia degli ascensori del nucleo centrale, sia della scala antincendio del vano Nord-Est, dotata di "luogo sicuro statico".

All'interno di queste stanze sono stati rispettati i minimi funzionali per un uso da parte di persone su sedia a ruote.

02.79
Pianta della stanza per
disabili.



Spazi Comuni

Una volta nota la capacità d'accoglienza dell'hotel, è possibile dimensionare correttamente anche gli spazi comuni.

Al piano terra è situato l'ingresso principale, sul boulevard de Waterloo, da cui si accede tramite una bussola dotata di due aperture a battente ed una centrale girevole ad una hall d'ingresso a doppia altezza, comprendente una piccola lobby ed un'aiuola interna su cui si affaccia il front-desk.

Quest'area è direttamente servita da un bagno, un deposito ed un locale di cassette di sicurezza.

Sulla hall si affacciano poi gli ascensori conducenti ai piani superiori, la scala del vano Nord-Est ed un ascensore vetrato che serve esclusivamente i quattro piani di servizio.

Dietro al front-desk si trovano poi gli uffici dell'accettazione, ovvero quelli frequentabili anche dagli utenti, comprendenti l'ufficio del direttore dell'accettazione, la segreteria e la cassa. Questo spazio risulta servito da due montacarichi di servizio, una scala del vano centrale ed una scala di servizio, collegante i soli spazi di amministrativi.



02.80
Pianta piano terra:
ingresso ed accoglienza.

Al livello superiore si trovano esclusivamente spazi di amministrazione, comprendenti gli uffici del direttore generale, della dirigenza delle camere e delle cucine, la contabilità e l'ufficio prenotazioni da un lato e gli spogliatoi del personale dall'altro. L'ufficio del direttore generale si affaccia, tramite un'ampia vetrata interna, sulla hall d'ingresso.

A questo livello è possibile accedere tramite gli ascensori, le scale antincendio comprese nel nucleo Nord-Est e centrale, i due montacarichi e le scale di servizio, ma non tramite l'ascensore vetrato della hall, che sarà dedicato esclusivamente agli utenti.

02.81
Pianta piano primo:
uffici amministrativi e
spogliatoi per il perso-
nale di servizio.



Al piano terzo si trovano invece le aree di ristoro, ovvero bar e ristorante con le cucine. Il bar occupa tutta l'area nord, dotata di vista panoramica sul boulevard e sul centro della città e svolgerà principalmente la sua attività negli orari compresi tra i pasti.

La sala ristorante invece consiste in un unico spazio occupante l'area Est, suddiviso in aree aperte più piccole, delimitate da pareti leggere.

L'area Sud-Ovest sarà invece dedicata ai locali di servizio del ristorante, quindi cucine, lavaggio stoviglie, deposito temporaneo dell'immondizia e deposito cibi.

A questo piano saranno conservati soltanto i prodotti di consumo a breve termine, mentre i depositi di materiale non deperibile in grande quantità saranno al piano interrato. Allo stesso modo, l'immondizia accumulata dalle cucine sarà

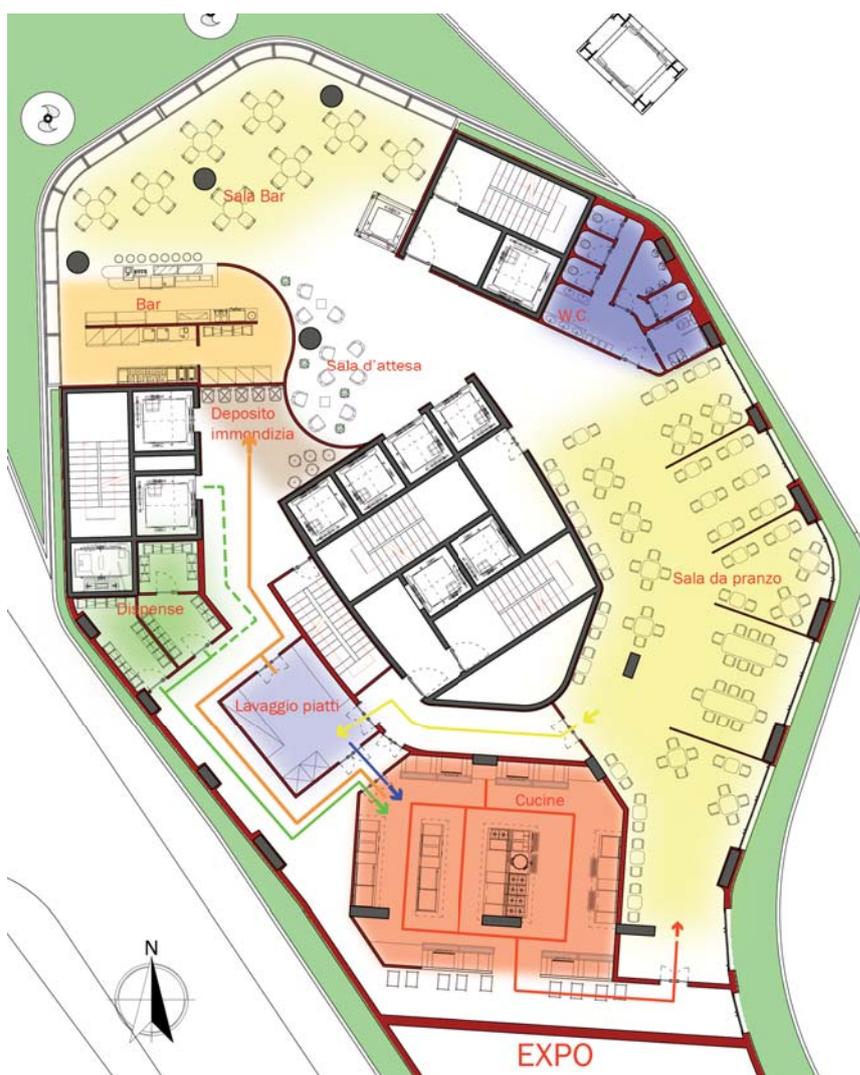
depositata solo momentaneamente nell'area adiacente il montacarichi, per essere poi condotta al piano interrato tramite una canalizzazione, posta tra i due montacarichi, adibita a questo scopo.

Fondamentale per la progettazione di questo piano è stata l'analisi dei flussi determinanti l'attività delle cucine e del servizio al ristorante.

Innanzitutto, si sono dovuti separare il flusso dei camerieri uscenti dalle cucine con i piatti da servire ai tavoli da quello delle stoviglie sporche, rientranti direttamente nel reparto di lavaggio. Il percorso delle stoviglie sporche è stato separato anche da quello delle stoviglie pulite, provenienti dal locale di lavaggio e indirizzate alle cucine ed all'area di preparazione e servizio dei piatti.

Distinti e separati sono inoltre i percorsi del cibo proveniente dalla dispensa e direzionato alle cucine e quello dell'immondizia uscente.

Il percorso del cibo proveniente dai depositi interrati invece si trova a dover incrociare il flusso dell'immondizia nel medesimo spazio, di fronte ai montacarichi del vano Ovest. Questo però non costituisce un problema igienico, in quanto le due operazioni avvengono in momenti ben distinti della giornata: solitamente il cibo viene portato al piano nelle prime ore del mattino, prima dell'inizio delle attività di cucina, mentre i rifiuti verranno asportati durante ed alla fine dell'attività stessa.



02.82
 Pianta piano secondo:
 bar e ristorante.
 In evidenza i percorsi
 riguardanti l'attività
 delle cucine:
 in verde il percorso del
 cibo fresco, in rosso il
 cibo cucinato; in giallo
 il percorso delle stoviglie
 sporche ed in blu
 quello delle stoviglie
 pulite.
 Il percorso arancio ri-
 guarda l'uscita dell'im-
 mondizia, che avverrà
 in tempi distinti ris-
 petto alle altre attività.

All'interno delle cucine si sono distinte le differenti aree in base alle fasi di produzione ed alla tipologia di piatti, in modo da non creare incroci nei flussi di persone dedite a mansioni differenti.

Si è creata quindi un'area di preparazione dei cibi crudi, preliminare all'attività di cucina, vicino all'accesso delle provviste e delle stoviglie pulite, posto trasversalmente rispetto ai vari nuclei di cucina.

Da quest'area i cibi preparati verranno distribuiti ai vari nuclei di preparazione e cottura, posti parallelamente tra loro per evitare eventuali intralci.

Una volta pronte, le vivande verranno passate all'area di preparazione dei piatti, posta trasversalmente all'altro capo dei nuclei di cottura.

Da qui i piatti saranno poi posti sui carrelli nel corridoio di servizio per essere portati in sala dai camerieri.

Questo piano sarà servito, per gli utenti, dagli ascensori del nucleo centrale, le scale antincendio del vano Nord-Est e dall'ascensore vetrato, mentre gli ambienti delle cucine saranno riservati ai montacarichi e la scala di servizio. La scala all'interno del vano centrale sarà utilizzata solamente come via di fuga per entrambi gli ambienti.

Il quarto ed ultimo piano di funzioni è dedicato alle attività di relax e ludiche, quali la lobby nell'area Nord, l'area dedicata al biliardo ed ai giochi da tavolo e infine la palestra con gli spogliatoi e le sale massaggi.

02.83
Pianta piano terzo:
spazi di relax e divertimento.



Nel complesso si ottengono le superfici illustrate in tabella.

	superficie m ²
Hall/lobby piano terra	136
Front-desk+portineria	24
Bagni piano terra	20
Deposito/vestiario	13,5
Cassette sicurezza	8,2
Accettazione/cassa	9
Uffici piano terra	45
Uffici piano secondo	93
ufficio direttore	31
Spogliatoi/bagnipersonale	126
Sala bar	100
Bar	43,3
Deposito temporaneo immondizia	15,7
Dispensa/celle frigorifere	22,1
Lavaggio piatti	21,4
Cucine	90,5
Sala ristorante	200
Bagni ristorante/bar	27,8
Lobby piano terzo	133,6
Sala biliardo/giochi da tavolo	266,65
Palestra	91,5
Sale massaggi	19,15
Spogliatoi	64,8

*Tabella 02.08
Superfici complessive
delle differenti fun-
zioni.*

2.4.7 Gli uffici

La progettazione del blocco uffici è stata determinata da alcune riflessioni preliminari.

La localizzazione di questa funzione nella parte alta della torre è dovuta alla maggior soggezione all'oscillazione dovuta all'effetto del vento: la tolleranza nei confronti di quest'oscillazione è infatti maggiore durante l'attività lavorativa piuttosto che durante il riposo.

La posizione più elevata poi consente un maggior accesso alla luce naturale, grazie ad una minor presenza di ostacoli dovuti al contesto, assolutamente fondamentale nel lavoro d'ufficio.

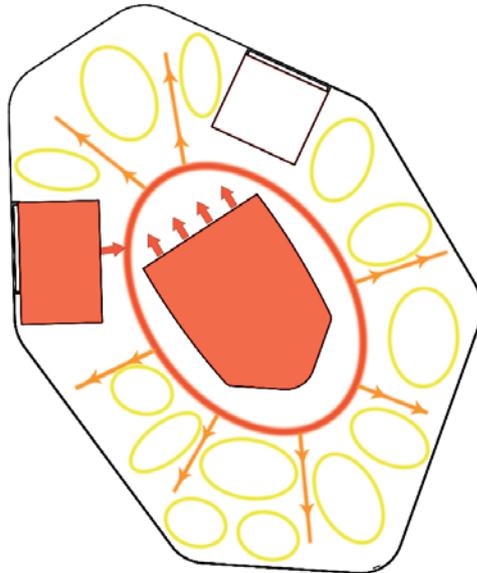
Fondamentale per valutare le tipologie applicabili all'edificio è considerarne la forma. Le varie forme si prestano infatti alle varie funzioni in modi differenti:

“Un edificio a torre con nucleo centrale formato dalle scale, dall'ascensore e da un'eventuale area destinata ad accogliere servizi igienici, che abbia spazio stretto tra esso ed il perimetro, favorisce la suddivisione della pianta in piccole zone distinte con facile collegamento tra di esse e con il connettivo verticale.” (Arie Gotfried, Quaderni del MPE: La progettazione di uffici e banche, HOEPLI, 2007). Trovandosi nella condizione di non avere un utente finale definito, si tratta di progettare spazi generici per uffici senza finalizzarli ad un preciso tipo di attività. La pianta centrale basata su un nucleo centrale ed una struttura a piastra, quindi libera da vincoli geometrici posti dalla struttura, si presta molto bene a questa situazione.

Lo scopo primario risulta quindi quello di creare degli spazi dall'alta flessibilità, adattabili a qualunque tipo di occupazione.

La flessibilità distributiva consiste generalmente nel grado di possibilità di convertire una parte degli spazi aperti in piccoli ambienti chiusi e viceversa, al fine di modificare il livello di privacy. A questo fine, una parete non è l'unico modo per creare una barriera fisica: schermi divisorii posti a diverse altezze secondo le esigenze oppure gli stessi arredi distribuiti opportunamente possono risolvere gran parte dei problemi di separazione, col vantaggio di essere facilmente rimovibili in vista di nuovi schemi futuri. Per questo motivo si sono adottate partizioni attrezzate o leggere, ricche anche di elementi trasparenti, come chiusure degli uffici a cellula, oppure pannelli bassi come divisorii tra le unità di lavoro in caso di open-space.

Per ogni conformazione adottata, la circolazione si basa sugli stessi principi, consistendo sostanzialmente in una distribuzione primaria attorno al nucleo centrale, di larghezza non inferiore a 2m. Da questa si potrà sviluppare una circolazione secondaria, in media di 1,5m di larghezza, tendenzialmente di tipo radiale, per mettere in comunicazione i diversi ambienti non a diretto contatto con la circolazione primaria. All'interno dei diversi ambienti lavorativi si svilupperà poi una circolazione terziaria, di larghezza 0,75m, collegante le varie isole lavorative.



02.84
 Schema di circolazione.
 In rosso la circolazione primaria, in arancio la secondaria ed in giallo la circolazione nelle unità lavorative.

Il blocco uffici potrà essere suddiviso principalmente in due nuclei di tre piani ciascuno, corrispondenti all'altezza dello spazio di *sky-garden* creato sul fronte Sud.

In questa conformazione si sono studiati gli spazi lavorativi, offrendo differenti opzioni di occupazione, ottenendo piante miste.

Al primo livello si trovano situate, nell'area Nord di fronte all'arrivo degli ascensori, gli spazi di comunicazione e contatto con l'esterno di una possibile azienda, ovvero ingresso, ricezione, sala conferenze, segreteria. Nel caso di occupazione dell'intero edificio da parte di un'unica impresa, questo livello sarà occupato anche da altre funzioni, come mensa, servizio medico, servizi sindacali, etc.

Essendo questo ambiente in contatto con lo *sky-garden*, qui sarà localizzata la principale area ristoro, per consentire lo sfruttamento da parte di tutti i dipendenti dell'ambiente filtro, luogo di relax e pausa.

Si è poi proceduto poi anche ad una progettazione di massima degli spazi lavorativi di tipo *open-space* e della possibilità di uffici a cellule.

All'interno del nucleo di distribuzione, nella posizione in cui nel blocco hotel si trovava la scala d'emergenza, sono stati inseriti i servizi igienici, dimensionati sulla base del valore di occupazione di 66 persone per piano, derivante dal progetto antincendio.

Uomini	Wc	Orinatoi
1-15		1
16-20		1
21-45		2
46-75		3
76-100		4
oltre 100	4+1 ogni 30	

Donne	Wc
1-15	1
16-30	2
31-50	3
51-75	4
76-100	5
oltre 100	5+1 ogni 30

Tabella 02.09
 Dotazione di attrezzature nei servizi igienici.
 (fonte: bibliografia [XX])

Si sono quindi inseriti quattro WC nel bagno delle donne e tre WC più tre orinatoi in quello degli uomini. Un bagno per i disabili è stato ricavato nello spazio del vano scala Ovest.

Vedi capitolo TABS

L'adozione di un sistema energetico basato sull'attivazione della massa (TABS), analizzato nel capitolo del progetto tecnologico, impone l'assenza di un controsoffitto per poterne ottimizzare il funzionamento. Perciò si è potuto inserire un controsoffitto solo nell'area corrispondente alla circolazione primaria, contenente le condotte degli impianti. Per garantire l'isolamento acustico aereo, si è adottato, sia negli spazi aperti che negli uffici chiusi, un sistema discreto di controsoffiti curvi, in grado di creare delle isole lavorative che contenessero la diffusione del suono nell'ambiente circostante.

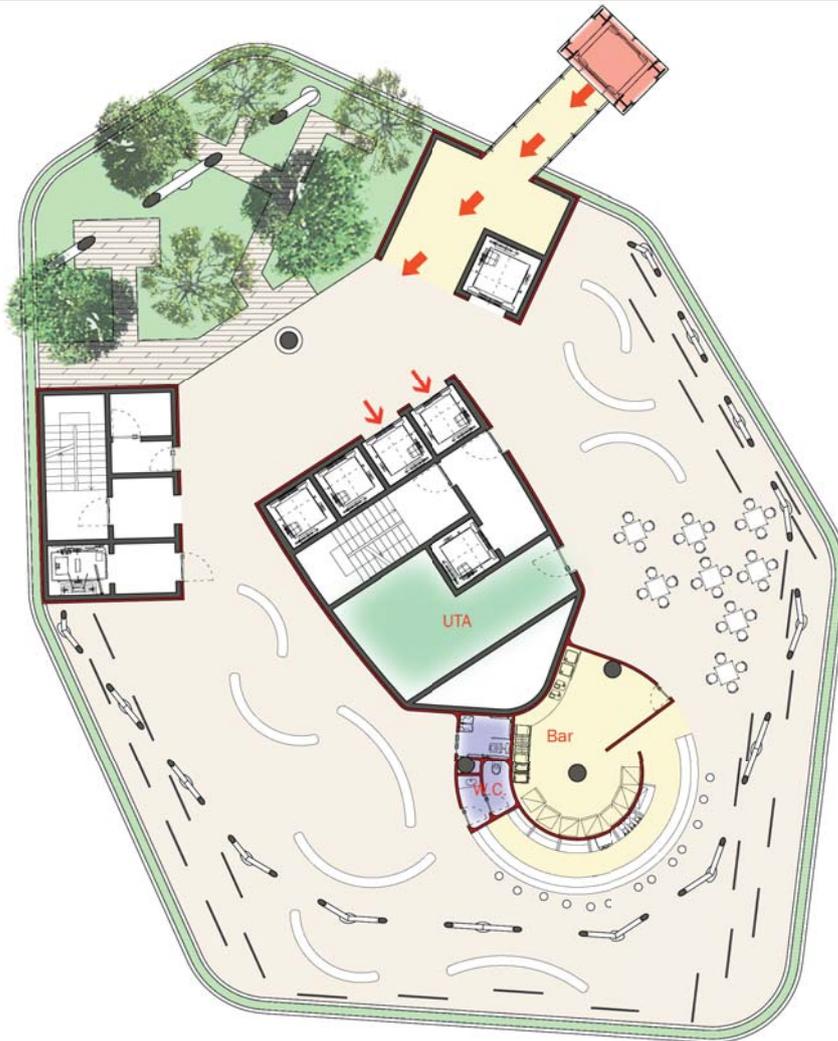
02.85
Pianta del primo e del quarto livello di uffici.
In giallo è evidenziata l'area di circolazione, in rosso ed arancio le differenti tipologie di uffici insediabili.



2.4.8 La Sky-Square

Il livello intermedio tra l'edificio adibito ad hotel e il blocco degli uffici consiste in una piazza aperta, che risulta ancora un ambiente esterno ai due edifici, appartenendo ancora all'ambiente urbano. Risulta infatti raggiungibile tramite un ascensore esterno vetrato, utilizzabile dal pubblico come proseguimento del boulevard in direzione verticale.

Giunti al livello della piazza, l'uscita dall'ascensore condurrà, tramite una passerella chiusa vetrata, attraverso il nucleo di servizio Nord-Est, alla parte Nord della piazza, di fronte all'ingresso degli ascensori che porteranno poi ai piani degli uffici.



02.86
Pianta del piano della
piazza.

Tutta l'area Nord risulta occupata da un giardino pensile, ricco di cespugli ed arbusti ad alto fusto ed un percorso geometrico affiancato da delle panchine. Sarà questa l'area di relax dotata di panorama sul centro storico della città.

Il fronte Sud sarà invece occupato da un bar di forma circolare, mentre il resto dello spazio sarà dedicato ad un ambiente aperto, come piazza vera e propria, arricchito con delle panchine.

02.87

Vista fotorealistica del bar della Sky-square. Si notino i pannelli vetrati frangivento e la struttura inclinata.



Il perimetro della piazza sarà delineato, oltre che dalla fioriera caratteristica in tutto il volume sottostante, dai pilastri inclinati di collegamento tra la struttura superiore e quella dell'hotel.

Sono stati poi inseriti dei pannelli di vetro dell'altezza di 2,5m su tutto il contorno dell'ambiente, con la funzione di elementi frangivento trasparente, in grado di consentire la vista panoramica e non compromettere la sensazione di apertura della piazza stessa. I pannelli saranno disposti in maniera discreta, garantendo la sovrapposizione necessaria per bloccare il flusso del vento e permettendo il passaggio delle persone verso l'esterno dell'area da essi circoscritta, avvicinandosi al parapetto formato dalle fioriere per godere meglio del panorama.

2.4.9 Dimensionamento elementi distributivi verticali

Negli edifici alti i collegamenti verticali sono affidati in maniera prevalente all'impianto degli ascensori.

Le necessità di collegamento sono:

- connessione PT - P2- P3 (piani ristorante e relax) per i soli clienti dell'hotel:

- connessione PT - P9 (e tutti i piani intermedi)

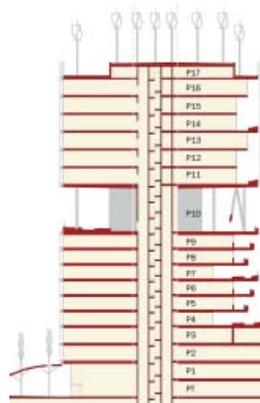
per i clienti dell'hotel:

- connessione P -2 - P9 (e piani intermedi) per merci hotel e servizio;

- connessione P -2 - P3 (e piani intermedi) per attrezzatura hotel;

- connessione PT - P10 (senza fermate intermedie) per connessione alla *sky-square* e quindi all'accesso degli uffici;

- connessione P-3 - P17 (con fermate intermedie da P10 a P17) per collegamento dei parcheggi



02.88
Sezione indicante numero di piani

con gli uffici;

- connessione P10 - P17 (con fermate intermedie) per circolazione interna degli uffici;

-connessione P-2 -P17 (con fermate intermedie da P10 a P17) per le attrezzature e personale di servizio negli uffici.

Inoltre nel capitolo "Il progetto antincendio" verranno analizzate le esigenze relative ad ascensori di servizio esclusivo in caso di incendio.

Per un primo dimensionamento del numero di ascensori verranno utilizzati due metodi:

- Il metodo presente nella norma UNI 8999

- Il software presente sul sito della KONE

I risultati verranno poi meglio adattati alla situazione reale del progetto (in quanto ambedue i metodi applicano delle semplificazioni).

Hotel

Per una prima valutazione dell'impianto da installare devono essere considerati i seguenti dati:

Funzione	Albergo Business
Numero di piani	10 + 1 interrato
Distanza media tra i piani	3,80 m
Piano principale di entrata	PT
Corsa dell'ascensore	35
Area dei vari piani	900 mq
Affollamento piano stanze	22 persone

Tabella 02.10
Dati relativi all'hotel per dimensionamento ascensori

La scelta dell'impianto di ascensori, e di conseguenza il dimensionamento del vano di corsa, deve essere eseguita in base al traffico presunto nell'edificio secondo la popolazione presunta, purché siano considerate le esigenze di trasporto dei disabili e le eventuali altre specifiche necessità dell'edificio.

Le dimensioni, la capacità minima di cabina e le dimensioni minime degli accessi necessari a garantire l'accessibilità da parte di persone comprese i disabili, come definiti dalla UNI EN 81-70:2004, sono rispettivamente:

- larghezza (A) 1100 mm
- profondità (B) 1400 mm
- apertura libera degli accessi (E): 900 mm
- capacità: 8 persone

Tenendo conto quindi dei minimi dettati dalla possibilità di essere accessibili anche dai portatori di handicap, si è proceduto scegliendo alcuni valori che rappresentano i valori di entrata nella tabella riportata nella UNI 8999.

Durata del percorso :

I valori raccomandati sono i seguenti:

- 20 s max. per edifici con esigenze impegnative;
- 25 s max. per edifici con esigenze medie;
- 32 s max. per edifici con esigenze limitate.

Percentuale della popolazione trasportata in 5 minuti

I valori raccomandati sono:

- dal 10% al 14% per edifici con traffico leggero, cioè senza intense punte in salita, quali:

- palazzi per uffici diversi di media grandezza,
- palazzi per uffici di modeste dimensioni occupati da un'unica società, ma con orario di lavoro flessibile,
- alberghi,
- ospedali e cliniche;

- dal 14% al 18% per edifici con traffico medio o medio-intenso quali:

- uffici occupati da una singola società aventi lo stesso orario di lavoro per tutti gli impiegati,
- ospedali dove gli ascensori adibiti al pubblico, durante le ore di visita ai malati, sono sottoposti ad un traffico intenso,
- alberghi con esigenze più impegnative o per il traffico o per la categoria dell'albergo;

- dal 16% al 25% per edifici aventi una elevata popolazione tale da creare intense punte di traffico in salita quali:

- uffici multipiano occupati da una singola società aventi lo stesso orario di lavoro per tutti,
- ospedali generali di notevoli dimensioni con orario di visite ristretto,
- grandi alberghi con centinaia di camere per gli ospiti e sale per banchetti, convegni, ristoranti, ecc.

Intervallo

I valori raccomandati sono:

- 25 s max per traffico intenso, quale in edifici di notevole altezza adibiti ad uffici di una stessa società;
- 32 s max per traffico medio, quale in edifici per uffici di medie dimensioni, in particolare se adibiti a uffici diversi, oppure in alberghi di prima categoria o in ospedali;
- 40 s max per traffico leggero in uffici normali, alberghi e cliniche.

Le semplificazioni applicate sono:

- non si tiene conto dei piani interrati;
- il piano P1 è unicamente ad uso uffici per l'albergo quindi non è raggiungibile tramite l'ascensore dei clienti;
- Il piano P2 è raggiungibile anche attraverso l'ascensore panoramico interno.

Tramite la tabella presente nella norma UNI si dovranno avere almeno: 3 ascensori da 630 kg (con una popolazione edificio uguale a 420).

Come si vede dal risultato (su prospetto 1 in fondo al capitolo) la popolazione di cui si tiene conto è molto superiore rispetto a quella reale e inoltre non c'è modo di combinare un traffico intenso con una velocità media.

Di seguito il risultato ottenuto tramite il software della KONE Quick Traffic:

The screenshot shows the KONE Quick Traffic software interface. It includes a header with the KONE logo and navigation links. The main area is divided into several sections:

- Destination Control:** A blue bar at the top with the text "Enter your planning information to get your required elevator solution".
- Metric | Imperial:** A toggle switch.
- Building information:**
 - Use of passenger elevator: Type (Hotel), Usage (Business).
 - Zone information: Number of Stops (9), Travel for the zone (m) (35), Population in the zone (130).
 - Applied parameters: Edit (checked), Default (button). Parameters include Up peak handling capacity (1.4), Acceleration rate (1.2), Time To Destination (1.00), and Travel time (32).
- System parameters:**
 - Acceleration: Normal.
 - Speed (m/s): Estimated (1.1), Actual (1.6).
 - Select number of elevators: A table showing options for 3 to 8 elevators.
 - Elevator size (persons): 13.
- Actual results:**
 - Maximum Handling Capacity (%): 79.9
 - Average Transit Time (s) at 14% SHC: 44.0
 - Average Waiting Time (s) at 14% SHC: 13.1
 - Average Time to Destination (s) at 14% SHC: 57.1

Vedi immagine fine capitolo

02.89 Dimensionamento tramite software KONE Quick Traffic per l'albergo

Dove:

Maximum Handling Capacity (%) = indica la capacità del sistema di spostare la quantità richiesta di passeggeri ed è la percentuale di popolazione che può trasportare in 5 minuti con l'utilizzo dell'80% della capacità dell'ascensore.

Alla luce dei risultati ottenuti e in seguito ad alcuni ragionamenti puramente teorici si è scelto la seguente combinazione per la parte dell'edificio adibita ad albergo:

- 2 ascensori (da PT a P9) 1600 x 1400 m (13 persone);
- 1 ascensore panoramico (da PT a P2) 1600 x 2100 m (21 persone).

Uffici

Per una prima valutazione dell'impianto da installare devono essere considerati i seguenti dati:

*Tabella 02.11
Dati relativi agli uffici
per dimensionamento
ascensori*

Funzione	Uffici multiproprietario
Numero di piani	8 + 1 interrato
Distanza media tra i piani	3,30 m
Piano principale di entrata	P10
Corsa dell'ascensore	35
Area dei vari piani	900 mq
Affollamento piano uffici	66 persone (circa)

La popolazione non è nota e deve essere stimata con la migliore approssimazione possibile. Si è scelto di utilizzare lo stesso valore utilizzato come valore di affollamento per il dimensionamento dell'antincendio.

La presenza di parcheggi per autovetture sistemati nei sotterranei degli edifici per uffici può creare interferenze con il movimento degli impiegati, in particolare durante le punte di traffico più intense, per cui è raccomandabile che tali parcheggi siano serviti da ascensori separati da quelli destinati al traffico normale dell'edificio.

Il trasporto verticale in un edificio presenta i seguenti periodi critici di traffico:

- punta di salita (traffico in entrata);
- punta in discesa (traffico in uscita);
- traffico interpiano (circa lo stesso numero di passeggeri e di chiamate ai piani per entrambi i sensi di marcia, senza prevalenza di traffico in una determinata direzione).

Tenendo conto quindi dei minimi dettati dalla possibilità di essere accessibili anche da portatori di handicap si è proceduto scegliendo alcuni valori che rappresentano i valori di entrata nella tabella riportata nella UNI 8999.

Durata del percorso

- 25 s max. per edifici con esigenze medie;

Percentuale di popolazione trasportata in 5 min:

- dal 14% al 18% per edifici con traffico medio o medio-intenso quali:
 - uffici occupati da una singola società aventi lo stesso orario di lavoro per tutti gli impiegati,

Intervallo

- 32 s max per traffico medio, quale in edifici per uffici di medie dimensioni, in particolare se adibiti a uffici diversi, oppure in alberghi di prima categoria o in ospedali;

Calcolando 66 persone ogni piano per l'intera parte adibita ad uffici si avranno

al massimo 400 persone quindi il valore di calcolo è 55 fruitori.

Quello che verrà effettuato è un primo dimensionamento che consenta di evitare errori grossolani: molto più realistico sarebbe affidarsi a specialisti.

Entrando nel prospetto 1 tramite le ipotesi sopra descritti si ha che il numero minimo di ascensori per 7 piani di uffici (dal piano 10 al piano 17) sia pari a 3 ascensori da 630 kg.

Naturalmente sono molti i fattori che possono influenzare Il traffico verticale e di cui non si è tenuto conto in questo dimensionamento:

- piu enti che occupano diversi piani o porzioni di piano
- società che occupano due o più piani dell'edificio (con conseguente traffico interpiano)

Di seguito il risultato ottenuto tramite il software della KONE:

The screenshot shows the KONE Quick Traffic software interface. It is divided into several sections:

- Building information:**
 - Use of passenger elevator: Type (Office), Usage (Multiple tenant, Flexible working hours)
 - Zone information: Number of Stops (7), Travel for the zone (m) (35), Population in the zone (400)
 - Applied parameters: Edit (checked), Default (button), Up peak handling capacity (% of population/5 minutes) (14), Acceleration rate (m/s²) (1), Interval (s) (32), Travel time (s) (25)
- System parameters:**
 - Acceleration: Hard
 - Speed (m/s): Estimated (1.4), Actual (1.6)
 - Elevator size (persons): Estimated (7.47), Actual (13)
- Required number of elevators:**

Required by interval	2.87
Required by handling capacity	1.99
Actually required	3

Vedi immagine fine capitolo

02.90
Dimensionamento tramite software KONE Quick Traffic per l'albergo

Questi dimensionamenti sono stati effettuati applicando due semplificazioni:

- Ignorando che l'ascensore deve servire anche il piano impiantistico in copertura.
- Che il piano 10 è raggiungibile non unicamente con l'ascensore esterno, ma anche tramite 2 ascensori che collegano i parcheggi agli uffici al piano piazza.

Quindi si è scelto la seguente combinazione per l'edificio ad uffici:

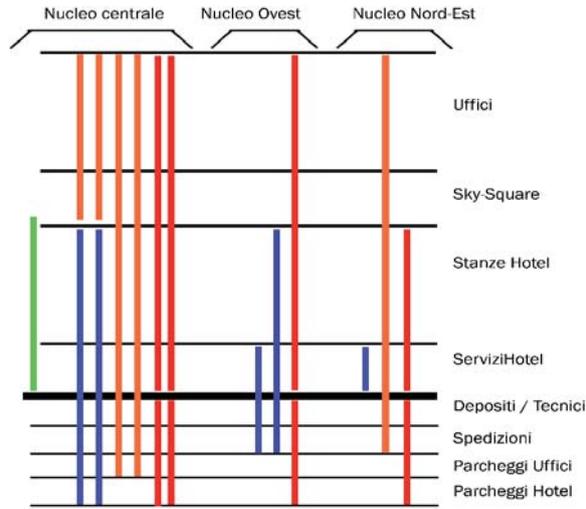
- 2 ascensori (da P10 a P17) 1600 x 1400 m (13 persone)
- 2 ascensori (da P-2 a P17) 1600 x 1400 m (13 persone)

Si sono poi inseriti dei montacarichi in funzione delle necessità delle due funzioni:

- 1 montacarichi per servizi alle camere e servizio pulizie;
- 1 montacarichi per il trasporto dei materiali all'interno dei piani di servizio dell'hotel;
- 1 montacarichi per il trasporto di materiali ed attrezzature per gli uffici.

Si ottiene quindi il seguente schema di distribuzione tramite ascensori:

02.91
Indicazione percorso ascensori



Riassumendo, le scelte fatte sono:

n°	Tipo	n piani	Corsa	Persone medie a piano	Dim.	Persone Max/peso	Modello tipo	v
1	Ascensore vigili del fuoco	8	71	/	1100 x 2100	13 / 1000	-	2 m/s
1	Ascensore antincendi o hotel	10	35	20	1600 x 1400	13 / 1000	Mono Space®	1,6 m/s
1	Ascensore antincendi o uffici	8	68	66	1600 x 1400	13 / 1000	Mono Space® Special	1,6 m/s
1	Montacarichi Uffici	9	75	/	1300 x 1750	13 / 1000	TranSysT M	1 m/s
1	Montacarichi Hotel	11	38	/	1300 x 1750	13 / 1000	TranSysT M	1 m/s
1	Montacarichi Cucine	4	14	/	1300 x 1750	13 / 1000	TranSysT M	1 m/s
2	Ascensori Parcheggio Hotel	12	45	20	1600 x 1400	13 / 1000	MonoSpace® Duplex	1 m/s
2	Ascensori Parcheggio Uffici	9	75	66	1600 x 1400	13 / 1000	MonoSpace® Special Duplex	1,6 m/s
2	Ascensori Piazza Uffici	7	35	66	1600 x 1400	13 / 1000	MonoSpace® Duplex	1,6 m/s
1	Ascensore Esterno	2	38	/	1600 x 2100	21 / 1600	-	2 m/s
1	Ascensore panoramico interno	2	11	130	1600 x 2100	21 / 1600	-	1 m/s

Tabella 02.12
Riassunto delle scelte effettuate

Grazie alla consulenza dell'Ing Cavagnoli della Kone si sono scelti alcuni prodotti con le relative caratteristiche unicamente a titolo d'esempio.

Prospetto 1-

Velocità	0,63 m/s			1,00 m/s			1,60 m/s			2,00 m/s			2,50 m/s				
Traffico	Leggero			Leggero			Medio			Intenso			Intenso				
Capacità di trasporto	12,5%			12,5%			16%			25%			25%				
Intervallo	40 s			40 s			32 s			25 s			25 s				
Portata ascensori kg	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone		
630	2	4	410	2	4	470	2	5	380	3	8	440	4	12	480		
		5	520		5	400		6	520		8	440		10	400		
		6	460		6	540		7	490		8	440		11	500		
		7	410		7	490		9	420		10	400		11	500		
	3	4	580	2	4	430	3	5	670	4	9	390	5	13	410		
			480		5	560		6	600		7	440		12	420		
			420		6	460		7	550		8	410		13	460		
		4	5	500	3	7	440	4	9	640	5	10	370	6	14	400	
				410		8	510		10	370		11	440		15	490	
			5	6	510	4	9	510	5	11	560	6	12	420	7	16	380
					480		10	480		12	560		13	530		14	400
					450		11	450		13	530		14	400		15	490

¹⁾ Compreso piano partenza, esclusi eventuali sotterranei

02.92
Prospetto 1 e 2 UNI
8999

Prospetto 2 -

Velocità	0,63 m/s			1,00 m/s			1,60 m/s			2,00 m/s			2,50 m/s				
Traffico	Leggero			Leggero			Medio			Intenso			Intenso				
Capacità di trasporto	12,5%			12,5%			16%			25%			25%				
Intervallo	40 s			40 s			32 s			25 s			25 s				
Portata ascensori kg	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone	N° ascensori	N° fermate ¹⁾	popolazione edificio persone		
1000	3	4	660	2	4	840	3	5	730	4	5	570	4	5	630		
		5	720		5	810		6	660		6	520		6	570		
		6	620		6	720		7	790		7	470		7	520		
		7	740		7	650		8	730		8	540		8	600		
	4	4	800	4	8	800	5	9	660	5	9	520	6	9	570		
			740		9	740		10	490		10	540		10	540		
			690		10	690		11	460		11	460		11	510		
		5	5	650	5	11	650	6	12	730	6	12	530	7	12	590	
				650		12	730		13	510		13	570		13	570	
				650		13	700		14	490		14	490		14	550	
			6	6	520	6	14	520	7	15	480	7	15	480	8	15	540
					470		16	470		16	470		16	520		16	520

¹⁾ Compreso piano partenza, esclusi eventuali sotterranei

ALLEGATI

- Il Progetto Architettonico -













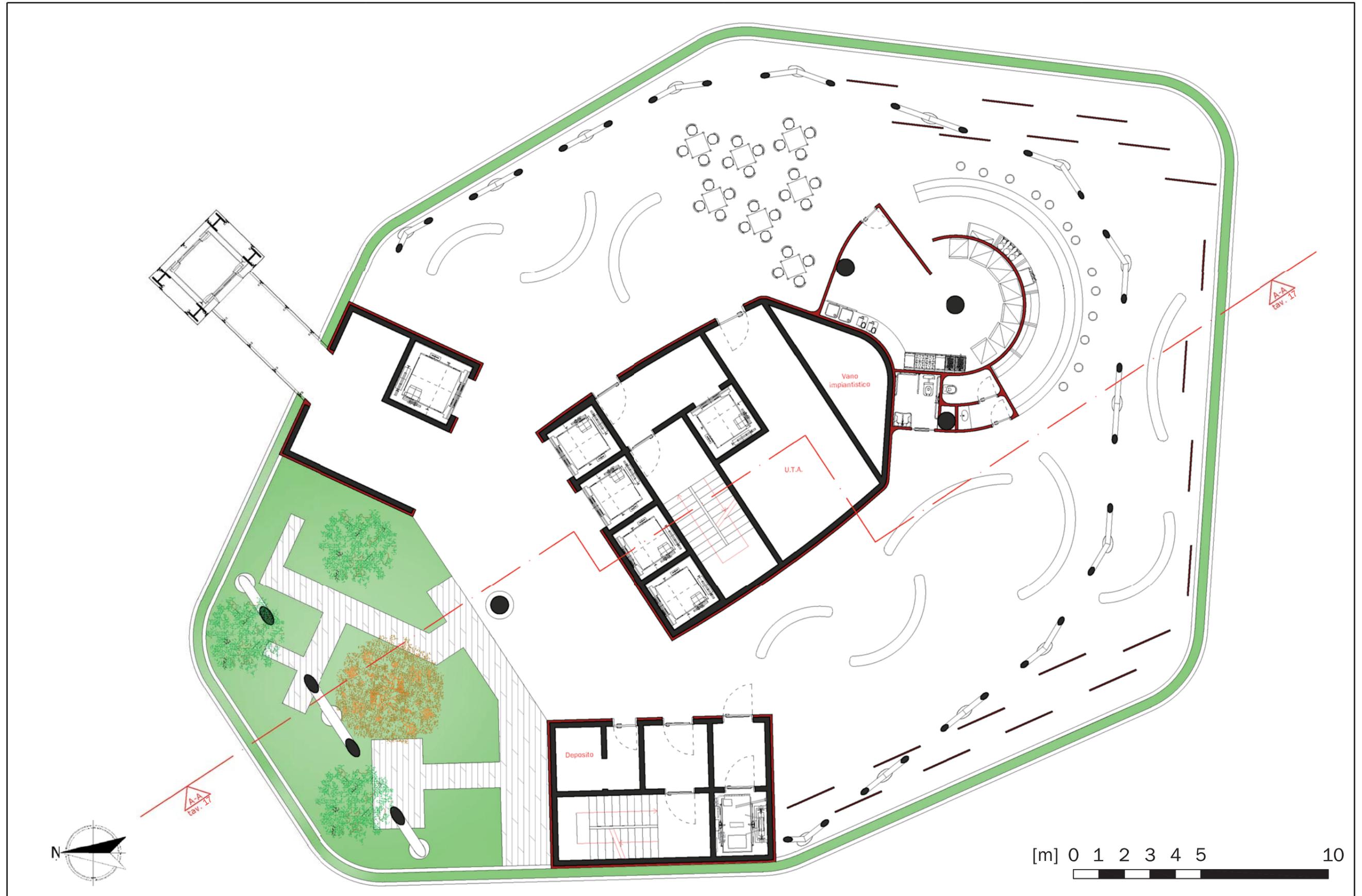








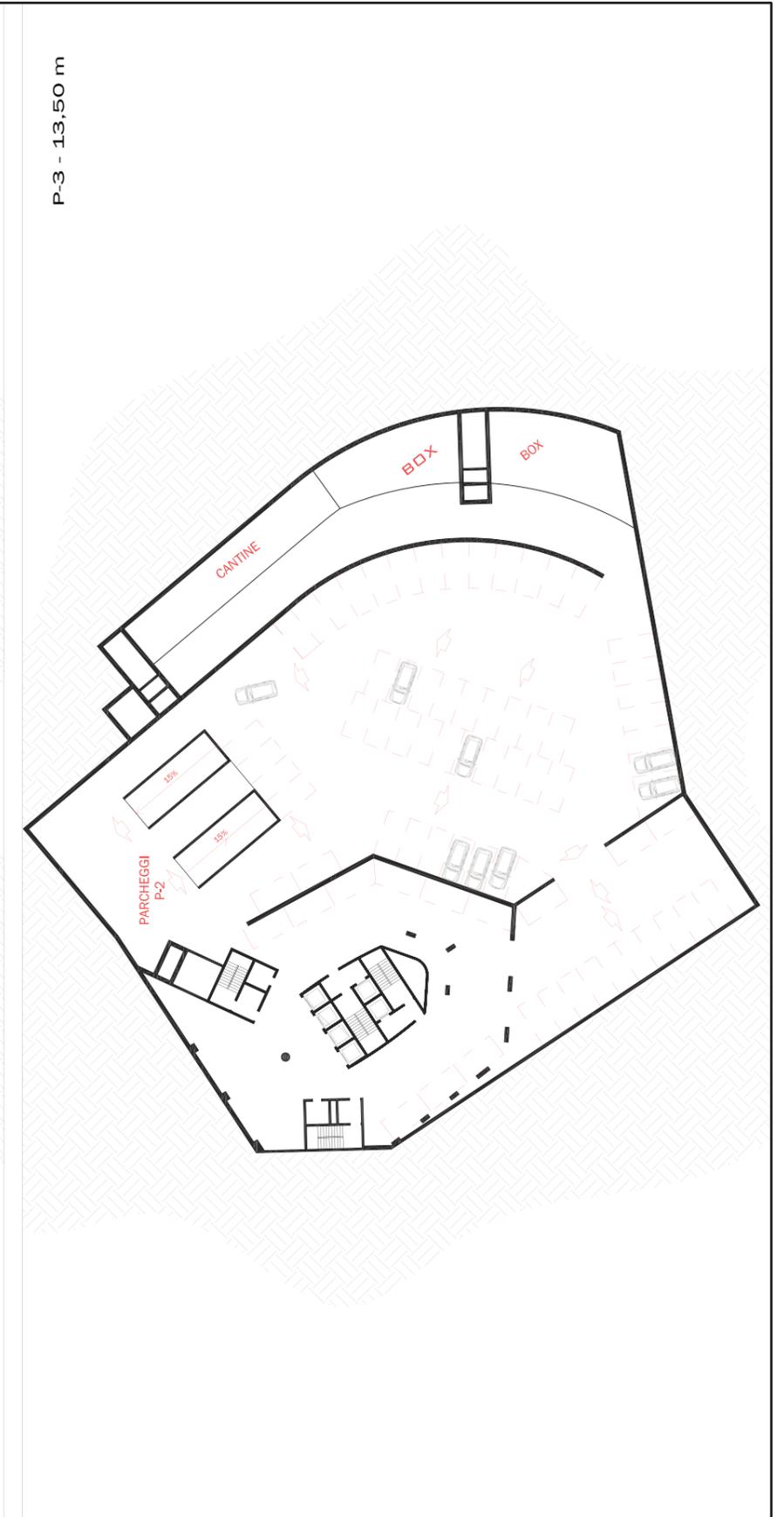
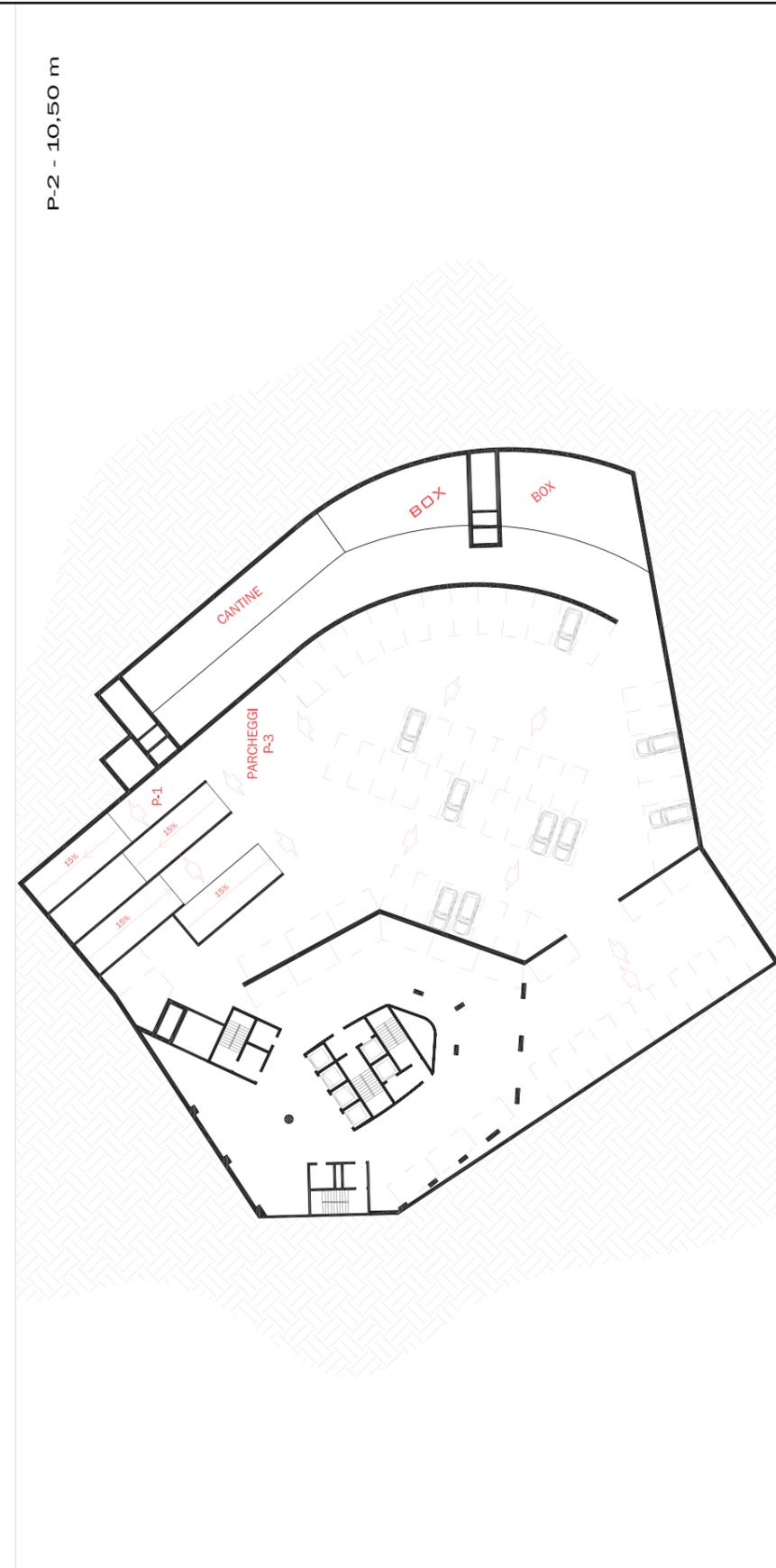
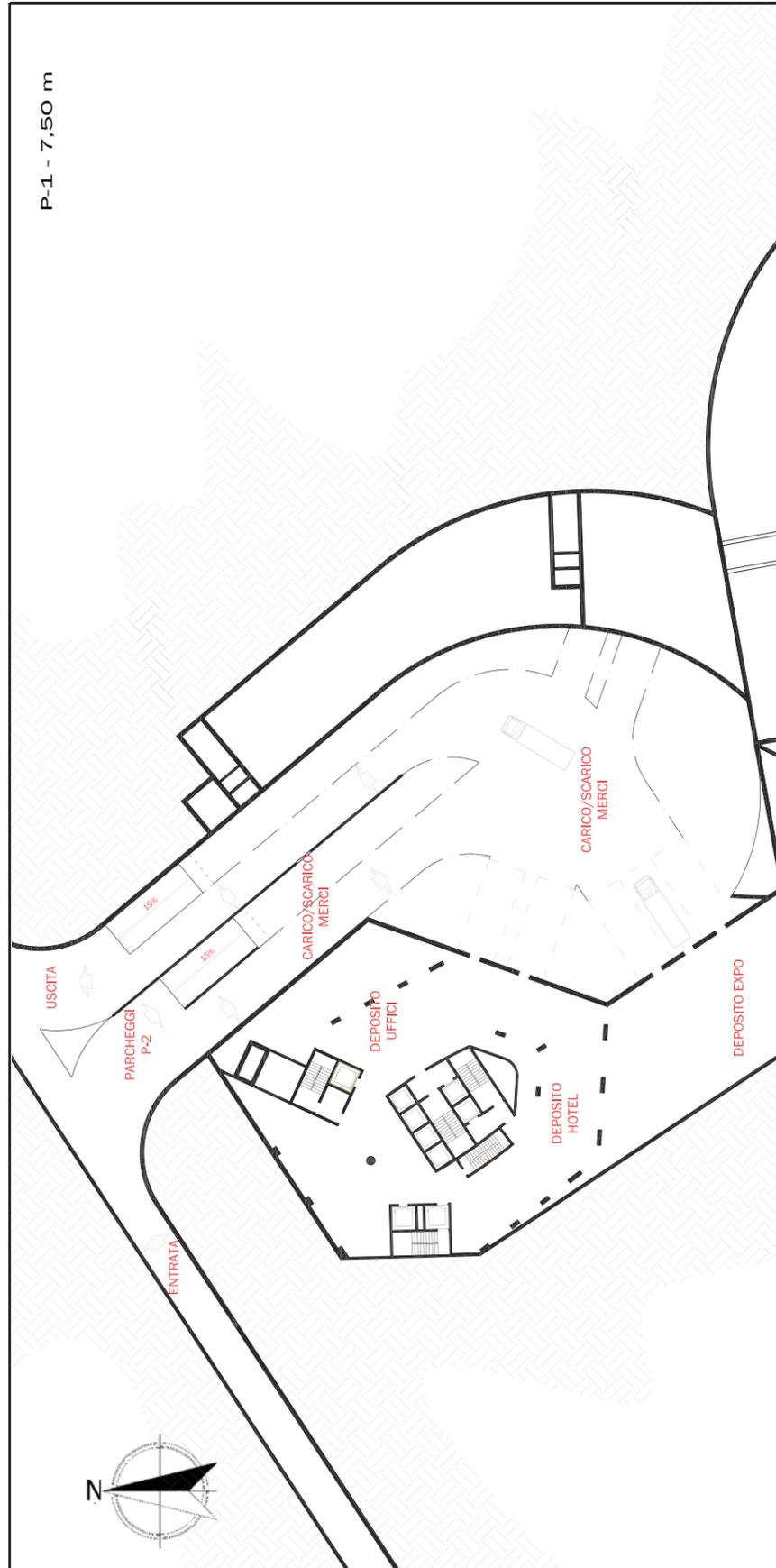


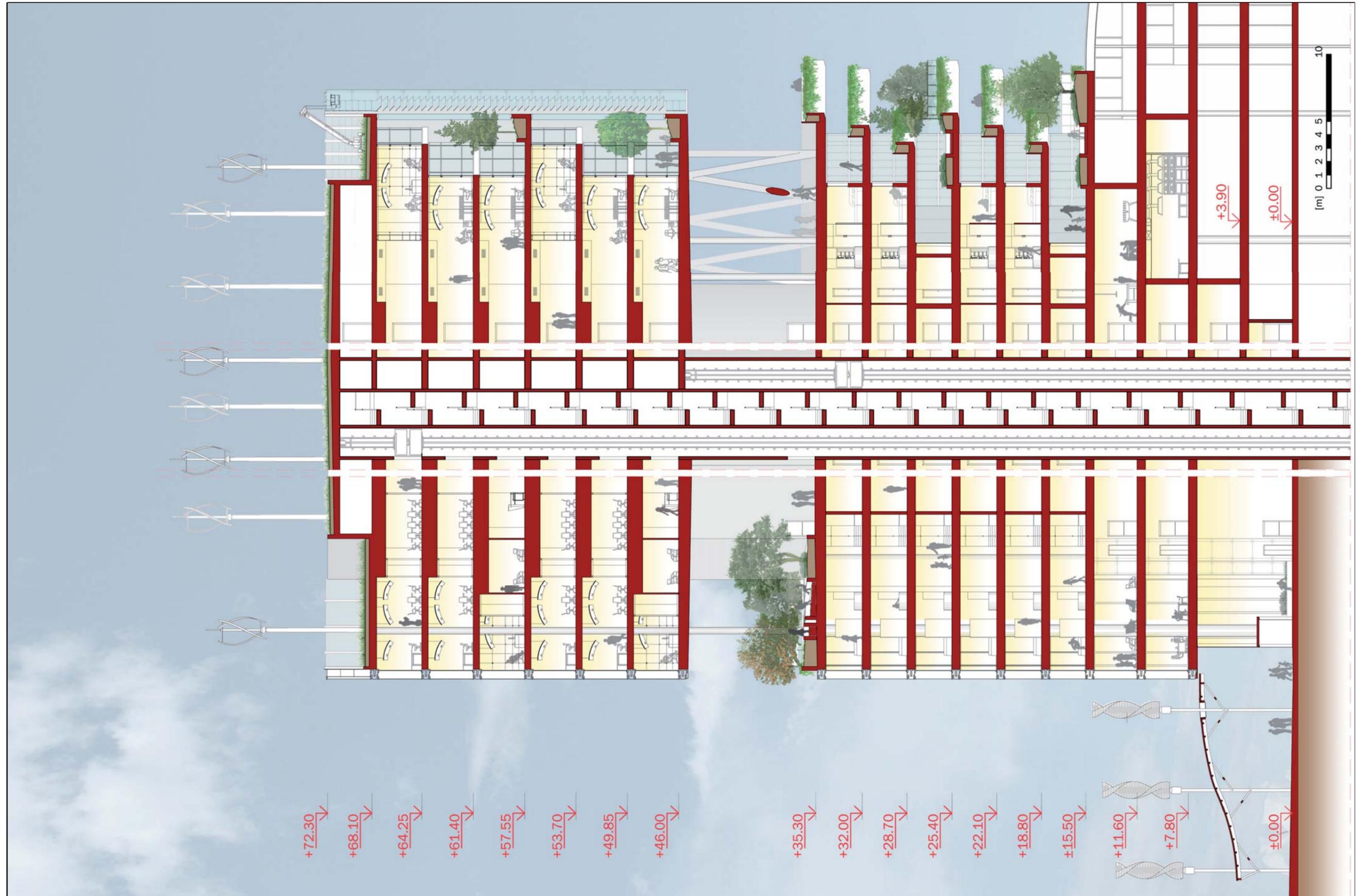








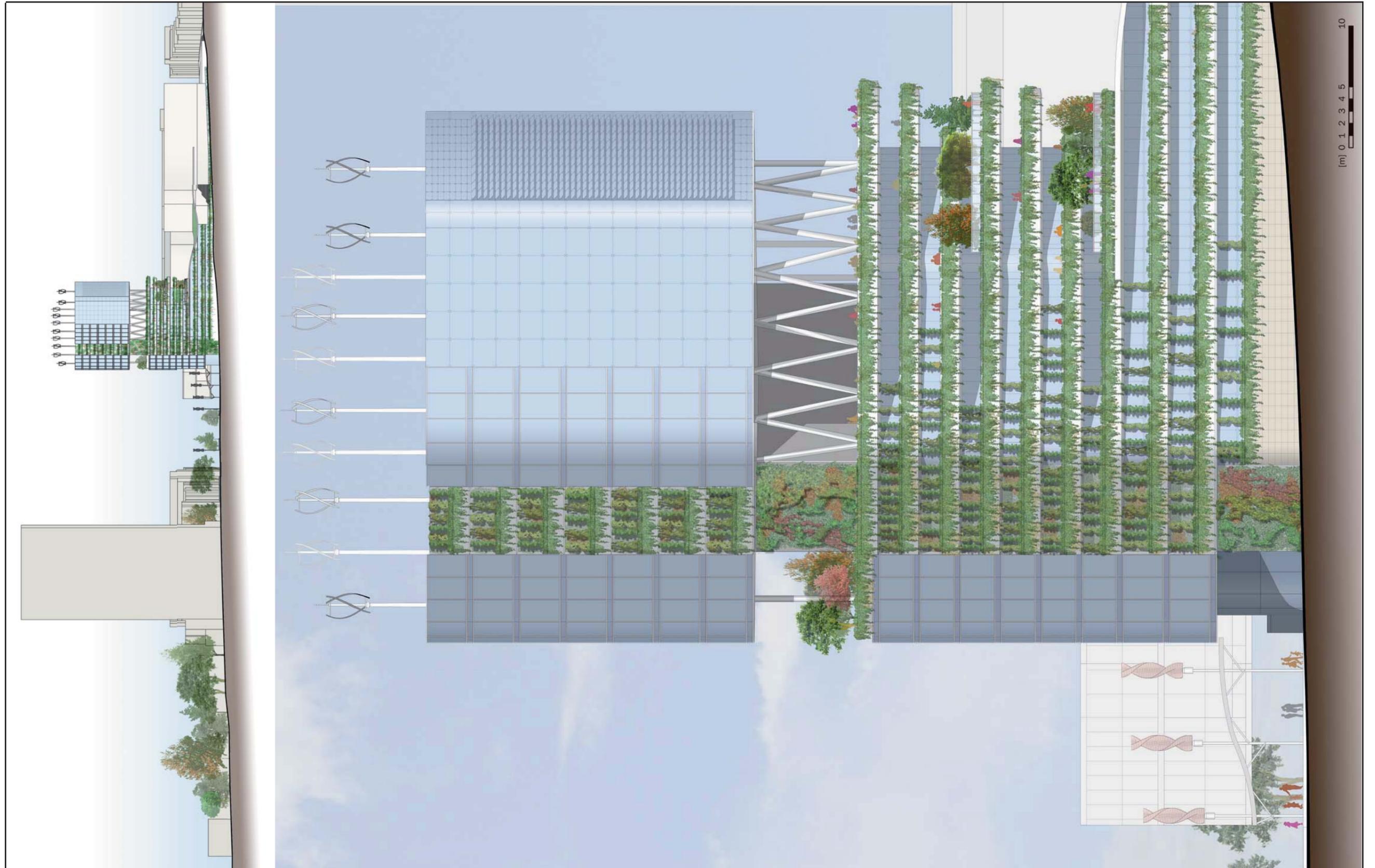




Sezione A-A

SCALA 1:250

TAV. 17



CAPITOLO 03

- Il Progetto Del Verde -

3.1 Premessa

Più un paesaggio urbano è frammentato e densamente mineralizzato (a causa di costruzioni, superfici di circolazione ed infrastrutture), meno la sua configurazione è propizia all'installazione e allo sviluppo della biodiversità.

Si vede quindi la necessità, su ogni superficie costruita, di equilibrare il rapporto tra superficie minerale e superficie verde, al fine di rafforzare al massimo la produzione biologica, conservando con massimo rispetto e precauzione i biotipi esistenti e inducendo una nuova colonizzazione.

In caso di costruzioni dense vi è modo di compensare l'assenza o la distruzione di ecosistemi sull'area creando dei nuovi ambienti propizi allo sviluppo della biodiversità.

Esistono numerose soluzioni ecologiche che accumulano dei vantaggi per l'ambiente: creare giardini, rendere permeabili le superfici dure, rendere i muri e le coperture vegetali, creare giardini pensili, creando degli habitat supplementari per la flora e la fauna. La massimizzazione della produttività ecologica può essere raggiunta utilizzando ogni metro quadro di spazio disponibile al suolo, sui muri, sui balconi, sulle coperture e sulle scale.

Una città densa, dove le costruzioni dominano in spazi ridotti, generalmente mineralizzati e sottomessi a una pressione umana intensa, rende più difficile le condizioni di vita vegetale e animale e implica un ricorso maggiore a soluzioni particolari, quali tetti e facciate verdi.

La piantumazione di vegetali di diverse specie non può che aumentare lo sviluppo animale, partendo dalla microfauna finendo ai piccoli mammiferi, passando per gli uccelli, offrendo una grande gamma di biotipi e favorendo la formazione di corridoi ecologici all'interno della città.

In quest'ottica andranno privilegiati alberi e arbusti autoctoni, coperture con piante erbacee e rampicanti piuttosto che erbe regolari e siepi tagliate, dall'interesse ecologico ridotto.

Una gestione differenziata, basata su una scelta di specie vegetali indigene, diserbanti senza pesticidi, erba e graminacee a crescita libera, permette di procurare alla fauna selvaggia dei luoghi d'accoglienza e del nutrimento, favorendo l'armonia dei cicli naturali.

I vegetali, in particolare quelli la cui massa e superficie di fogliame sono maggiori, costituiscono, grazie alla fotosintesi, un potenziale importante di captazione della CO₂ e di emissione di ossigeno nell'atmosfera urbana, il tutto trattenendo una parte di particelle in sospensione nell'aria, tra cui molti elementi inquinanti presenti nell'aria cittadina, quali i metalli pesanti.

Una grande parte delle precipitazioni, anziché cadere su superfici impermeabili e venir canalizzata verso gronde e scoli, viene trattenuta dalla vegetazione fornendole nutrimento e in seguito penetra nel suolo, dove viene depurata prima di tornare nell'atmosfera per evaporazione o verso le falde sotterranee per drenaggio.

Come in tutti i giardini e spazi verdi, la presenza di flora e fauna costituisce indubbiamente un apporto benefico alla salute morale e al comportamento sociale dei cittadini, fornendo anche delle opportunità di sensibilizzare ed educare la popolazione alla natura nella città.

Ogni introduzione di natura in città, per quanto modesta, permette di aumen-

tare il potenziale di abbellimento della composizione costruita e rendere lo spazio pubblico più favorevole al divertimento ed al riposo, come anche alla circolazione lenta.

3.2 Le coperture verdi

I tetti vegetalizzati possono offrire un'ottima risposta a due dei fattori chiave dei cambiamenti climatici: le inondazioni dovute ai violenti nubifragi e l'aumento delle temperature in ambiente urbano, cui l'inquinamento atmosferico va di pari passo. I vantaggi di questo tipo di coperture possono essere suddivisi in tre categorie: ornamentale/estetico, ambientale ed economico.

3.2.1 I vantaggi ambientali

Salvaguardia della biodiversità

Il fatto che un tetto verde offra un habitat a differenti forme di vita, costituisce indubbiamente uno tra i fattori più importanti a loro favore, rispondendo pienamente ad uno degli obiettivi posti sin dall'origine del progetto architettonico in questione, ovvero la restituzione, seppur parziale, alla natura della superficie occupata.

Cosa sono infatti i tetti convenzionali se non una distesa arida e sterile?

I tetti vegetali, in particolare quelli estensivi, non accessibili all'uomo, possono rappresentare un habitat eccellente per conservare piante, uccelli ed insetti.

Per un buon funzionamento di una copertura in questo senso, è necessario seguire innanzitutto tre principi fondamentali:

- utilizzare solamente suoli e substrati locali (ad esempio prelevando e conservando la superficie dell'area di costruzione prima dello scavo);
- installare un mix di piante autoctone, oppure lasciar sorgere una vegetazione spontanea;
- progettare un tetto avente uno spessore del substrato variabile, per favorire il massimo della biodiversità.

La gestione delle acque pluviali

La maggior parte delle acque che cadono su una superficie naturale viene assorbita dal suolo e raggiunge la falda acquifera, mentre una parte viene assorbita dalle piante e restituita all'atmosfera per traspirazione.

Questo non accade nel caso di superfici costruite, dove l'acqua non può essere assorbita e quindi cola attraverso i sistemi d'evacuazione per giungere direttamente nei corsi d'acqua. L'obiettivo di questi sistemi è quello di asportare il massimo d'acqua nel minimo tempo possibile.

In questo modo si ottengono dei risultati disastrosi: con l'immissione di sostanze inquinanti, si intacca la qualità delle acque del fiume. Si causa poi un sovraccarico dei corsi d'acqua, portando ad inondazioni, a discapito di una riduzione delle acque sotterranee, che sono una grande riserva sia per l'uomo che per la natura, causando grossi problemi nei periodi di siccità.

Nel caso di superfici naturali invece la pioggia è tutta potenzialmente assorbita,

utilizzata e restituita all'atmosfera senza uscire dal sito.

I tetti vegetali possono intervenire positivamente sull'evacuazione delle acque pluviali, assorbendo e filtrando le acque, agendo quindi come un tampone tra il sistema delle precipitazioni e il sistema di drenaggio.

La capacità di ritenzione di un tetto verde cambia secondo la stagione, la profondità del substrato, il numero ed il tipo degli strati, l'inclinazione, il tipo di piante e l'intensità delle precipitazioni. La maggior parte degli studi riferisce una riduzione annuale delle acque evacuate dell'ordine del 40-60% (fonte: Dunnet and Kingsbury, 'Planting Green Roofs and Living Walls', Rouergue, 2008).

tipo di copertura	acque di scolo
	%
Standard	81
Standard con 5cm di ghiaia	77
Tetto verde-5cm	50
Tetto verde-10cm	45
Tetto verde-15cm	40

*Tabella 03.01
Percentuali di evacuazione delle acque pluviali di diversi tipi di copertura.
(fonte: Mentès, 'Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanised 21st century', Landscape and Urban Planning 77).*

Qualità delle acque di scolo

I tetti vegetali agiscono anche sulla qualità stessa dell'acqua evacuata, oltre a limitarne la quantità: è dimostrato che il tasso di nitrati è sostanzialmente ridotto ed il PH è decisamente più elevato, contrastando l'effetto delle piogge acide.

Anche la concentrazione di altri elementi chimici viene modificata.

Risulta però importante considerare la percentuale di composto contenuto nel substrato, in quanto da questo dipende la capacità di filtrare il fosforo, la cui concentrazione è di fondamentale importanza per la qualità dell'acqua. Bisogna poi prestare attenzione all'utilizzo dei fertilizzanti, in quanto possono arricchire di fosforo ed azoto le acque di scolo.

Incidenza sull'inquinamento atmosferico

Le particelle presenti nell'aria, provenienti in particolare dalla combustione di carburante, sono state considerate responsabili di malattie e difficoltà respiratorie, i metalli pesanti, prodotti principalmente dalle automobili e dalle industrie, risultano tossici anche a concentrazioni molto basse, mentre l'ozono è il principale fattore aggravante l'effetto serra.

La presenza di vegetazione nelle zone urbane può filtrare le particelle presenti nell'aria, che passando tra le piante si depositano sulle foglie e sui rami, per essere poi lavate dalle piogge e filtrate di conseguenza dal suolo.

Inoltre le foglie sono in grado di assorbire alcuni elementi inquinanti gassosi, trattenendoli nei loro tessuti.

Effetto di "Isola Termica"

La concentrazione di costruzioni in ambiente urbano genera un clima modificato, caratterizzato da temperature notturne più elevate, tassi d'umidità mag-

giori, circolazione dell'aria ridotta e un'eccessiva quantità di particelle in sospensione, incidendo fortemente sull'effetto serra.

Inoltre la riduzione di superfici verdi elimina l'effetto positivo del raffrescamento dovuto all'evaporazione propria del processo vegetativo, mentre veicoli, officine ed industrie e gli impianti di condizionamento creano un calore supplementare.

In questo contesto, le coperture degli edifici rappresentano una grande superficie di riflessione della luce (e quindi del calore) solare e possono raggiungere temperature fino ai 70°C, mentre quelle coperte di vegetazione oscillano tra i 24-35°C, mantenendo estremamente bassa la riflessione.

La funzione principale della vegetazione in ambiente urbano è quella di produrre un raffrescamento generale, dovuto all'evaporazione ed alla traspirazione tramite le foglie delle piante che converte direttamente l'energia solare in vapore, senza liberarla nell'ambiente circostante.

Si ottiene in questo modo un effetto di 'isola fredda', capace d'influire sul clima di un'area nel caso di inserimento di piante in una buona quantità.

Miglioramento Acustico

Le superfici dure costituenti gli ambienti urbani hanno la capacità di riflettere i rumori piuttosto che assorbirli. Una superficie vegetale può al contrario assorbire un'alta quantità di suono sia attraverso il substrato, soprattutto suoni bassi, che attraverso le piante stesse, per quanto riguarda le frequenze più alte. Un tetto con un substrato di 12cm è in grado di ridurre il rumore di circa 40 decibel, uno di 20cm arriva a 46-50 db.

3.2.2 I vantaggi economici

Allungamento della durata della vita del tetto

L'esposizione al calore può portare ad un'accelerazione dell'invecchiamento dei materiali bituminosi, mentre la radiazione ultravioletta può modificarne la composizione chimica e degradarne le proprietà meccaniche.

La maggiore temperatura superficiale che si viene a creare su un tetto piano classico rispetto ad una copertura vegetale, un maggiore stress termico anche dalla fluttuazione delle temperature diurne e gli sforzi imposti dall'azione del gelo, portano ad un'usura più rapida del materiale a tenuta.

Un tetto piano tradizionale ha poi una maggior tendenza all'otturazione delle vie di fuga dell'acqua, trasformandosi in una vasca aumentando la possibilità di creare infiltrazioni.

Aumento del potere isolante

Una delle maggiori motivazioni proposte per l'adozione di un tetto giardino, insieme al controllo delle acque puviali, è il potere isolante apportato dall'inserimento di un numero maggiore di strati, in aggiunta all'abbassamento delle temperature a diretto contatto con la superficie. Si ottiene in questo modo una

riduzione dei consumi dovuti al riscaldamento durante l'inverno e della necessità di climatizzazione estiva, riducendo i costi di energia dell'intero edificio. Uno studio effettuato a Toronto, ad opera di Liu e Minor nel 2005 ha mostrato come un tetto vegetale consente una riduzione del flusso di calore del 75-90% in estate a fronte di un 10-30% in inverno.

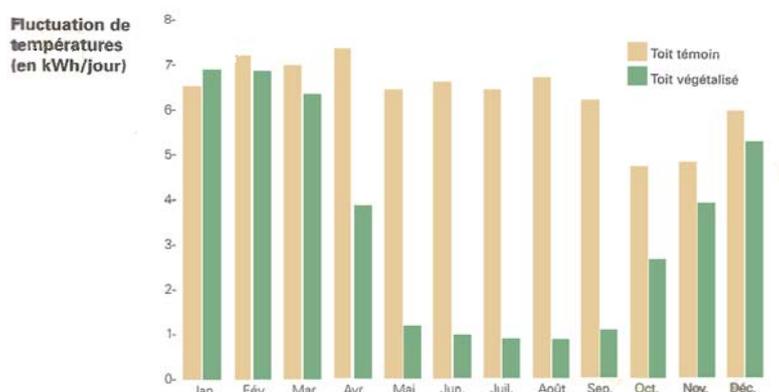


Grafico 03.01
Flusso quotidiano medio di calore attraverso un tetto vegetale ed un tetto tradizionale a Toronto, a gennaio e dicembre 2001.
(fonte Liu e Baskaran, 'Thermal performance of green roofs through field evaluation', Proceedings of the first annual international green roofs conference, 2003.)

3.2.3 Vantaggi estetico-sociali

All'interno di un ambiente urbano, la presenza di coperture verdi può risultare particolarmente efficace, in particolare all'interno di quartieri profondamente costruiti, dove la creazione di uno spazio ricreativo di questo tipo può giocare un ruolo significativo.

Anche gli spazi verdi non utilizzabili possono apportare beneficio, in quanto può essere l'unico scorcio di natura a disposizione degli abitanti di zone densamente costruite.

I tetti produttivi

Una possibilità ulteriore viene offerta dai tetti vegetali, ovvero quella di installarvi delle coltivazioni di piante produttive creando dei veri e propri orti cittadini, consentendo così di ridurre la dipendenza dai prodotti acquistati che implicano costi di trasporto e conseguente inquinamento.

3.2.4 Le possibilità tipologiche

Di fondamentale importanza per il funzionamento di un tetto verde è la scelta del tipo di terreno, della sua profondità e delle piante inserite, partendo da una considerazione riguardante le principali problematiche riscontrabili.

Su una copertura caratterizzata da uno strato sottile di terreno, bisogna prestare particolare attenzione all'alta probabilità di momenti di siccità, data la ridotta capacità d'accumulo.

Inoltre un giardino posto al di sopra di un edificio non risente dell'effetto d'ombreggiamento e protezione offerti dagli edifici circostanti di un terreno a livello del suolo, risultando quindi più esposto all'azione del sole e del vento. Va poi considerato il calore accumulato dagli elementi massivi in prossimità della coltivazione, rilasciato poi durante la notte modificando, quindi, i naturali regimi di

temperature del luogo.

Bisogna quindi progettare attentamente una copertura in base alla sua funzione, scegliendo accuratamente lo spessore e la ricetta del suolo e soprattutto le piante da inserire, privilegiando piante dall'alta resistenza.

La scelta delle piante

La selezione delle specie vegetali da inserire in un tetto verde risulta fortemente influenzata dalle condizioni climatiche, dal tipo e dallo spessore del terreno utilizzato. Bisogna infatti mettere la coltivazione in condizione di poter prosperare, evitando l'erosione del terreno o una sua eccessiva esposizione, garantendo al contempo l'aspetto estetico, mantenendo una buona copertura del substrato.

Per assolvere alle proprie funzioni, la vegetazione di un tetto deve:

- coprire e fissare la superficie del substrato in tempo breve;
- formare un tappeto autoriparatore;
- assorbire e traspirare acqua e vapore in maniera tale da mantenere un equilibrio idrico;
- sopravvivere alle condizioni climatiche secondo le previsioni più pessimistiche.

In questa prospettiva, il numero di piante utilizzabili non è estremamente alto e diminuisce di pari passo alla riduzione di spessore del substrato.

03.01
Tetto in sedum del Canary Wharf, a Londra.



Uno spessore fine, tra i 2cm ed i 3cm, può prevedere la presenza di soli muschi e sedum, una vegetazione dai bisogni idrici estremamente limitati. Le piante succulente si adattano bene a questa condizione, potendo resistere a condizioni di calore e siccità estreme grazie all'assenza di traspirazione (dovuta al CAM, Crasulacean Acid Metabolism), attivata solamente durante la notte.

Con questa scelta si riducono però gli effetti benefici apportati dalla traspirazione delle piante sul microclima locale ed al controllo delle acque di scolo.

Passando ad uno strato di 5-8cm si amplia la gamma di piante succulente a disposizione, con l'aggiunta di graminacee e piante erbacee.

Con 10-20 cm già è possibile inserire anche piante vivaci particolarmente

resistenti alla siccità, scelte principalmente in base alle loro qualità estetiche, oltre che piante a bulbo, quali Tulipani, Iris e varie specie di Allium. Le piante clonali formanti dei ciuffi compatti, saranno dominanti in questo tipo di composizione data la loro alta resistenza e il

03.02
Vista della Guesthouse e del giardino semi-intensivo del Moorgate Crofts Business Centre, Rotherham, Regno Unito.



loro potere coprente, trattandosi di piante autopropagative, che eliminerà la concorrenza delle erbe cattive.

Con questi spessori si passa già a parlare di tetti semi estensivi, non più intensivi.

Al di sopra di spessori di 15cm sarà possibile inoltre piantare anche piccoli arbusti resistenti, in genere di tipo a foglie piccole e coriacee, solitamente di colorazione verde-grigia ed aromatiche, che però necessiteranno di un perfetto drenaggio durante il periodo invernale.

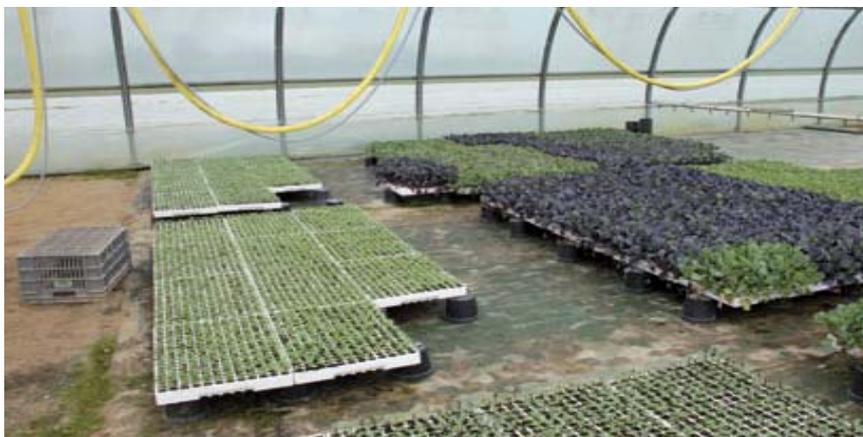
Con questi spessori si possono inoltre impiantare conifere di piccole dimensioni, di origine alpina, abituate a condizioni estreme. La velocità di crescita di queste piante è però estremamente bassa e sono particolarmente sensibili ai periodi di siccità.

Già con spessori di 30-50cm riescono a crescere arbusti bassi, mentre a partire da 80-130cm è possibile la piantumazione di alberi a fusto.

I metodi di impiantazione

La crescita della vegetazione su un tetto può essere introdotta tramite quattro metodi:

- Seminazione diretta e propagazione, molto costosa se si superano 20m² di superficie.
- Impianto di vegetali in vasca o zolle: si tratta di piante precoltivate di piccola taglia, in alveoli di 2,5cm di diametro e da 3 a 5 di profondità. Offre buoni vantaggi, trattandosi di piante il cui sistema di radici è già ben sviluppato, quindi non si pongono problemi di sviluppo.



03.03
Coltivazione di vaschette per l'impiantazione su tetti vegetali.

-Placche precoltivate: sono tappeti vegetali, pronti alla posa, costituiti da un fondo di geotessile, su cui viene applicato un sottile strato nutritivo su cui si semina. E' utilizzabile per ottenere una copertura immediata del tetto, con facilità di posa e trasporto essendo possibile arrotolare il tappeto e srotolarlo in loco.

Potrà però esser utilizzato solo per



03.04
Rotolo precoltivato.

coltivazioni di piante basse, quali erbe e sedum.

- Colonizzazione spontanea: si tratta del metodo sicuramente meno costoso e più indicato per il mantenimento della biodiversità autoctona a costo di un effetto estetico di minor impatto e di un tempo di copertura molto alto. Si può ovviare a questi problemi inserendo degli elementi di specie pioniere di particolare interesse estetico o ecologico, in modo da fornire un input alla colonizzazione.

3.2.5 Scelte progettuali

Per ciò che riguarda le coperture presenti nel T.I.N.-TIN Building si è scelto di adottare una tipologia di tipo intensivo, caratterizzata da spessori ridotti del substrato. Gli elementi coprenti l'ingresso dell'hotel e l'area ad uffici dell'expo, sul fronte sud della torre, sono composti da uno strato di terreno di spessore di circa 5cm, consentendo la crescita quindi solo di sedum e piante erbacee di piccola taglia. Si otterrà quindi una superficie regolare, uniforme, più adatta ad una copertura ancora in contatto con l'ambiente urbano ed alla forma sinuosa che le è propria.

La crescita delle piante sarà lasciata alla colonizzazione spontanea, per il rafforzamento della presenza di specie autoctone all'interno della città.

Le coperture superiori della torre stessa, risultando poco esposte all'azione del vento dato il prolungamento della facciata ad avvolgere la sommità, saranno costituite da uno strato di terreno maggiore, circa 20cm, dove potranno crescere, per colonizzazione spontanea e impiantazione a zolle, erbe, graminacee e piccoli cespugli lignei, fornendo un ambiente più produttivo per la biodiversità.

Diverso trattamento è riservato ai giardini pensili presenti sugli aggetti del piano 3° e 7° e sulla sky-square.

Si tratta infatti di veri e propri giardini, con lo scopo di creare uno spazio bucolico urbano, area di relax e interazione sociale all'interno dell'albergo, caratterizzati da un percorso geometrico a pavimentazione lignea, affiancato da delle sedute costituenti il contenimento del terreno di coltivazione delle piante. Lo spessore del substrato varierà da 60 a 110cm, permettendo quindi l'inserimento di arbusti ad alto fusto, costituenti l'ombreggiamento necessario alla facciata Sud.

03.05
Sezione del giardino pensile



Si sono pensati questi ambienti come elementi di pura natura all'interno della città, quindi caratterizzati da una vegetazione rustica e spontanea, irregolare,

ma soprattutto indigena, al fine di conservare al meglio la biodiversità locale. A questo scopo si sono scelti arbusti, dell'altezza massima di 4-5m, delle più svariate forme e colori, senza escludere i più arruffati e meno eleganti. La scelta delle essenze è ricaduta sui seguenti arbusti:

-Alnus Frangula



-Cornus Mas



03.06
Alnus fragola in fruttificazione.

03.07
Cornus Mas.

-Cornus Sanguinea



-Corylus Avellana



03.08
Cornus Sanguinea in autunno.

03.09
Corylus Avellana.

-Cytisus Scoparius



-Euonymus Europaeus



03.10
Cytisus Scoparius in fiore.

03.11
Euonymus Avellana.

03.12

Prunus Spinosa in fiore.

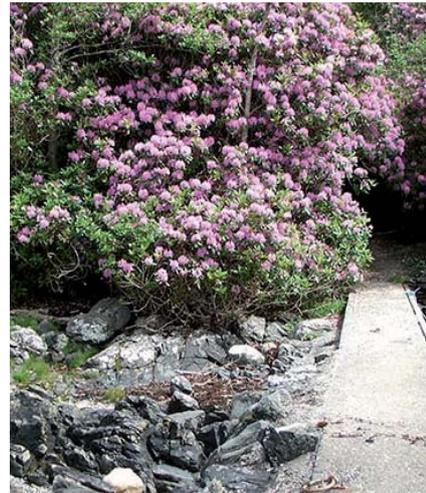
03.13

Rhododendron Ponticum in fiore.

-Prunus Spinosa



-Rhododendron Ponticum



03.14

Rosa Canina in fiore.

03.15

Rosa Rubiginosa in fruttificazione.

-Rosa Canina



-Rosa Rubiginosa



03.16

Sambucus Nigra in fiore.

03.17

Syringa Vulgaris (Lillà) in fiore.

-Sambucus Nigra



-Syringa Vulgaris



-Viburnum Opulus



03.18
Viburnum Opulus in
fiore.

Il terreno sottostante gli arbusti a fusto vedrà, in aggiunta al manto erboso, la presenza di alcune essenze ricoprenti e vivaci, allo scopo di rendere più vario il paesaggio.

-Achillea Millefolium



03.19
Achillea millefolium.

-Anthericum Liliago



03.20
Anthericum Liliago.

-Carlina Vulgaris



03.21
Carlina Vulgaris.

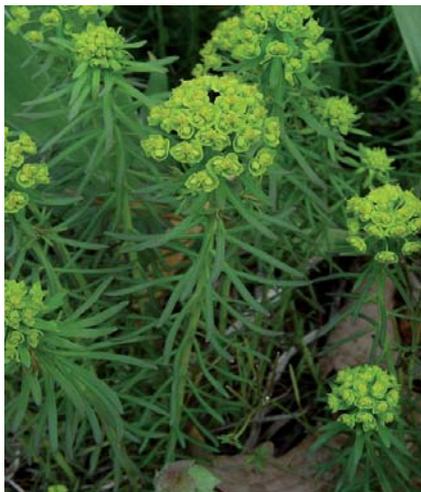
-Dianthus carhusianorum



03.22
Dianthus Carhusiano-
rum.

-Euphorbia Cyparissias

03.23
Euphorbia Cyparissias.



Il perimetro delle terrazze e della piazza viene delineato dalle fioriere, dall'altezza di 110cm, con funzione di parapetto. Si caratterizzano per la presenza di piante ricadenti verso l'esterno, creando un effetto estetico selvaggio, un ideale richiamo al reimpossessarsi dello spazio urbano da parte della natura.

Si tratta sia di piante ricadenti di natura che piante rampicanti, che in assenza di sostegno non potranno che estendersi verso il basso, dai diversi colori e fioriture che genereranno una continua variazione cromatica durante l'anno. A questo scopo sono state inserite infatti anche alcune piante non indigene della zona, ma ormai naturalizzate, quali la vite canadese (*Parthenocissus Quinquefolia*) per il suo straordinario colore rosso autunnale.

In dettaglio, si avranno le seguenti ricadenti:

-Actinidia Kolomikta

-Clematis Vitalba

03.24
Actinidia Kolomikta.



03.25
Clematis Vitalba in fiore.



-Cymbalaria Muralis



-Geranium Robertianum



03.26
Cymbalaria Muralis in
fiore.

Mentre come essenze rampicanti sono state selezionate

-Campsis Radicans



-Hedera Helix



03.28
Campsis Radicans in
fiore, ricadente.

03.29
Hedera Helix ricaden-
te.

-Lonicera Periclymenum 'Belgica'



-Parthenocissus Quinquefolia



03.30
Lonicera Periclyme-
num 'Belgica'.

03.31
Parthenocissus Quin-
quefolia in autunno.

Lo spazio interno della fioriera sarà poi riempito e arricchito, soprattutto a livello cromatico, tramite la piantumazione di specie ricoprenti, che potranno anche essere utilizzate a coronamento degli arbusti nel giardino, creando dei disegni particolari.

-Ajuga Reptans

03.32
Ajuga Reptans.



-Hypericum perforatum

03.33
Hypericum Perforatum.



-Pulmonaria Officinalis

03.34
Pulmonaria Officinalis.



-Rosa Arvensis

03.35
Rosa Arvensis.



3.3 Le facciate vegetali

Già nell'architettura tradizionale centro europea e mediterranea si sono utilizzate piante rampicanti addossate all'edificio. Si trattava principalmente di piante di una certa forza, quali la vite, che necessitavano quindi di un supporto ligneo importante.

Le facciate moderne invece si basano su piante più fini e leggere, con necessità di supporti meno importanti, accontentandosi di strutture più esili, basate su fini supporti metallici o lignei.



03.36
*Differenti applicazioni
 di piante rampicanti
 su edifici tradizionali e
 moderni*

3.3.1 Vantaggi delle facciate verdi

Il principale effetto positivo generato da una facciata vegetale consiste nella riduzione delle temperature massime di un edificio, proteggendo il muro dall'irraggiamento solare diretto, inducendo una riduzione della variazione di calore durante la giornata fino anche al 50%.

Quest'effetto si ripercuote positivamente sui consumi per climatizzazione, che possono essere abbassati del 50-70% con una riduzione della temperatura esterna di 5,5°C (fonte: Peck e altri, 'Greenbacks from Greenroofs: Forging a New Industry in Canada', Canada Mortgage and Housing Corp.).

Oltre all'effetto di ombreggiamento, la presenza di vegetazione in facciata riporta alcuni dei fattori positivi già esposti precedentemente riguardo le coperture verdi, quali l'abbassamento delle temperature per traspirazione.

Durante l'inverno, in particolare nelle regioni dagli inverni particolarmente freddi, può risultare conveniente installare delle piante rampicanti a foglie caduche, al fine di esporre i muri alla radiazione solare, ma anche l'impiego di piante sempreverdi porta ad effetti positivi, creando un'intercapedine d'aria che aumenta il potere isolante del muro. Le piante offrono inoltre un riparo dalle correnti fredde incidenti sulle facciate, nonché una protezione alla radiazione ultravioletta, riducendo l'usura dei materiali superficiali.

Come per le coperture verdi, anche le facciate offrono un potere di assorbimento di sostanze inquinanti: in particolare la *Parthenocissus Tricuspidata* riesce a recepire nelle sue foglie enormi quantità di piombo e cadmio, seguita dall'*Hedera Helix*.

Oltre ad effetti climatici, le piante offrono anche una protezione alla facciata dalle forti interperie e dall'azione del gelo.

A livello di conservazione della biodiversità, anche le facciate vegetali offrono

ottime prestazioni, riempiendosi di una grande varietà d'invertebrati che stimolano anche la presenza di altri animali che si nutrono di questi, quali gli uccelli. In aggiunta, delle piante rampicanti ben posizionate e cresciute, offrono un ottimo riparo per la creazione di nidi d'uccello.

Le piante rampicanti, in generale, si pongono poi come un ottimo elemento per la creazione di spazi verdi all'interno di ambienti densamente edificati, necessitando di pochissimo spazio a terra ma al contempo dando origine ad un'ampia superficie verticale (raggiungendo alcune specie 20m d'altezza).

L'utilità di muri vegetali si evidenzia anche nella protezione dalle sorgenti di rumore: poste a rivestimento di barriere antirumore, contribuiscono all'isolamento frammentando l'onda sonora prima che incida sulla barriera stessa e, secondo lo stesso principio, riducono la trasmissione acustica attraverso le superfici di tamponamento.

3.3.2 Sistemi di sostegno

Le piante adatte all'utilizzo su superfici verticali possono essere distinte principalmente in tre tipologie:

- piante lignee in grado di autosostenersi se addossate ad un muro;
- piante avvolgenti e piante sarmentose, in grado di svilupparsi in verticale in presenza di sostegni. Spesso utilizzano le spine proprie dei loro rami flessibili come ramponi per ancorarsi alla parete retrostante. Le piante sarmentose, non essendo strettamente rampicanti e in genere disordinate, necessitano di particolari cure per garantire un loro sviluppo verticale;
- piante rampicanti in senso stretto, dotate di un proprio sistema di presa (quali radici aeree e ventose) e piante volubili a foglie specializzate. Sono le più facili da mettere in posa, in quanto si sviluppano senza bisogno di cure particolari, offrendo i risultati più spettacolari. Sono dotate di una capacità enorme di espansione: una Hedera Helix, ad esempio, è in grado di raggiungere i 30 metri di altezza, coprendo una superficie di 600m². L'unica richiesta delle piante caratterizzate da un sistema a radici aeree, quali l'Hedera, è la presenza di una superficie sufficientemente rugosa su cui fare presa, con una colorazione non esageratamente chiara troppo riflettente. Altre specie, quali i Parthenocissus, invece si ancorano secernendo delle sostanze collanti che permettono loro di svilupparsi anche su superfici più lisce. Questo tipo di piante può svilupparsi in ogni direzione, adattandosi alle superfici incontrate.

Le piante volubili invece hanno una spiaccata direzione verticale e necessitano di trovare dei supporti per potersi avvolgere. Molte di queste specie diventano lignee col tempo, assumendo un peso considerevole.

Le piante caratterizzate da viticci, quali le viti, si attaccano ai supporti direttamente tramite i viticci, che spingono la pianta verso l'alto scaricando il peso dei rami sulle strutture (o le piante) che fungono da sostegno.

Tralicci in legno

Un legno trattato con sistemi convenzionali è in grado di resistere e fornire buone prestazioni per il sostegno per una durata di circa 25 anni ed è il sistema tradizionalmente utilizzato nei paesi centroeuropei.

Nel caso di dover effettuare delle riparazioni o sostituzioni alla sottostruttura, le piante a viticcio possono essere agevolmente staccate e riposizionate, operazione non possibile con piante volubili.



03.37
Esempio di struttura di sostegno in traliccio di legno.

Trallicci metallici

Se trattate contro la corrosione, le strutture metalliche sono un'ottima alternativa a quelle in legno, avendo una maggiore longevità. Inoltre possono costituire un elemento di arredo urbano. E' però necessario porre attenzione nella scelta dei materiali utilizzati, in quanto alcuni metalli, soggetti ad usura, possono rilasciare sostanze nocive divenendo sorgente essi stessi di inquinamento. La scelta migliore rimane quella dell'alluminio oppure dell'acciaio inox.

Il problema maggiore posto dai supporti metallici risulta il surriscaldamento sotto l'effetto della radiazione solare, danneggiando la crescita della pianta. La capacità di assorbimento del calore dipende dal colore e dalle dimensioni del supporto, perciò è preferibile adottare colori chiari e sezioni ridotte.

Questa soluzione è la più indicata per piante volubili, caratterizzate da una maggior resistenza dei rami.



03.38
Struttura in traliccio metallico come elemento d'arredo urbano.

Cavi metallici

Una maglia realizzata con un normale fil di ferro è in grado di sostenere una pianta rampicante fino ad un'altezza di un paio di piani. Solitamente si mettono in opera delle maglie con fili distanziati di 30-50 cm.

Sistemi più moderni sono invece basati su cavi in acciaio montati in situ, connessi da dei fermacavi a croce alla loro intersezione.



03.39
Giunto fermacavi di un sostegno in cavi metallici.

3.3.3 Scelte progettuali

Nel progetto del T.I.N.-Tin Building solo una piccola porzione è caratterizzata da una facciata vegetale: si tratta degli affacci esterni dei vani scala Ovest e Nord-Est, che avranno lo scopo di creare una linea verde continua su tutta l'altezza, collegando il verde in sommità con la base, le radici, della torre.

A partire dal piano terra si avrà quindi uno sviluppo verticale della vegetazione tramite l'utilizzo di piante rampicanti dall'altezza moderata, in quanto ad ogni piano il prolungamento delle fioriere del fronte Sud offrirà spazio alla piantumazione di nuovi rampicanti.

Riducendo in questo modo l'altezza di espansione si evita un'eccessiva esposizione ai forti venti, crescenti con la quota, della parte più debole delle piante, mantenendole di altezze contenute e quindi più forti.

Nella progettazione di questi elementi di giardino verticale si sono previsti due livelli di piante, donando una profondità alla facciata inesistente nel caso di una semplice superficie ricoperta da un solo rampicante, associando essenze diverse: a contatto con il muro si svilupperanno le essenze rampicanti in senso stretto, coprendo tutta la parete. Ad un livello più esterno, grazie all'ausilio di sostegni lignei verticali isolati, cresceranno invece, separate tra loro, delle piante avvolgenti. In questo modo è possibile separare le differenti specie, evitando che le essenze più invasive prendano il sopravvento sulle più deboli, egemonizzando lo spazio.

Come piante rampicanti sono state scelte due essenze già utilizzate come ricadenti, ovvero *Hedera Helix* e *Parhenocissus Quinquefolia*, per creare un effetto bicromatico, mentre come avvolgenti la scelta è ricaduta su

-*Humulus Lupulus*

-*Calystegia Sepium*

03.40
Humulus Lupulus in
fruttificazione.



03.41
Calystegia Sepium in
fiore.



entrambe indigene e caducifoglie.

I supporti verticali, avvolti da queste due essenze, proseguiranno sulle fioriere anche oltre il fronte del vano scala, diradandosi gradualmente verso Sud, venendo a costituire dei frangisole verticali, in grado di proteggere dal sole basso le facciate dell'albergo retrostanti.

3.4 Sky-Garden

Le aree verdi rimanenti da analizzare sono quelle riguardanti l'interno dell'edificio, sia nello spazio destinato ad hotel che negli ambienti comuni degli uffici.

Entrambi questi spazi saranno caratterizzati da delle aiuole dalle dimensioni contenute, con profondità massima di terreno di 1m.

Mentre i giardini d'inverno inseriti nei piani delle camere sono esposti a Nord, quindi caratterizzati da un'incidenza della luce solare ridotta, lo *sky-garden* di cui è dotato il blocco ufficio risulta esposto principalmente a Sud, quindi ad una radiazione solare importante.

Gli alberi inseriti in questo spazio dovranno assolvere, oltre che al ruolo estetico e sociologico di ricreare un ambiente piacevole e naturale in uno spazio chiuso, al compito di creare ombreggiamento alla facciata interna.

A questo scopo si dovranno scegliere obbligatoriamente, per quanto riguarda gli arbusti a fusto, delle essenze a foglie caduche che riparino dal sole durante il periodo estivo, lasciandolo penetrare in profondità in inverno.

Comportandosi come una serra, questo spazio sarà caratterizzato da temperature invernali decisamente superiori rispetto all'ambiente esterno, fattore che potrebbe compromettere il naturale ciclo vegetativo delle piante, rischiando di mantenere il fogliame anche durante i mesi invernali.

Il problema risulta tanto più complicato dal fatto che la coresi foliare non dipende solo dal picco inferiore delle temperature, ma anche dalla somma termica giornaliera, perciò uno studio basato su una temperatura media può non fornire dati certi.

Basandosi sulle dimensioni raggiunte a maturità, caratteristiche di fogliame e fioriture e, soprattutto, per l'elegante disegno della ramificazione ed il colore della corteccia, molto più percepibile d'inverno che nei mesi di vegetazione, la scelta ricade sulle seguenti essenze:

-Corylus Avellana 'Contorta'



03.42
Corylus Avellana
'Contorta' in fine
autunno.

-Cornus Controversa

03.43
Cornus Controversa.



-Lagerstroemia Indica

03.44
Lagerstroemia Indica
in fiore.



Per evitare con sicurezza il problema della perdita del fogliame si possono inserire delle essenze provenienti da climi più miti, abituate a temperature maggiori rispetto a quelle tipiche della regione di Bruxelles e capaci perciò di perdere le foglie a partire da temperature più alte:

-Cornus Florida

03.45
Cornus Florida.



-Hibiscus Syracus

03.46
Hibiscus Syracus
in fiore.



-Tamarix Gallica

03.46
Tamarix Gallica
in fiore.



3.5 Conclusioni

L'invasione dell'ambiente naturale da parte dell'ambiente costruito è uno dei punti cardine della riflessione urbanistica ed architettonica, che dovrebbe essere preso in considerazione anche a livello politico ed economico.

Una riduzione e la metamorfosi subite dagli ambienti naturali sono da indicare tra le principali cause dei cambiamenti climatici in corso, che portano qui fenomeni spesso indicati come 'catastrofi naturali', come inondazioni, siccità, causati dall'inquinamento atmosferico, dall'aumento delle temperature, dalla riduzione delle acque potabili.

Uno sviluppo urbano più cosciente, che prenda in considerazione anche l'inserimento di aree verdi sia in superficie che sugli edifici sotto ogni forma, può fornire un valido aiuto a tamponare questi fenomeni ed a creare un ambiente più vivibile e sicuramente di miglior impatto psicologico rispetto alla città totalmente cementificata.

Le coperture e le facciate verdi non possono ovviamente che risolvere una minima parte del problema, ma possono rivelarsi un ottimo aiuto se inserite in un sistema più ampio, che veda l'azione sinergica delle tecnologie e delle teorie urbanistiche, di architetti, ingegneri e orticoltori.

ALLEGATI

- Il Progetto Del Verde -

ARBUSTI									
NOME	Indigeno	forma corona	altezza [m]	colori [estate;autunno]	fioritura	Periodo	Frutti	esposizione	Tipo terreno
ALNUS FRANGULA	v	arrotondata emisferica	1-4	verde intenso	verde-bianco-rosa	primavera-estate	verde-rosso-nero	pieno sole, mezz'ombra	tutti
CORNUS MAS	v	allungata e arrotondata	2-8	verde giallo; giallo-rosso	gialli		rosso	pieno sole e ombra	secco, medio
CORNUS SANGUINEA	v	allungata e arrotondata	2-4	verde;verde-rosso-giallo	bianco	primavera	nero	pieno sole, mezz'ombra	secco,umido
CORYLUS AVELLANA	v	arrotondata emisferica a fusto	2-5	verde, rosso; rosso-giallo	rosso, giallo		bruno	pieno sole e ombra	secco,umido
CYTISUS SCOPARIUS	v	allungata e arrotondata a fusto	1-3	verde;verde-giallo	bianco-giallo		verde	pieno sole	secco,medio
EUONYMUS EUROPAEUS	v	arrotondata emisferica (anche a fusto)	3-6	verde;giallo-verde	giallo-verde	primavera	rosa-rosso	pieno sole-ombra	medio-umido
PRUNUS SPINOSA	v	arrotondata emisferica	2-4	verde; giallo-verde	bianco	prima primavera	blu-nero	pieno sole, mezz'ombra	secco,medio
RHODODENDRON PONTICUM	v	arbusto compatto	5	verde	viola-porpora	primavera-estate	-		
ROSA CANINA	v	arrotondata emisferica	1-3	verde;giallo-verde	bianco-rosa	primavera-estate	rosso	pieno sole	secco,medio
ROSA RUBIGINOSA	v	arbusto compatto	2-3	verde scuro	bianco-rosa	primavera	rosso		
SAMBUCUS NIGRA (e var laciniata)	v	arrotondata emisferica (anche a fusto)	5-8	verde, giallo; verde-giallo	bianco-giallo	estate	rosso-nero	pieno sole, ombra	medio-umido
SYRINGA VULGARIS	v	allungata e arrotondata	4	verde; verde-giallo	bianco, rosa, viola	primavera-estate	bruno-verde	pieno sole	secco,medio
VIBURNUM OPULUS	v	arrotondata emisferica	2-4	verde; verde-giallo	bianco		rosso	pieno sole, ombra	medio-umido

PIANTE RAMPICANTI									
Nome	Indigena	forma	altezza [m]	colori [estate;autunno]	fioritura	Periodo	frutti	esposizione	Tipo terreno
CALYSTEGIA SEPIUM	v	avvolgente / volubile	5	verde	bianco	primavera	nero	pieno sole-mezz'ombra	umido
CAMPSIS RADICANS	Cina, naturalizzata	rampicante/ricadente	7	verde;arancio	Rosso-arancio	estate	-	pieno sole	medio
HEDERA HELIX	v	rampicante/ricadente	20	verde scuro, verde chiaro	verde	autunno	Bruno-nero	pieno sole ombra	medio
HUMULUS LUPULUS	v	avvolgente / volubile	7	verde	Giallo-verde	estate	grigio	pieno sole	medio
LONICERA PERICLYMENUM 'BELGICA	v	rampicante/ricadente	7	verde	Bianco-rosso	Primavera-estate		pieno sole-mezz'ombra	
PARTHENOCISSUS QUINQUEFOLIA	N. America,naturalizzata	rampicante/ricadente	15	verde; rosso	insignificante	primavera	blu	pieno sole ombra	umido

PIANTE RICADENTI									
Nome	Indigena	forma	altezza [m]	colori [estate;autunno]	fioritura	Periodo	frutti	esposizione	Tipo terreno
ACTINIDIA KOLOMIKTA	Asia or. , naturalizzata	ricadente	6-8	verde rosato-bianco;	bianco	primavera	verde	pieno sole, ombra	medio
CLEMANTIS VITALBA	v	volubile	10	verde scuro	Bianco-verde	primavera-estate-autunno	-	mezz'ombra	medio
CYMBALARIA MURALIS	v	vivace ricadente	0,8	verde chiaro	Bianco-lilla	Primavera-estate	-	Ombra-mezz'ombra	umido
GERANIUM ROBERTIANUM	v	ricadente	0,3	verde;rosso	Rosa-lilla	Primavera-estate	-	pieno sole	

PIANTE RICOPRENTI									
Nome	Indigena	forma	altezza [m]	colori [estate;autunno]	fioritura	Periodo	frutti	esposizione	Tipo terreno
AJUGA REPTANS	v	ricoprente	0,2	Verde scuro-giallo	Blu-viola	primavera	-	Mezz'ombra-ombra	medio-umido
IPERICUM PERFORATUM	v (isole britanniche)	ricoprente	0,3	Verde-rosso	giallo oro	Inizio estate	-	pieno sole	umido
PULMONARIA OFFICINALIS	v	ricoprente	0,3	verde maculato	Rosa-rosso-azzurro	prima primavera	-	mezz'ombra	medio-umido
ROSA ARVENSIS	v	ricoprente	0,5	verde;giallo-verde	bianco	primavera	rosso	pieno sole, mezz'ombra	secco,medio

PIANTE VIVACI									
Nome	Indigena	forma	altezza [m]	colori [estate;autunno]	fioritura	Periodo	frutti	esposizione	Tipo terreno
ACHILLEA MILLEFOLIUM	v	vivace ramificata	0,5-1	verde	bianco	primavera	-	pieno sole-mezz'ombra	Medio-umido
ANTHERICUM LILIAGO	v	vivace	0,4	verde	bianco	fine primavera	-	pieno sole	Medio-secco
CARLINA VULGARIS	v	vivace	0,4	Verde-giallo	Bianco-giallo	estate	-	pieno sole	
DIANTHUS CARTHUSIANORUM	v	vivace	0,1-0,6	verde	Rosso-rosa	primavera	-	pieno sole-mezz'ombra	Medio-secco
EUPHORBIA CYPARISSIAS	v	vivace	0,15-0,40	verde glauco	Giallo-arancio	fine primavera	-	pieno sole	Medio-secco

CAPITOLO 04

- Il Progetto Antincendio -

4.1 Premessa

I regolamenti e che le norme che regolano la prevenzione e il controllo degli incendi sono quelli solitamente più ostici, e sono quelli che maggiormente incidono sulla progettazione architettonica dell'edificio, dal punto di vista compositivo, estetico e distributivo.

È dunque fondamentale tener conto, sin dalla fase di composizione architettonica, degli aspetti che regolano la prevenzione antincendio per garantire la sicurezza degli utenti anche in situazione di pericolo.

Una convinzione errata è che il pericolo maggiore sia costituito dal fuoco: è in realtà il fumo la vera minaccia, in quanto soffoca e acceca, fa perdere l'orientamento e riesce a uccidere anche a distanza dal focolaio.

La sicurezza antincendio è una delle priorità con cui ci si deve confrontare nella realizzazione di un edificio alto, data la grande percentuale di superficie che verrà adibita a collegamenti verticali di sicurezza.

Gli aspetti principali da prendere in considerazione nella prevenzione e il controllo degli incendi sono:

- La compartimentazione
- L'esodo
- La progettazione della struttura

I criteri progettuali generali devono essere:

- Predisposizione di vie di fuga alternative
- Predisporre vie di uscita tali da accelerare la fuga degli occupanti
- Predisporre la compartimentazione dell'edificio tali da rallentare lo sviluppo dell'incendio e la propagazione dei fumi.

L'analisi e la progettazione antincendio sono state portate avanti secondo le normative italiane vigenti: questo ci ha portato non pochi dubbi sull'interpretazione in quanto difficilmente applicabile agli edifici multifunzione.

4.2 Riferimenti normativi

D.M. 22 febbraio 2006 Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio di edifici e/o locali destinati ad uffici

D.M. 6 OTTOBRE 2003 Approvazione della regola tecnica recante l'aggiornamento delle disposizioni di prevenzione incendi per le attività ricettive turistico-alberghiere esistenti di cui al decreto 9 aprile 1994.

UNI EN 81-72 Regole di sicurezza per la costruzione e l'installazione di ascensori – Applicazioni particolari per ascensori per passeggeri e per merci – Ascensori antincendio).

D.M. 9 aprile 1994 Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la costruzione e l'esercizio delle attività ricettive turistico-alberghiere.

DM 20 dicembre 1999 Modificazione dell'allegato del decreto ministeriale 9 aprile 1994 recante l'approvazione della regola tecnica per la costruzione e l'esercizio delle attività alberghiere.

4.3 Il progetto antincendio

L'esigenza primaria che maggiormente condiziona l'assetto distributivo dell'edificio è la predisposizione delle vie di fuga.

Il principio generale deve essere quello di predisporre vie di uscita alternative, in modo che se una di esse fosse interrotta, ne resti disponibile un'altra.

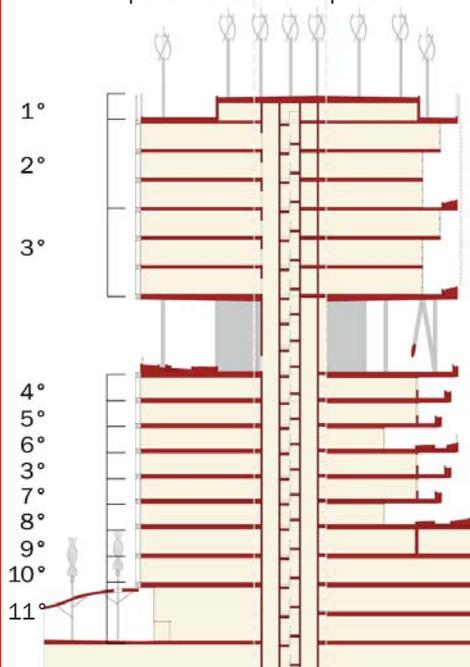
L'assetto distributivo delle vie di fuga deve consentire che, dovunque si sviluppi l'incendio e dovunque si trovino le persone, resti comunque disponibile una via di uscita verso un luogo sicuro. In generale il criterio di distribuzione delle uscite deve avere caratteristiche di uniformità e simmetria.

Il T.I.N.- Tin Building è stato concepito fin dalla fase compositiva secondo questi principi e in base alle differenti destinazioni d'uso sono state pensate vie di fuga adeguate e rispondenti alle principali norme di riferimento.

Si è scelto, interpretando la norma, di rendere completamente autonome le vie di fuga delle due funzioni. Il piano piazza viene attribuito agli uffici come funzione, quindi le vie di fuga saranno le medesime dei piani a lui superiori.

La fuga deve portare a un luogo sicuro da cui potersi velocemente allontanare dall'edificio oppure dove è possibile attendere i soccorsi in sicurezza. La fuga deve avvenire mediante un sistema di percorsi di esodo (la cui lunghezza massima è normata e varia a seconda del rischio di incendio e della destinazione d'uso) che conducono a luoghi sicuri o a percorsi protetti, quali scale a prova di fumo compartimentate con porte REI dotate di congegno di auto chiusura.

04.01
Sezione semplificata
con evidenziati com-
partimenti antincendio



04.02
Schema semplificato
pianta PT con eviden-
ziate uscite antincen-
dio di uffici e hotel



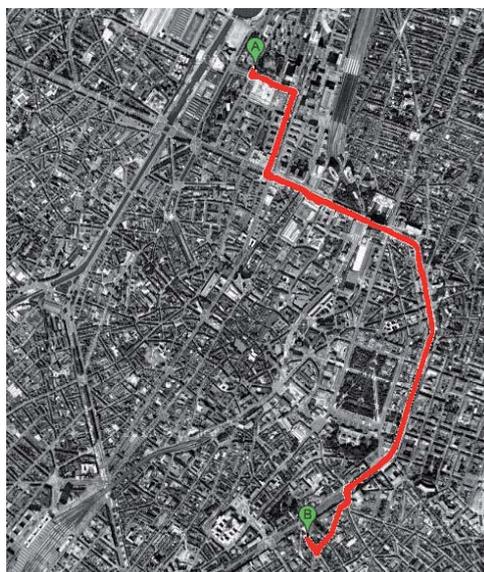
Uffici: verde scuro
Hotel: Verde chiaro

Al fine della sicurezza antincendio e per conseguire gli obiettivi di incolumità delle persone e tutela dei beni si deve cercare di:

- Minimizzare le cause di incendio (attraverso la scelta dei materiali);
- Garantire la stabilità delle strutture portanti per assicurare il soccorso degli occupanti (ad esempio con lo spessore del copri ferro);
- Limitare la produzione e la propagazione di un incendio all'interno dei locali;
- Limitare la propagazione di un incendio ad edifici o locali contigui;

- Assicurare la possibilità che gli occupanti lascino i locali indenni;
- Garantire la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Distanza tra la centrale dei vigili del fuoco e il nostro lotto uguale a 4,2 Km stimabili in 10 minuti di tragitto a velocità normale



04.03
Percorso dei vigili del fuoco dalla centrale a l'ilot 24

Per consentire l'intervento dei mezzi di soccorso dei vigili del fuoco gli accessi alle aree dove sono ubicati devono avere i seguenti requisiti minimi:

- Larghezza 3,5 m
- Altezza libera 4 m
- Raggio di volta 13 m
- Pendenza (non superiore al 10%)
- Resistenza al carico: almeno 20 tonnellate.

Inoltre deve essere assicurata la possibilità di accostamento all'edificio delle autoscale dei vigili del fuoco, almeno ad una finestra o a un balcone di ogni piano, purché ciò consenta di raggiungere tutti i locali di piano tramite percorsi interni al piano.



04.04
Pianta PT con indicazione punti di raccolta e uscite di sicurezza differenziate

Come si è fatto nei precedenti capitoli le due funzioni verranno analizzate separatamente alla luce dei D.M. di riferimento.

4.4 L'albergo : D.M. 6 ottobre 2003

Vengono riportati solo gli articoli che hanno guidato la progettazione della parte del TIN-Tin Building adibita ad hotel, ovvero i primi 10 piani fino a una quota di 33 m.

Classificazione

L'albergo è un' attività con capienza superiore a 25 posti letto, alle quali si applicano le prescrizioni di cui al Titolo II.

Caratteristiche costruttive

Resistenza al fuoco delle strutture

Le strutture portanti, data l'altezza antincendio uguale a 33 metri, dovranno garantire resistenza al fuoco R e quelle separanti REI uguale a R90 e REI 90. Tramite le tabelle presenti nel D.M. del 16 febbraio 2007 possono essere determinati gli spessori delle protezioni, nel caso di strutture in c.a., per ottenere la classe di resistenza desiderata.

La tabella seguente riporta i valori minimi [mm] dello spessore totale H di solette e solai della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito R per le classi indicate

Classe	120	Verifica
Solette piene con armatura monodirezionale	H= 160	si
	A = 40	si

La tabella seguente riporta i valori minimi [mm] dello spessore s e della distanza a dall'asse delle armature alla superficie esposta sufficienti a garantire il requisito REI per le classi indicate di pareti portanti esposte.

Classe	120	Verifica
Parete in calcestruzzo esposta su un lato	H= 160	si
	A = 35	si

Reazione al fuoco dei materiali

I materiali installati devono essere conformi a quanto di seguito specificato:

- negli atri, nei corridoi, nei disimpegni, nelle scale, nelle rampe, nei passaggi in genere, è consentito l'impiego dei materiali di classe 1 in ragione del 50 % massimo della loro superficie totale (pavimento + pareti + soffitto + proiezioni orizzontali delle scale). Per le restanti parti debbono essere impiegati materiali di classe 0 (non combustibili);
- in tutti gli altri ambienti è consentito che le pavimentazioni, compresi i relativi rivestimenti, siano di classe 2 e che gli altri materiali di rivestimento siano di classe 1, oppure di classe 2, se in presenza di impianti di spegnimento automatico o di sistemi di smaltimento dei fumi asserviti ad impianti di rivelazione degli incendi;
- i materiali di rivestimento combustibili, nonché i materiali isolanti in vista di cui alla successiva lettera f) ammessi nelle varie classi di reazione al fuoco, devono essere posti in opera in aderenza agli elementi costruttivi di classe 0 escludendo spazi vuoti o intercapedini.

*Tabella 04.01
Tabella tratta dal D.M. del 16 febbraio 2007 con i valori minimi in mm dello spessore di soletta per le differenti classi di reazione al fuoco*

*Tabella 04.02
Tabella tratta dal D.M. del 16 febbraio 2007 con i valori minimi in mm dello spessore di parete in c.a. per le differenti classi di reazione al fuoco*

Ferme restando le limitazioni previste dalla precedente lettera a), è consentita l'installazione di controsoffitti nonché di materiali di rivestimento e di materiali isolanti in vista posti non in aderenza agli elementi costruttivi, purché abbiano classe di reazione al fuoco non superiore a 1 o 1-1 e siano omologati tenendo conto delle effettive condizioni di impiego anche in relazione alle possibili fonti di innesco;

d) i materiali suscettibili di prendere fuoco su entrambe le facce (tendaggi, ecc.) devono essere di classe di reazione al fuoco non superiore ad 1;

e) i mobili imbottiti ed i materassi devono essere di classe 1 IM;

Corridoi

I tramezzi che separano le camere per ospiti dai corridoi devono avere caratteristiche di resistenza al fuoco non inferiore a REI 30. Le porte delle camere devono avere caratteristiche non inferiori a REI 30 con dispositivo di autochiusura.

Scale

Le caratteristiche di resistenza al fuoco dei vani scala devono essere congrue con quanto previsto per le strutture portanti.

Le scale a servizio di edifici a più di sei piani fuori terra devono essere del tipo a prova di fumo.

La larghezza delle scale non può essere inferiore a 1,20 m.

Le rampe delle scale devono essere rettilinee avere non meno di tre gradini e non più di quindici.

I gradini devono essere a pianta rettangolare, devono avere alzata e pedata costanti rispettivamente non superiore a 17 cm e non inferiore a 30 cm. Sono ammesse rampe non rettilinee, a condizione che vi siano pianerottoli di riposo almeno ogni quindici gradini e che la pedata del gradino sia di almeno 30 cm misurata a 40 cm dal montante o dal parapetto interno.



04.05
Scale antincendio Hotel

Ascensori e montacarichi

Gli ascensori ed i montacarichi non possono essere utilizzati in caso di incendio, ad eccezione degli ascensori antincendio.

Gli ascensori e i montacarichi che non siano installati all'interno di una scala di tipo almeno protetto, devono avere il vano corsa di tipo protetto, con caratteristiche di resistenza al fuoco congrue.

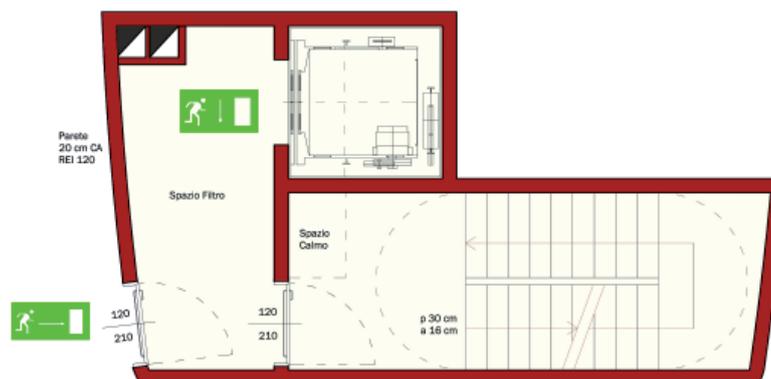
Ascensori antincendio

Nonostante l'altezza antincendio sia minore di 54 metri si è deciso di prevedere un ascensore antincendio.

Gli ascensori antincendio da poter utilizzare, in caso di incendio, nelle operazioni di soccorso devono essere realizzati come segue:

- 1) le strutture del vano corsa e del locale macchinario devono possedere resistenza al fuoco REI 120; l'accesso allo sbarco dei piani deve avvenire da filtro a prova di fumo di resistenza al fuoco REI 120. L'accesso al locale macchinario deve avvenire direttamente dall'esterno o tramite filtro a prova di fumo, realizzato con strutture di resistenza al fuoco REI 120;
- 2) gli ascensori devono disporre di doppia alimentazione elettrica, una delle quali di sicurezza;
- 3) in caso d'incendio si deve realizzare il passaggio automatico da alimentazione normale ad alimentazione di sicurezza;
- 4) in caso di incendio la manovra di questi ascensori deve essere riservata al personale; appositamente incaricato ed ai Vigili del fuoco;
- 5) i montanti dell'alimentazione elettrica normale e di sicurezza del locale macchinario devono essere protetti contro l'azione del fuoco e tra di loro nettamente separati;
- 6) gli ascensori devono essere muniti di un sistema citofonico tra cabina, locale macchinario e pianerottoli;
- 7) gli ascensori devono avere il vano corsa ed il locale macchinario distinti dagli altri ascensori.

04.06
Scale antincendio e
ascensore antincendio
Hotel



Misure per l'evacuazione in caso di emergenza

Affollamento

Il massimo affollamento è fissato in:

- aree destinate alle camere: numero dei posti letto; (22 persone per piano)
- aree comuni a servizio del pubblico: densità di affollamento pari a 0,4 persone/m². (130 persone)

Capacità di deflusso

Al fine del dimensionamento delle uscite, le capacità di deflusso devono essere non superiori ai seguenti valori:

- 50 per il piano terra;
- 37,5 per i piani interrati;
- 37,5 per gli edifici sino a tre piani fuori terra;
- 33 per gli edifici a più di tre piani fuori terra.

La capacità limite, nel caso del TIN Tin BUilding è quindi 33 persone.

Lunghezza percorso max 15 m

Larghezza percorso min 1,8 m



04.07
Indicazione lunghezza percorsi di fuga e spazio calmo

Gli edifici o la parte di essi destinata a struttura ricettiva, devono essere provvisti di un sistema organizzato di vie di uscita, dimensionato in base al massimo affollamento previsto in funzione della capacità di deflusso e che conduca in luogo sicuro.

Il percorso può comprendere corridoi, vani di accesso alle scale e di uscita all'esterno, scale, rampe e passaggi.

Deve essere previsto almeno uno spazio calmo per ogni piano ove hanno accesso persone con capacità motorie ridotte od impedite. Gli spazi calmi devono essere dimensionati in base al numero di utilizzatori previsto dalle normative vigenti.

Le porte di accesso alle scale e quelle che immettono all'esterno o in luogo sicuro, devono aprirsi nel verso dell'esodo a semplice spinta.

Le porte delle camere per ospiti devono essere dotate di serrature a sblocco manuale istantaneo delle mandate dall'interno, al fine di facilitare l'uscita in caso di pericolo.

Le porte che si aprono sulle vie di uscita non devono ridurre la larghezza utile delle stesse.

Larghezza delle vie di uscita

La larghezza utile delle vie di uscita deve essere multipla del modulo di uscita e non inferiore a due moduli (1,20 m). La misurazione della larghezza delle uscite sarà eseguita nel punto più stretto della luce.

La larghezza delle vie di uscita nel TIN-Tin Building è sempre superiore a due moduli.

Fa eccezione la larghezza dei corridoi interni agli appartamenti per gli ospiti e delle porte delle camere.

Numero di uscite

Il numero delle uscite dai singoli piani dell'edificio non deve essere inferiore a due. Esse vanno poste in punti ragionevolmente contrapposti.

Di seguito si calcola la larghezza totale delle vie di uscita per l'albergo:

- Massimo affollamento di due piani consecutivi: (22 persone per un piano) quindi 44 persone
- Coefficiente di deflusso 33 persone per modulo (modulo 60 cm)

Numero di moduli = 1,4 moduli

Nel caso fosse un piano stanze e il piano palestra/beauty farm/svago

Massimo affollamento = $110 + 22 = 132$ persone

Numero di moduli = 4 moduli

Questo valore sarà quello scelto per il dimensionamento delle vie di fuga.

04.08
Pianta antincendio di
un piano stanze tipo



Aree ed impianti a rischio specifico

Locali, di superficie non superiore a 12 mq, destinati a deposito di materiale combustibile.

Possono essere ubicati anche al piano camere. Le strutture di separazione nonché le porte devono possedere caratteristiche almeno REI 60 ed essere munite di dispositivo di autochiusura. Deve essere installato un impianto automatico di rivelazione e allarme antincendio.

Ove non sia possibile la ventilazione naturale è ammesso il ricorso alla aerazione meccanica con portata di due ricambi orari, da garantire anche in situazione di emergenza. In prossimità delle porte di accesso al locale deve essere installato un estintore.

Impianti di sicurezza

Si devono disporre i seguenti impianti di sicurezza:

- Illuminazione
- Allarme
- Rivelazione
- Impianti di estinzione

- Ascensori antincendio
- Impianto di diffusione sonora

Sistemi di allarme

Gli edifici destinati ad attività ricettiva devono essere muniti di un sistema di allarme acustico in grado di avvertire gli ospiti e il personale presenti delle condizioni di pericolo in caso di incendio.

I dispositivi sonori devono avere caratteristiche e ubicazione tali da poter segnalare il pericolo a tutti gli occupanti .

Mezzi ed impianti di segnalazione degli incendi

Tutte le attività ricettive devono essere dotate di un adeguato numero di estintori portatili.

Essi devono essere distribuiti in modo uniforme nell'area da proteggere, è comunque necessario che almeno alcuni si trovino:

- In prossimità degli accessi
- In vicinanza di aree di maggior pericolo

Gli estintori devono essere ubicati in posizione facilmente accessibile e visibile; appositi cartelli segnalatori devono facilitarne l'individuazione anche a distanza.

Gli estintori portatili debbono essere installati in ragione di ogni 200 mq di pavimento o frazione con un minimo di un estintore per piano.

Gli idranti ed i naspi correttamente corredati devono essere distribuiti in modo da consentire l'intervento di tutte le aree di attività; collocati in ciascun piano negli edifici a più piani; dislocati in posizione facilmente accessibile e visibile.

Gli idranti e i naspi non devono essere posti all'interno delle scale in modo da non ostacolare l'esodo delle persone.

In presenza di scale a prova di fumo interne, al fine di agevolare le operazioni di intervento dei vigili del fuoco, gli idranti devono essere ubicati all'interno dei filtri a prova di fumo.

4.4.1 Carico antincendio camera comfort

In base a dei criteri oggettivi che considerano l'affollamento di un ambiente, la sua posizione, più o meno sfavorevole, all'interno dell'edificio e quindi le possibilità di deflusso, la densità dell'arredamento in rapporto alla superficie e la reazione al fuoco dei materiali di cui è composto si è scelto di analizzare una stanza tipo dell'hotel.

Con la tabella di seguito riportata, si calcoleranno gli indici di valutazione in funzione dei fattori associati all'edificio.

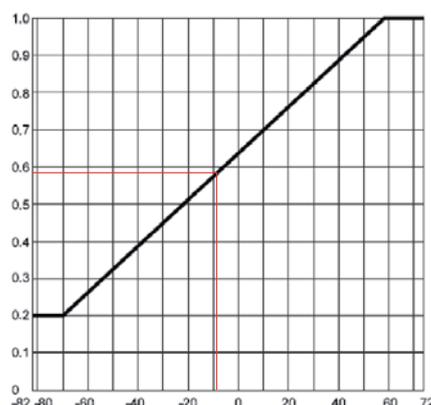
Fattori	Indici di valutazione
1 Altezza dell'edificio e dei piani	
1.1 Altezza totale dell'edificio	
- altezza di gronda fino a 7 m	0
- altezza di gronda oltre 7 fino a 14 m	+2
- altezza di gronda oltre 14 fino a 24 m	+4
- altezza di gronda oltre 24 fino a 30 m	+6
- altezza di gronda oltre 30 fino a 45 m	+10
- altezza di gronda oltre 45 m	+20
1.2. Altezza dei piani in un edificio multipiano	
- fino a 4 m	+2
- oltre 4 fino a 8 m	+1
2. Superficie interna, delimitata da muri tagliafuoco, pareti esterne o pareti antincendio suppletive (schermi, ripari di acqua ecc.)	
- fino a 200 m ²	0
- oltre 200 fino a 500 m ²	+2
- oltre 500 fino a 1000 m ²	+4
- oltre 1000 fino a 2000 m ²	+6
- oltre 2000 m ²	+10
3. Utilizzazione dell'edificio e dei locali	
3.1. Materiali infiammabili, come idrogeno, benzina, petrolio, celluloidi e simili	
- Materiali facilmente combustibili come paglia, mobili di legno e simili	+(5 + 10)
- Materiali poco o difficilmente combustibili, come carta ammassata, oli pesanti da caldaia, carboni minerali e simili	0
3.2. Destinazione dei locali	
- sale di riunione, locali soggetti ad affollamento, ambulatori e simili	+10
- ospedali, cliniche, scuole e simili	+5
- abitazioni ed uffici	0
3.3. Uscite di soccorso a distanza superiore ai 20 m (1)	+(2 + 4)
4. Pericolo di propagazione	
- distanza dagli edifici circostanti fino a 10 m	+3
- distanza dagli edifici circostanti da 10 a 25 m	+1
- distanza dagli edifici circostanti oltre 25 m	0
5. Segnalazione, accessibilità e impianti di protezione antincendio	
5.1. Squadra interna di soccorso	
- con impianto interno di idranti	-25
- con impianto di estintori	-15
5.2. Impianto Sprinkler, secondo la portata e la pressione (indici da ridurre ai valori -(3 + 5) in caso di coesistenza con la voce 5.1.)	
-	-(15 + 25)
5.3. Avvisatore automatico in diretto collegamento con la caserma V.V.F. (indice da ridurre al valore -2 in caso di coesistenza con la voce 5.1. oppure 5.2.)	
-	-10
5.4. Guardiania permanente con telefono	
- con avvisatore automatico interno ed impianto interno di idranti	-12
- con avvisatore automatico interno	-10
- con impianto interno di idranti	-9
- con estintori oppure con impianto esterno di idranti	-8
- senza altro corredo	-7
(Indici da non considerare in caso di coesistenza con la voce 5.1. e da ridurre al valore costante -3 in caso di coesistenza con la voce 5.2.)	

Tabella 04.03
Tabella per determinazione indici di valutazione in funzione dei fattori associati all'edificio

Fattori	Indici di valutazione
5.5 Impianto interno di idranti senza guardiania (indice da ridurre al valore -2 in caso di coesistenza con le voci 5.1. e 5.2.)	- 4
5.6. Impianto esterno di idranti in prossimità dell'edifici (indice da ridurre al valore -1 in caso di coesistenza con le voci 5.1. e 5.2.)	- 3
5.7. Estintori senza guardiania (indice da ridurre al valore -1 in caso di coesistenza con le voci 5.1. e 5.2.)	- 2
5.8. Tempo richiesto per l'arrivo dei V.V.F.	
- fino a 10 minuti	- 5
- oltre 10 e fino a 15 minuti	- 2
- oltre 15 e fino a 20 minuti	0
- oltre 20 minuti	+ 5
5.9. Difficoltà di accesso interno non avente rapporto con l'altezza dell'edificio	+(0 + 3)

Totale= - 9

Il valore calcolato, si utilizzerà per determinare il coefficiente di riduzione K, tramite l'ausilio del grafico qui di seguito.



K = 0,6

La formula per il calcolo di C è:

$$C = \Sigma kcal / (4.400 \times S) \times K$$

Dove:

4.400 è il potere calorifico superiore del legno (in cal/kg)

S è la superficie orizzontale (in m²) del locale considerato = 25 mq

h_{locale} = 2,70 m

COMPONENTI	QUANTITA	POTERE CALORIFICO [MJ/cad]	TOT [MJ]	TOT [kcal]
televisione	1	210	210	49980
frigo	1	340	340	80920
Letto matrimoniale	1	1080	1080	257040
comodino	2	168	336	79968
armadio	1	2679	2679	637602
sedia	1	59	59	14042
scrivania	1	837	837	199206
Totale				1318758

$$C = \Sigma kcal / (4.400 \times S) \times K = 1238790 / (4400 \times 25) \times 0,6 = 20 > REI 30$$

La stessa valutazione con gli stessi parametri verrà effettuata tramite il software ClaRaF, un software gratuitamente scaricabile dal sito internet dei vigili del fuoco e creato in collaborazione con il Ministero dell'interno.

Grafico 04.01
Grafico valutazione coefficiente K

Tabella 04.04
Tabella per determinazione carico antincendio in camera confort

04.09
Risultati ottenuti tramite il software Claraf

Classificazione di resistenza al fuoco delle costruzioni					
decreto del Ministero dell'interno 9 marzo 2007					
Elenco di arredi e/o merci in deposito inseriti nella sommatoria					
Carico d'incendio specifico					
Arredo	Materiale in deposito	[MJ/pezzo]	[MJ/m ³]	Qtà	Imballo
televisione		210		1	
frigo		340		1	
Letto (compreso materasso, lenzuola, cuscino, coperte etc.)		1080		1	
Comodino da notte (compreso il contenuto)		168		2	
Armadio per abiti a 2 ante (contenuto incluso)		1674		1	
Sedia non imbottita		67		1	
Scrivania grande (a due serie di cassetti)		2177		1	

Classificazione di resistenza al fuoco delle costruzioni					
decreto del Ministero dell'interno 9 marzo 2007					
Valore orientativo del carico d'incendio specifico di progetto per arredo e/o merci in deposito					
$Q_{f,d} = Q_f \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$ [MJ/m ²]					
Carico d'incendio specifico					
Allegato elenco arredo e/o materiali in deposito aggiunti nella sommatoria				$Q_f = 235$	[MJ/m ²]
Area compartimento:	25	[m ²]			
Fattore di rischio in relazione alla dimensione del compartimento					
Superficie:	da 0 a 500	[m ²]		$\delta_{q1} = 1$	
Fattore di rischio in relazione al tipo di attività svolta					
Classe di rischio:	I	Aree che presentano un basso rischio di incendio in termini di probabilità di innesco, velocità di propagazione delle fiamme e possibilità di controllo dell'incendio da parte delle squadre di emergenza			$\delta_{q2} = 0,8$
Fattore di protezione					
Sistemi automatici di estinzione ad acqua				$\delta_{n1} = 1$	
Sistemi automatici di estinzione ad altro estinguente				$\delta_{n2} = 1$	
Sistemi di evacuazione automatica di fumo e calore				$\delta_{n3} = 1$	
Sistemi automatici di rilevazione, segnalazione e allarme di incendio				$\delta_{n4} = 0,85$	
Squadra aziendale dedicata alla lotta antincendio				$\delta_{n5} = 0,9$	
Rete idrica antincendio interna				$\delta_{n6} = 0,9$	
Rete idrica antincendio interna e esterna				$\delta_{n7} = 1$	
Percorsi protetti di accesso				$\delta_{n8} = 0,9$	
Accessibilità ai mezzi di soccorso VV.F.				$\delta_{n9} = 0,9$	
Strutture in legno					
	NO				
Area della superficie esposta:	0	[m ²]		$Q_f = 0$	[MJ/m ²]
Velocità di carbonizzazione:	0	mm/min			
$Q_{f,d} = 235 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,56 = 105,44$ [MJ/m ²]					
Classe di riferimento per il livello di prestazione III = 15					
Classe minima per il livello di prestazione III = 0					

4.5 Gli uffici : D.M. 22 febbraio 2006

Vengono riportati gli articoli che hanno guidato la progettazione degli uffici, collocati negli ultimi 6 piani fino a una quota di 64 metri (altezza antincendio di riferimento).

Classificazione

Utilizzano un indice di affollamento pari a 0,1 persona per mq l'affollamento massimo del piano più restrittivo (660 mq di uffici compresi i corridoi) è uguale a 66 persone.

In relazione al numero di presenze gli uffici rientrano nella tipologia 1.

Caratteristiche costruttive

Le strutture e i sistemi di compartimentazione devono garantire requisiti al fuoco R e REI/EI 120

Tramite le tabelle presenti nel D.M. del 16 febbraio 2007 possono essere determinati gli spessori delle protezioni, nel caso di strutture in c.a., per ottenere la classe di resistenza desiderata.

Misure per l'evacuazione in caso di emergenza

Affollamento

Il massimo affollamento ipotizzabile e' fissato in:

- a) aree destinate alle attività lavorative: 0,1 pers/m² e comunque pari almeno al numero degli addetti effettivamente presenti incrementato del 20%;
- b) aree ove e' previsto l'accesso del pubblico: 0,4 pers/m²;

Capacità di deflusso

Al fine del dimensionamento delle uscite, le capacità di deflusso devono essere non superiori ai seguenti valori:

- c) 33 per locali con pavimento a quota al di sopra o al di sotto di 7,5 m rispetto al piano di riferimento.

Sistema di vie di uscita

Deve essere previsto un sistema organizzato di vie di uscita, dimensionato in base al massimo affollamento ipotizzabile ed alle capacità di deflusso stabilite. Il sistema di vie di uscita deve essere organizzato per il deflusso rapido ed ordinato degli occupanti all'esterno dell'edificio. Il percorso può comprendere corridoi, vani di accesso alle scale e di uscita all'esterno, scale, rampe e passaggi.

L'altezza dei percorsi deve essere non inferiore a 2 m.

Numero di uscite

Il numero di uscite dei singoli piani dell'edificio non deve essere inferiore a due, ubicate in posizione ragionevolmente contrapposta.

Larghezza delle vie di uscita

La larghezza utile delle vie di uscita deve essere multipla del modulo di uscita e non inferiore a due moduli. La larghezza totale delle uscite a ogni piano, espressa in numero di moduli, è determinata dal rapporto tra il massimo affollamento e la capacità di deflusso del piano.

Per gli uffici che occupano più di due piani fuori terra, la larghezza totale delle vie di uscita che immettono in luogo sicuro all'aperto deve essere calcolata sommando il massimo affollamento di due piani consecutivi, con riferimento a quelli aventi maggiore affollamento

Si calcola dunque la larghezza totale delle vie di uscita per gli uffici:

- massimo affollamento due piani 132 persona
- coefficiente di deflusso :33 persone per modulo (modulo=60)

Numero di moduli = 4

La norma stabilisce il numero di uscite minime e il loro dimensionamento in base all'affollamento del locale.

L'ambiente in esame ha un grado di affollamento superiore a 50 persone e dunque sono necessarie:

- numero di porte minime 2
- dimensione minima di una porta (120 cm= 2 moduli)

Per gli uffici del T.I.N.-Tin Building sono state dislocate due uscite di sicurezza come precedentemente evidenziato.

Ognuna di esse ha una dimensione pari a 120 cm per un totale di 4 moduli.

Lunghezza delle vie di uscita

La lunghezza massima del percorso di esodo è fissata in 30 m per raggiungere una scala protetta.

04.10
Lunghezza percorso di esodo e indicazione uscite di sicurezza



Lunghezza percorso max 25 m

Larghezza percorso min 1,2 m

Porte

Le porte delle uscite di sicurezza devono aprirsi nel senso dell'esodo a semplice spinta. I battenti delle porte, quando sono aperti, non devono ostruire

passaggi, corridoi e pianerottoli.

Qualora le porte di ingresso vengano utilizzate come uscite di sicurezza, possono anche essere di tipo girevole, se accanto è installata una porta apribile a spinta verso l'esterno.

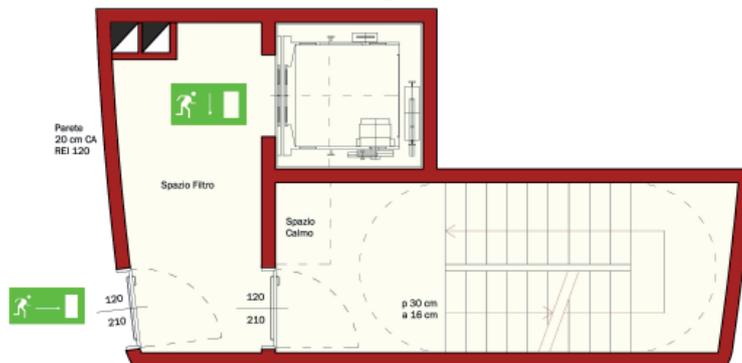
Scale

I vani scala, in funzione dell'altezza antincendi degli edifici, devono essere a prova di fumo o esterne: oltre 24 m.

Le rampe delle scale utilizzate per l'esodo devono essere rettilinee, non devono presentare restringimenti, devono avere non meno di tre gradini e non più di quindici. I gradini devono essere a pianta rettangolare,alzata e pedata costanti, rispettivamente non superiore a 17 cm e non inferiore a 30 cm.

Sono ammesse rampe non rettilinee a condizione che vi siano pianerottoli di riposo almeno ogni quindici gradini e che la pedata del gradino sia almeno 30 cm misurata a 40 cm dal montante centrale o dal parapetto interno.

Ad ogni piano ove hanno accesso persone con ridotte o impedito capacità motorie, ad eccezione del piano di riferimento, deve essere previsto almeno uno spazio calmo. Gli spazi calmi devono essere dimensionati in base al numero di utilizzatori previsto dalle normative vigenti. Le caratteristiche di resistenza



04.11
Scale protette e spazio antifumo

al fuoco degli elementi portanti e separanti dello spazio calmo devono essere almeno pari a quelle richieste per l'edificio.

Impianti di sollevamento

Gli impianti di sollevamento (ascensori e montacarichi) non devono essere utilizzati in caso d'incendio ad eccezione degli ascensori antincendio e di soccorso.

Gli ascensori e le scale mobili non vanno computati ai fini del dimensionamento delle vie di uscita. Occorre prevedere, in caso di incendio, un sistema automatico che comandi il riporto degli ascensori al piano di riferimento.

Laddove sono previste scale di tipo protetto e/o a prova di fumo, i vani corsa degli impianti di sollevamento devono essere almeno di tipo protetto con caratteristiche REI/EI in funzione dell'altezza dell'edificio.

Negli edifici aventi altezza antincendio superiore a 32 metri devono essere previsti ascensori antincendio ubicati in modo tale da poter raggiungere ogni locale dei singoli piani.

Negli edifici aventi altezza antincendi superiore a 54 metri, in aggiunta agli ascensori antincendio, devono essere previsti ascensori di soccorso ubicati in modo tale da poter raggiungere ogni locale dei singoli piani.

04.12
Ascensore antincendio
e ascensore di soc-
corso



Archivi e depositi

È consentito destinare ad archivi e depositi di materiali combustibili locali di piano di superficie non eccedente 15 m², anche privi di aerazione naturale, alle seguenti condizioni:

gli elementi di separazione e le porte di accesso, munite di dispositivo di auto-chiusura, devono possedere caratteristiche di resistenza al fuoco almeno EI/ EI 30;

il locale deve essere protetto con rivelatori di incendio collegati all'impianto di segnalazione e allarme;

all'esterno del locale, in prossimità della porta di accesso, deve essere posizionato almeno un estintore portatile avente carica minima pari a 6 kg e capacità estinguente non inferiore a 21A 89B;

il carico di incendio deve essere limitato a 30 kg/m².

Impianti elettrici

Gli impianti elettrici devono possedere caratteristiche strutturali, tensione di alimentazione e possibilità di intervento individuale nel piano della gestione delle emergenze tali da non costituire pericolo durante le operazioni di spegnimento.

Non devono costituire causa primaria di incendio o di esplosione.

Impianti antincendi:

Gli impianti di sicurezza da disporre sono dunque:

- illuminazione
- allarme
- rivelazione
- impianti di estinzione
- ascensori antincendio
- ascensori di soccorso
- impianto di diffusione sonora.

L'impianto di illuminazione di sicurezza deve assicurare, lungo le vie di uscita, un livello di illuminazione non inferiore a 5 lux ad 1 m di altezza dal piano di calpestio.

Mezzi ed impianti di estinzione degli incendi

Gli uffici devono essere dotati di estintori portatili conformi alla normativa vigente.

Impianti di rilevazione, segnalazione ed allarme

Negli uffici deve essere prevista in tutte le aree di:

- segnalatori di allarme incendio del tipo a pulsante manuale opportunamente distribuiti ed ubicati in ogni caso, in prossimità delle uscite;
- impianto fisso di rivelazione e segnalazione automatica degli incendi in grado di rilevare e segnalare a distanza un principio d'incendio.

4.5 L'antincendio negli edifici a doppia pelle

La pelle del T.I.N.-Tin Building è composta da una doppia pelle vetrata.

Se dal punto di vista termico (guadagni invernali) e architettonico (sfruttamento della luce naturale e aspetto estetico) la scelta ha portato i frutti desiderati dal punto di vista del comportamento in caso di incendio potrebbe risultare problematica.

Da un esame teorico sono deducibili i seguenti problemi riscontrabili:

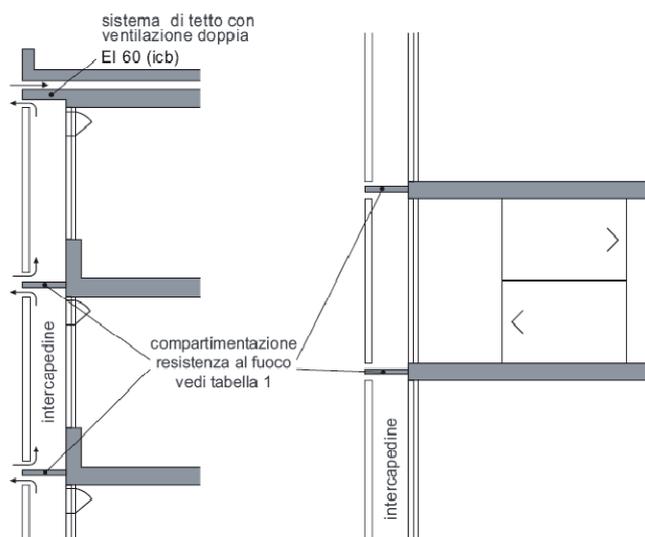
- dall'esterno è praticamente impossibile percepire l'incendio e le persone in pericolo;
- i pompieri non possono intervenire attraverso la facciata (per il soccorso e l'intervento), in particolare durante la fase iniziale dell'incendio;
- la distruzione termica della facciata esterna avviene molto tardi o non avviene (secondo il tipo di costruzione e di vetro);
- la caduta di parti della costruzioni quali vetro, profilati metallici ecc. può mettere in pericolo le squadre di intervento, in particolare in caso di incendio completamente sviluppato;
- nelle facciate a doppia pelle le cui intercapedini (zone tampone) non sono compartimentate da sbarramenti antincendio adeguati resistenti al fuoco, gli incendi e i gas di combustione possono propagarsi liberamente, cortocircuitando e rendendo inefficaci i compartimenti tagliafuoco orizzontali (separazioni dei piani) e verticali (separazioni sullo stesso piano), con conseguente rapida propagazione degli incendi ai piani superiori e ai compartimenti tagliafuoco adiacenti;
- i materiali combustibili che si trovano nelle intercapedini (elementi delle pareti, tende di stoffa ecc.) contribuiscono all'intensificazione e alla rapida propagazione dell'incendio.

Devono allora essere prese alcune precauzioni che limitino gli aspetti negativi legati a questa scelta tecnologica:

- Le facciate interne ed esterne devono sempre essere realizzate in materiali da costruzione incombustibili.
- Nelle intercapedini non è ammesso utilizzare dispositivi di protezione solare in materiale combustibile (ad es. tende con tessuto grigliato).

La facciata da noi scelta è con intercapedine compartimentata. La compartimentazione resistente al fuoco è realizzata tramite un carter in alluminio e una

lastra di cartongesso in modo da bloccare la fiamma.



04.13
 Tipologia facciata doppia pelle applicata
 Fonte Nota esplicativa antincendio 1004 Edifici a doppia pelle, Associazione degli istituti cantonali di assicurazione antincendio

Numero di piani	Formazione dei compartimenti tagliafuoco	
	Piani/locali Compartimentazione orizzontale e verticale	Vano scale Compartimentazione verticale
Edifici alti	EI 90 (icb)	EI 90 (icb)

Inoltre la doppia pelle scelta è composta da box windows, quindi non vi è passaggio di fumo tra una stanza e un'altra.

Nei piani uffici, dove la doppia pelle diventa un vero e proprio spazio buffer a tripla altezza, si è prevista l'apertura dello spazio buffer in caso di incendio in modo tale che si possa sfruttare l'effetto camino per l'estrazione del fumo.

Inoltre le finestre interne vengono chiuse automaticamente in caso di incendio in modo tale da impedire che il fumo si propaghi agli altri piani che si affacciano sullo stesso buffer.

Altre misure aggiuntive prese sono:

- un sistema automatico di allarme nel caso di incendio
- attivazione automatica del sistema di estrazione fumi

4.6 Conclusioni

Le competenze maturate con lo studio del progetto antincendio portano ad asserire come assuma sempre più importanza il lavoro interdisciplinare del team di progettazione per ogni analisi specifica, ed in particolare quello attinente alla prevenzione e protezione dai rischi del fuoco al fine di definire ed individuare la migliore e comunque strategia da perseguire.

Oggi l'approccio alla progettazione antincendio deve necessariamente essere di tipo ingegneristico, e tutte le misure e i sistemi di protezione, adottati nel progetto ed inseriti nella costruzione, devono essere adeguatamente progettati, realizzati e mantenuti secondo quanto prescritto dalle specifiche normative tecniche e dalle indicazioni fornite dal produttore al fine di garantirne le prestazioni nel tempo.

Evidenti sono purtroppo i limiti concettuali imposti dalla normativa antincendio italiana che non si è ancora sviluppata in direzione degli edifici multifunzione ed è particolarmente restrittiva nel caso di edifici alti.

CAPITOLO 05

- Il Progetto Strutturale -

5.1 Premessa

Data la complessità degli edifici a torre, sin dalle prime fasi della concezione, si è tenuto conto della collaborazione che dovrebbe esserci tra architetto, strutturista e impiantista per la definizione della forma strutturale più adeguata a soddisfare criteri di immagine, funzionalità, attrezzabilità impiantistica e di utilizzo.

La progettazione di un edificio a torre, per giunta con diverse destinazioni d'uso che necessitano di diversi requisiti, comporta delle particolari attenzioni nei riguardi dei materiali impiegati per la realizzazione degli elementi resistenti e delle azioni che potrebbero verificarsi nel corso della vita utile dell'edificio.

La progettazione strutturale di un edificio alto necessita, infatti, di operazioni che presentano difficoltà dipendenti non linearmente dall'altezza totale e dal numero di piani: progettare e costruire un edificio alto 70 m non equivale a progettare ed eseguire 2 edifici alti 35 m, poiché al crescere dell'altezza crescono esponenzialmente i problemi legati alla deformabilità laterale dell'edificio.

Il processo di calcolo strutturale di un edificio alto segue generalmente una ben definita procedura iterativa.

Le sezioni di predimensionamento degli elementi resistenti sono solitamente assegnate sulla base dei soli carichi verticali, incrementati arbitrariamente per computare gli effetti di azioni orizzontali.

La sezione delle colonne viene definita valutando la sommatoria delle aree di influenza di piano, e operando delle riduzioni che considerino la scarsa probabilità che tutti i piani risultino contemporaneamente caricati dall'intera percentuale di sovraccarico di esercizio.

Segue poi un controllo dell'inflessione laterale e delle forze all'interno dei principali elementi.

Seguirà poi una rigorosa analisi conclusiva, da effettuarsi utilizzando un modello numerico che consenta di operare un controllo finale sugli sforzi e sulle deformazioni.

In questa fase dovranno essere computati anche effetti di instabilità locale, azioni generate da gradienti termici e cedimenti differenziali dovuti a viscosità e ritiro del calcestruzzo.

Infine viene realizzata un'analisi dinamica per la verifica nei confronti dell'azione sismica e per la valutazione del comfort sotto l'azione del vento.

Questo processo è lo stesso che viene utilizzato nei grandi studi di progettazione: dal generale al particolare, dal metodo manuale al più raffinato modello a elementi finiti.

In questo modo si ha il controllo continuo e completo di cosa si sta producendo senza essere in balia completa dei risultati ottenuti tramite il calcolatore.

Verranno seguite le impostazioni dettate dagli Eurocodici, seguendo, quando in nostro possesso, le direttive degli allegati nazionali belga.

5.2 Normativa di riferimento

UNI EN 1991-1-1:2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici

UNI EN 1991-1-3:2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-3: Azioni in generale - Carichi da neve

UNI EN 1991-1-4:2010 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 1-4: Azioni in generale - Azioni del vento

UNI EN 1992-1:2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo

UNI EN 1998:2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

5.3 Concezione strutturale

Sebbene l'edificio sia classificabile come edificio alto, la sua estrema rigidezza data dai tre nuclei controvento e l'altezza non eccessiva lo portano a un comportamento intermedio tra edificio snello e edificio comune.

Lo scopo delle scelte relative alla maglia strutturale è quello di minimizzare l'intrusione garantendo luci libere e consentendo il passaggio di complessi ed estesi impianti di ventilazione, condizionamento, fornitura dell'acqua calda sanitaria, fornitura elettrica, smaltimento dei rifiuti e trasporto verticale.

Analizzando gli obiettivi e le limitazioni del lotto si è optato per una struttura completamente in c.a., composta da solai gettati in opera, pilastri e nuclei di controvento.

La maglia strutturale è simmetrica rispetto l'asse nord-sud (l'asse di simmetria taglia a metà il nucleo centrale).

Se si volesse ricondurre alle tipologie strutturali degli edifici a torre si potrebbe definire come una struttura mista in quanto coesistono al suo interno i nuclei controvento, i mini setti (primi 9 piani) e i pilastri.

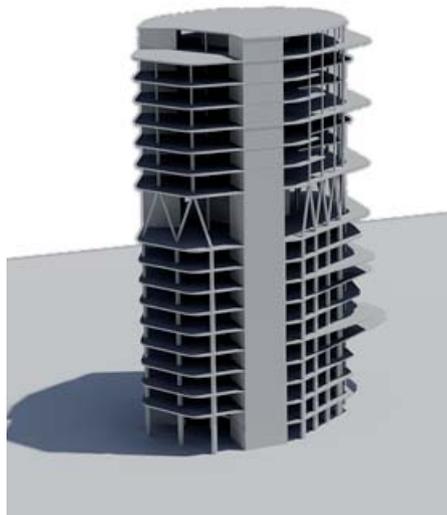
Al 10 piano vi è un cambio di struttura: dei pilastri inclinati di 23° rispetto alla

verticale congiungono i pilastri dei piani uffici a quelli del piano albergo.

I pilastri del piano uffici sono posizionati a media distanza tra due pilastri consecutivi.

Volendo riassumere le caratteristiche, la struttura del T.I.N.-Tin Building è costituita da:

- 18 piani fuori terra
- All'incirca 1000 mq di superficie per piano
- Altezza interna solaio solaio media 3,30 m
- 3 nuclei di controvento
- 1 piano tripla altezza



05.01
Immagine 3d struttura completa vista nord - est

con pilastri inclinati

Nonostante la stravaganza della forma di pianta si è cercato, e ottenuto, una maglia strutturale regolare e simmetrica.

I pilastri si dispongono perimetralmente in modo da formare una sorta di tubo resistente irrigidito ulteriormente dai tre nuclei di controvento (determinati da esigenze relative alle vie di fuga per l'antincendio).

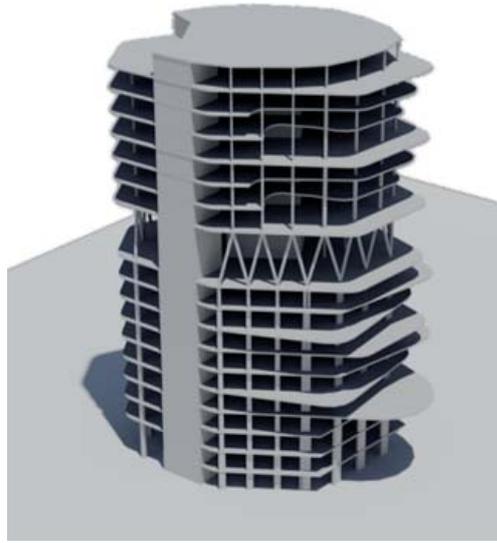
Per esigenze per lo più architettoniche si è scelto di avere pilastri rettangolari nell'edificio hotel (eccetto i 4 pilastri a nord che sono circolari) e circolari nell'edificio uffici.

Le parti aggettanti, determinate da esigenze architettoniche ed energetiche, sono sicuramente le parti più critiche della struttura e quindi verrà studiata nel dettaglio la soletta con superficie aggettante maggiore e caricata maggiormente.

Si applica la semplificazione che tutti i carichi orizzontali saranno gestiti dai nuclei di controvento: questa semplificazione è sicuramente a favore di sicurezza in quanto soprattutto i primi dieci piani a sud hanno dei veri propri setti che sicuramente contribuiranno.

Inoltre la forma volutamente arrotondata a nord-ovest serve per attutire l'impatto del vento sulla faccia principale e eliminare l'effetto d'angolo che genera turbolenze.

La notevole rigidezza del sistema setti, nuclei, solai in c.a. ci porta a pensare che soprattutto i risultati dell'analisi dinamica saranno molto più simili a quelli di un edificio normale che a quelli di un edificio alto.



05.02

Immagine 3d struttura completa vista sud - ovest

5.4 Analisi dei carichi

Si procede all'analisi dei carichi della struttura suddividendo in carichi permanenti e variabili secondo UNI ENV 1991.

Queste grandezze costituiranno la base per l'elaborazione delle principali combinazioni di carico agli stati limite di esercizi ed agli stati limite ultimi.

5.4.1 Carichi permanenti

Il peso proprio degli elementi costruttivi viene classificato come un'azione fissa permanente. Nella maggior parte dei casi viene rappresentato da un singolo valore caratteristico e viene calcolato sulla base delle dimensioni nominali e dei valori caratteristici dei pesi per unità di volume.

Il peso proprio degli elementi costruttivi include gli elementi strutturali e non strutturali compresi gli impianti fissi così come il peso del terreno.

Si riportano qui di seguito i pesi propri delle soluzioni tecnologiche adottate nell'edificio:

Tabella 05.01
Carichi permanenti soluzioni scelte

*l'unità di misura della densità è kg forza su m²

Partizione orizzontale Hotel			
Strato	spessore [m]	densità [kg/mc]	Kg/mq
piastrelle + collante	0,015	850	12,75
massetto alleggerito	0,08	1300	104
materassino acustico	0,008	60	0,48
Struttura	0,3	2500	750
isolante controsoffitto	0,05	20	1
doppia lastra cartongesso	0,02	1110	22,2
impianti			10
TOT Kg/mq			900
TOT KN/mq			9

Partizione orizzontale Uffici			
Strato	spessore [m]	densità [kg/mc]	Kg/mq
pavimento rialzato	0,025	2200	55
isolamento	0,02	165	3,3
Struttura	0,3	2500	750
controsoffitto acustico			1,4
impianti			10
TOT Kg/mq			820
TOT KN/mq			8

Chiusura inferiore piazza			
Strato	spessore [m]	densità [kg/mc]	Kg/mq
piastrelle + collante	0,015	850	12,75
isolante	0,1	165	16,5
Struttura	0,3	2500	750
isolante controsoffitto	0,05	20	1
lastra cartongesso	0,01	1110	11,1
impianti			10
TOT Kg/mq			801
TOT KN/mq			8

Tabella 05.01
Carichi permanenti soluzioni scelte

Chiusura superiore piazza			
Strato	spessore [m]	densità [kg/mc]	Kg/mq
pavimento rialzato	0,025	2200	55
Struttura	0,3	2500	750
isolante	0,12	20	2,4
doppia lastra cartongesso	0,02	1200	24
impianti			10
TOT Kg/mq			841
TOT KN/mq			8

Copertura			
Strato	spessore [m]	densità [kg/mc]	Kg/mq
terreno	0,08	1230	98,4
strato drenaggio			17
isolante	0,12	165	19,8
Struttura	0,3	2500	750
impianti			10
TOT Kg/mq			797
TOT KN/mq			8

5.4.2 Sovraccarichi

I sovraccarichi sugli edifici sono quelli generati dalla occupazione.

I valori indicati nella presente sezione includono:

- L'uso normale da parte delle persone
- I mobili
- I veicoli
- Eventi rari prevedibili

I sovraccarichi specificati nella presente parte sono modellati come carichi uniformemente distribuiti.

Per la determinazione dei sovraccarichi, i solai e le coperture negli edifici essi

vengono suddivisi in categorie in relazione al loro uso.

I valori caratteristici dei sovraccarichi della torre in base alla destinazione d'uso sono stati estrapolati dal EC1:

- Uffici 3 kN/mq
- Copertura calpestabile per manutenzione 0,8 kN/mq
- Hotel 2 kN/mq
- Hall 4 kN/mq
- Piazza 3 kN/mq
- Balconi 4 kN/mq

Le partizioni verticali interne ed esterne vengono interpretate come carico variabile e trattate alla stregua dei sovraccarichi:

Partizioni interne 0,8 kN/mq

In considerazione dell'onerosità di calcolo, si è deciso di studiare all'interno di questo lavoro di tesi la sola distribuzione uniforme dei sovraccarichi, senza analizzare le diverse combinazioni possibili sullo sviluppo verticale dell'edificio.

5.4.3 Neve

Il carico provocato dalla neve sulle coperture viene valutato mediante la seguente espressione

$$q_s = \mu_i q_{sk} C_E C_t$$

Dove:

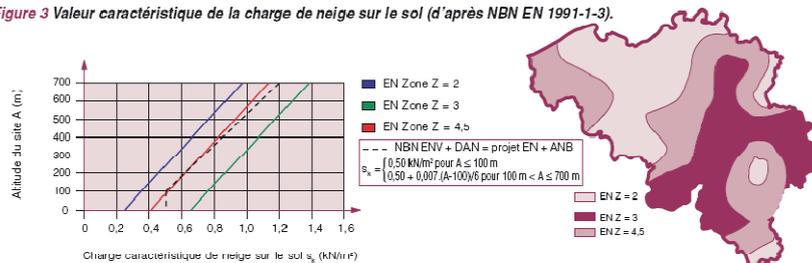
q_s è il carico da neve sulla copertura

μ_i è il coefficiente di forma della copertura, pari a 0,8 per le coperture piane

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo [KN/mq] fornito per un periodo di ritorno di 50 anni, 0.5 KN/mq nel caso di bruxelles

05.03
Determinazione q_{sk}
tratto dall'annesso nazionale EC1 belgio

Figure 3 Valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol (d'après NBN EN 1991-1-3).



C_E è il coefficiente di esposizione, pari a 1 per aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi

C_t è il coefficiente termico, utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura ed è quindi pari a 1 per una copertura ben isolata. Il valore da noi utilizzato è 0,8.

Il carico da neve sulla copertura è quindi uguale a 0,32 KN/mq.

5.4.4 Azione del vento

(1) $v_{ref,0} = 26,2 \text{ m/s}$

(2) $c_{ALT} = 1,0$

Direction du vent	0° N	22,5°	37,75°	45°	56,25°	90° E	120°	150°	180° S	270° W
c_{DIR}	1,0	1,0	0,949	0,894	0,837	0,894	0,894	0,949	1,0	1,0

Mois	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	dec
c_{TEM}	0,775	0,775	0,742	0,707	0,671	0,671	0,671	0,671	0,707	0,742	0,806	0,775

NOTE : c_{TEM} correspond à une durée d'exécution d'un mois.

$K = 0,2 \quad n = 0,5$

q_{ref} = pressione dinamica media di riferimento

$$q_{ref} = (p/2) * v_{ref}^2 = 429.025 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

c_e = coefficiente di esposizione che tiene in conto il terreno e l'altezza al di su del livello del suolo z

$$c_e(z) = c_r^2(z) c_t^2(z) [1 + 2g_l(z)]$$

z = altezza di riferimento definita come adattata al coefficiente di pressione corrispondente

c_d = coefficiente dinamico prende in conto la correlazione e amplificazione dinamica

p = massa volumica dell'aria = 1,25 kg/m³

Velocità di riferimento del vento

$$V_{ref} = c_{DIR} c_{TEM} c_{ALT} v_{ref,0} = 26,2 \text{ m/s}$$

è la velocità di riferimento del vento su 10 minuti a 10 metri sopra al suolo di un terreno di categoria II con una probabilità annuale di superare di 0,02

c_{DIR} coefficiente di direzione preso uguale a 1 salvo specifiche nell'annesso nazionale

c_{TEM} il coefficiente per la costruzione temporanea preso uguale a 1 eccetto specificazioni contrarie nell'annesso A

c_{ALT} coefficiente di altitudine

Velocità media del vento

$$v_m(z) = c_r(z) c_t(z) v_{ref} = 17,43 \text{ m/s}$$

C_r coefficiente di rugosità

$$C_r(z) = k_T \ln(z/z_0) \text{ per } z_{min} < z < 200\text{m}$$

$$C_r(z) = c_r(z_{min}) \text{ per } z < z_{min} = 0,66$$

c_t coefficiente di topografia copre la variabilità di velocità media del vento nel posto dove è situata la costruzione

Bruxelles z = 13 m s l d m

K_t coefficiente del terreno

Z_0 parametro di rugosità del terreno

Z_{min} altezza minima

Tabella 05.02
Valori determinazio-
ne azione del vento
dall'annesso nazionale
EC1 belgio

Tabella 05.03
Determinazione categoria terreno e valori per calcolo carico vento

Catégories de terrain	k_T	$Z_0[m]$	$Z_{min}[m]$	ϵ
I Haute mer, lacs offrant au moins 5 km de longueur au vent et régions lisses et plates, sans obstacles	0,17	0,01	2	[0,13]
II Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres	0,19	0,05	4	[0,26]
III Zones industrielles ou suburbaines et forêts permanentes	0,22	0,3	8	[0,37]
IV Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m	0,24	1	16	[0,46]

Iv intensità di turbolenza

$$I_v(z) = k / (c_0(z) \ln(z/z_0)) \text{ per } z_{min} < z < z_{max}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \text{ per } z < z_{min}$$

Pressione dinamica di punta

$$Q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] 0,5 \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b$$

Pressione dinamica di riferimento del vento q_b

$$q_b = 0,5 \rho v_b^2$$

Coefficiente d'esposizione

Grafico 05.01
Determinazione C_e

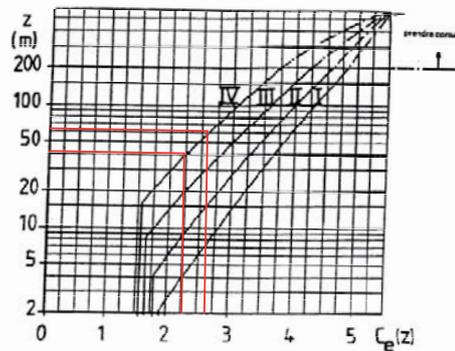


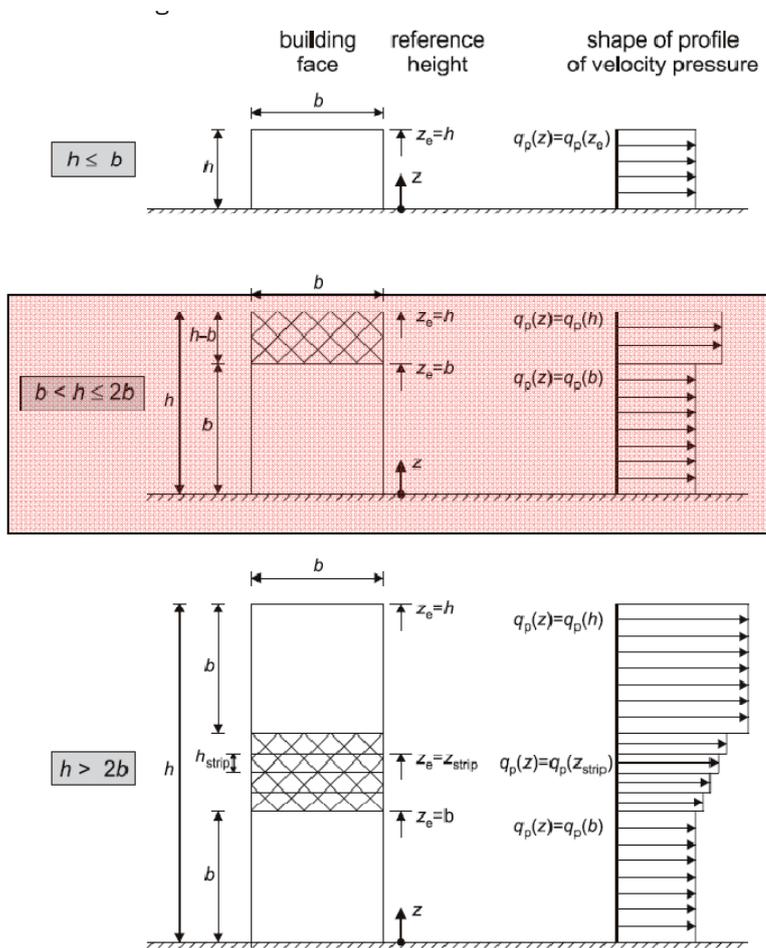
Tabella 05.04
Tabella riassuntiva valori vento

Riassumendo		
velocità di riferimento del vento v_b	26,20	m/s
altezza di riferimento z_{e1}	44,00	m/s
altezza di riferimento z_{e2}	69,00	m/s
categoria di terreno	IV	-
pressione dinamica di punta caratteristica q_{p1}	274,30	Kg/ms
pressione dinamica di punta caratteristica q_{p2}	265,34	Kg/ms
intensità di turbolenza I_{v1}	0,063	
intensità di turbolenza I_{v2}	0,057	
velocità media del vento v_m	17,43	m/s
coefficiente di orografia $c_o(z)$	1,00	-
coefficiente di rugosità $c_r(z)$	0,67	-

Determinati tutti i dati relativi alla forza del vento relativa alla zona di progetto, si affronta il tema della pressione esercitata da quest'ultimo sul rivestimento. Sono state applicate le seguenti condizioni:

- Per semplificare il comportamento del T.I.N.-Tin Building la sua forma è stata approssimata a un rettangolo (che circonda la forma reale). Questa scelta è sicuramente a favore della sicurezza in quanto si aumenta la superficie delle facciate esposte al vento e non si tiene conto dei miglioramenti dovuti alla diminuzione dell'effetto d'angolo.
- Dato il fatto che l'involucro esterno è una doppia pelle si è posta la pressione interna uguale a zero.
- Sono stati svolti i calcoli ipotizzando sia il vento sulla facciata principale, sia su quella secondaria che la combinazione delle due.

Per determinare la pressione dinamica di punta caratteristica e i coefficienti di pressione esterna si sono utilizzati i seguenti grafici tratti dall'annesso nazionale belga all'EC1.



05.04
Determinazione comportamento q_p

NOTE Il convient de supposer que la pression dynamique est uniforme sur chaque bande horizontale considérée.

Légende :

building face	façade du bâtiment
reference height	hauteur de référence
shape of profile of velocity pressure	forme du profil de la pression dynamique

05.05
Determinazione coefficienti pressione esterna

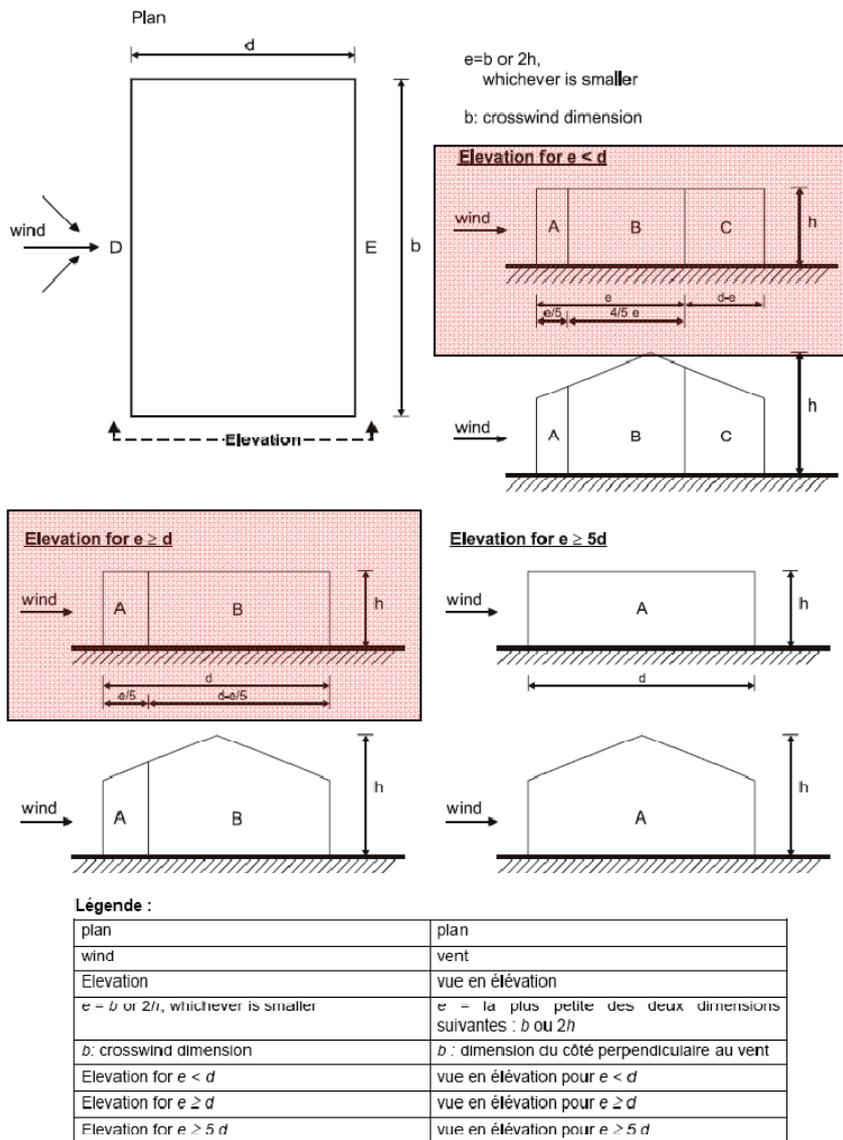


Figure 7.5 — Légende relative aux murs verticaux

NOTE 1 Les valeurs de $c_{pe,10}$ et $c_{pe,1}$ peuvent être indiquées dans l'Annexe Nationale. Les valeurs recommandées sont données dans le tableau 7.1, selon le rapport h/d . Une interpolation linéaire peut être

Tableau 7.1 — Valeurs recommandées des coefficients de pression extérieure pour les murs verticaux des bâtiments à plan rectangulaire

Zone	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
h/d										
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7		
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5		
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3		

Metodo di calcolo

È possibile utilizzare il metodo semplificato negli edifici di altezza inferiore ai 200 m a condizione che c_d sia inferiore a 1,2 (vedi grafico pagina seguente)

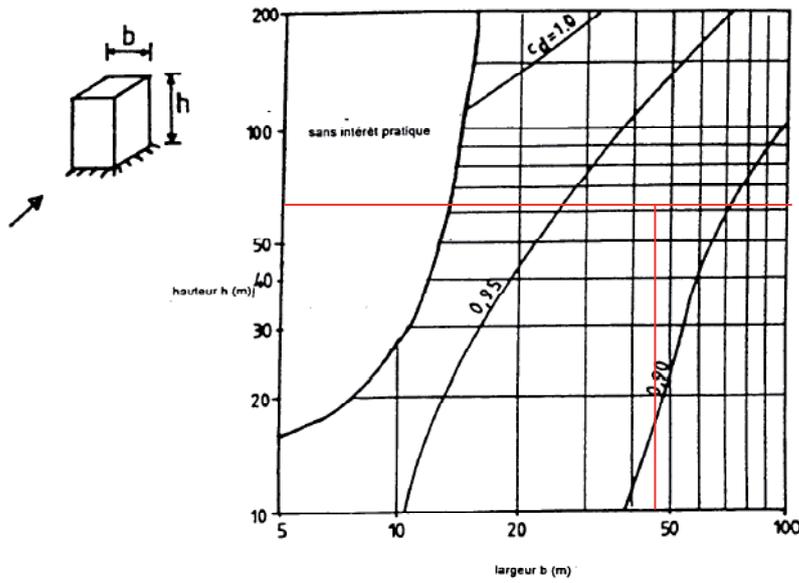


Grafico 05.02
Determinazione c_d

NOTE 1) : Valeurs des paramètres utilisés dans la figure 9.1 :

- (i) $v_{ref} = 28 \text{ m/s}$
 - (ii) terrain de catégorie I
 - (iii) $\delta_s = 0,045 n_1 + 0,05 \geq 0,10$
 - (iv) $\delta_a = 0$
- Voir l'annexe C.4.5 pour les définitions correspondantes.

NOTE 2) : Les critères de cet abaque ne concernent pas les conditions de confort en service. Si celles-ci sont recherchées, il convient d'avoir recours à des méthodes plus détaillées.

$$C_d = 0,90$$

Pressione esterna

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$$

c_{pe} = coefficiente di pressione esterna

Forza Globale

$$F_w = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_d \cdot c_f \cdot A_{ref}$$

C_f coefficiente di forza

A_{ref} = area di riferimento

Risultati nel caso del T.I.N.-Tin Building

Dato che l'edificio è stato considerato inscritto in un parallelepipedo (44x30x69 m), si procede dunque come da EC1 per la definizione delle distribuzioni di pressione.

Viene inserita la tabella completa per il vento rispetto alla faccia principale mentre dell'ipotesi del vento sulla facciata minore verranno riportati unicamente i risultati

Vento su facciata secondaria				
	h [m]	Area influenza [mq]	Fw(0,8) [kN]	Fw(-0,5) [kN]
Punto 1	3,3	148,5	115	-72
Punto 2	6,6	99	76	-48
Punto 3	9,9	99	76	-48
Punto 4	13,2	99	76	-48
Punto 5	16,5	99	76	76
Punto 6	19,8	99	76	76
Punto 7	23,1	99	76	76
Punto 8	26,4	99	76	76
Punto 9	29,7	99	76	76
Punto 10	33	169,5	131	131
Punto 11	41	169,5	131	131
Punto 12	44,3	99	88	88
Punto 13	47,6	99	88	88
Punto 14	50,9	99	88	88
Punto 15	54,2	99	88	88
Punto 16	57,5	99	88	88
Punto 17	60,8	99	88	88
Punto 18	64,1	49,5	44	44

Tabella 05.07
Determinazione forza del vento agente ai vari piani nella combinazione con vento // asse x

Le forze qui applicate potrebbero essere studiate tramite un semplice modello (asta incastrata alla base con applicate le masse e le forze) o tramite software numerici (come Straus).

5.4.5 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi

Tipi di costruzione	Vita nominale Vn (in anni)
Opere provvisorie – opere provvisionali – strutture in fase costruttiva	< 10
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	>50
Grandi opere, ponti opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	>100
Vita nominale (anni)	>50

Tabella 05.08
Determinazione vita nominale edificio

di opere è desunta dalla seguente tabella della normativa:

5.4.6 Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una

interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I : Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II : Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV : Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

La classe d'intervento, nel caso del T.I.N-Tin Building, è la num. II

5.4.7 Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale VN per il coefficiente d'uso CU:

$$V_R = V_N C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tabella.

Tabella 05.09
Determinazione coefficiente C_U

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente C_U	0,7	1	1,5	2

5.5 Predimensionamenti e dimensionamenti

Tutti i predimensionamenti sono stati effettuati in combinazione stato limite ultimo e applicando i carichi sopra esposti

5.5.1 Solaio a Piastra bidirezionale

La nostra scelta è caduta sul solaio a piastra bidirezionale in quanto ci garantiva grandi luci libere, possibilità di aggetti consistenti e spessori ridotti.

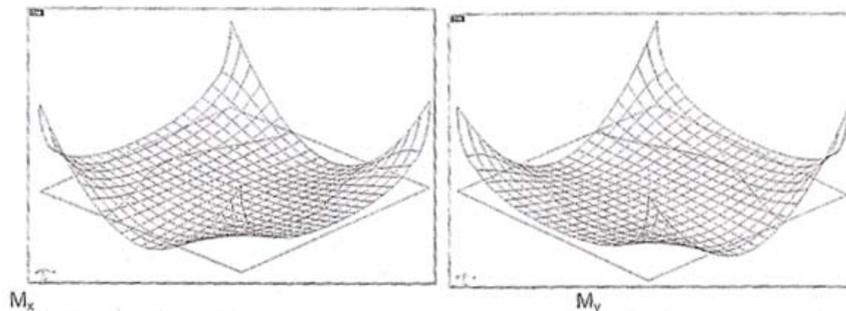
Parallelamente questo tipo di solaio risulta essere molto pesante.

Si è analizzata l'ipotesi di usare un solaio alleggerito, che a parità di spessore e luce ci avrebbe permesso pesi inferiori e quindi di conseguenza pilastri più snelli e fondazioni meno caricate: questa soluzione però non ben si conciliava con la scelta impiantistica effettuata per i piani con funzione ad uffici.

Dunque, tenendo conto dell'altezza contenuta della torre, si è scelto di continuare sulla scelta a piastra piena bidirezionale.

L'aspetto centrale del funzionamento delle piastre su pilastri è la concentrazione di sforzi che si verifica in corrispondenza degli appoggi: momenti flettenti negativi in corrispondenza degli appoggi mentre in campata, nella zona centrale della piastra, vi sono momenti positivi.

Sempre in corrispondenza degli appoggi vi sono elevate sollecitazioni di taglio poichè in queste zone vengono trasferiti i carichi dell'impalcato ai pilastri.



05.04
Sollecitazioni piastra
su colonne

Il predimensionamento dello spessore della piastra è stato effettuato tramite tre diversi metodi presenti sulla letteratura inerenti i calcoli strutturali.

I risultati verranno in seguito verificati in modo accurato.

Si prende in esame una piastra di 9 m x 4 m con pilastri sugli angoli.

1) Condizione di freccia

$$q = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{l}{h} = (28 + 4k - 1) \left(1,4 - 0,07k + \frac{0,45k - 3,7}{100} q \right)$$

k = (0 se articolato, 1 se incastrato)

2) Metodo delle luci

$$h = l/34$$

3) Metodo tramiote formula iterativa

$$h = 0,018l(25h + q)^{\frac{1}{3}}$$

Risultati:

Si sono analizzate quindi due ipotesi:

Tabella 05.10
Risultati predimensionamento piastra

	Metodo 1	Metodo 2	Metodo 3	Media
[cm]	33	26	39	33

- $h = 35$ cm gli spostamenti erano talmente irrilevanti (anche nel caso di sezione fessurata) che si è deciso di ottimizzare ulteriormente lo spessore
- $h = 30$ cm: tutti i calcoli esposti nella presente tesi sono quelli relativi a questo spessore

5.5.2 Pilastri

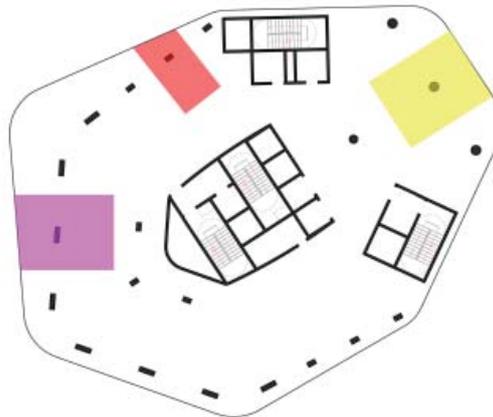
Il predimensionamento dei pilastri è stato effettuato tramite una discesa dei carichi tenendo conto unicamente dello sforzo assiale sui pilastri.

L'hp è quindi che siano soggetti solo a compressione.

Data la maglia non omogenea si è deciso di analizzare 3 pilastri su cui insistono tre aree di influenza di dimensioni differenti:

- 1) 26 mq : pilastri perimetrali ad est e ovest
- 2) 47 mq : pilastri circolari a nord
- 3) 40 mq : pilastri a sud che devono sostenere i balconi

05.05
Determinazione aree di influenza pilastri in esame



Sono stati utilizzati dei coefficienti di diminuzione del sovraccarico che permettono di valutare la non contemporaneità di tutti i sovraccarichi (EC2) e quindi di snellire la struttura.

Il c.a. 60/75 è stato scelto per le sue elevate prestazioni che permettono di mantenere una struttura piuttosto snella rispetto a quello che si avrebbe con un c.a. più consueto.

Per ciascun pilastro sono state effettuate tre iterazioni modo tale da ottenere la sezione minima di c.a.

Il foglio excel utilizzato è presentato a titolo dimostrativo negli allegati al capitolo: qui verranno riportati unicamente i risultati scelti.

Per non appesantire inutilmente la struttura e garantire una costruibilità della struttura si è deciso di cambiare sezione dei pilastro ogni tot piani: si è mantenuta per la medesima funzione la medesima dimensione di pilastro (anche per semplificare la disposizione architettonica degli interni).

Nelle tabelle sono inoltre presenti le superfici (min e max) di ferri longitudinali calcolate tenendo conto di tre limiti differenti:

- Limite meccanico
- Limite geometrico
- Limite tecnologico

$$A_{s,min} = (0,15 N_{sd})/f_{yd}$$

$$A_{s,min} = 0,002 A_c$$

$$A_{s,max} = 0,08 A_c$$

Pilastro circolare con area di influenza uguale a 40 mq	As min [cm ²]	As min [cm ²]	As max [cm ²]	
P0	45	28	13	509
P1	40	23	10	402
P2	40	22	10	402
P3	40	20	10	402
P4	35	19	8	308
P5	35	17	8	308
P6	35	16	8	308
P7	35	16	8	308
P8	35	15	8	308
P9	35	14	8	308
P10	30	12	6	226
P11	25	10	4	157
P12	25	8	4	157
P13	25	7	4	157
P14	25	6	4	157
P15	25	4	4	157
P16	25	3	4	157
P17	20	2	3	101

Pilastro rettangolare (40 cm * X cm) e poi circolare (dopo piano 10) con area di influenza uguale a 26 mq	As min [cm ²]	As min [cm ²]	As max [cm ²]	
P0	90	17	7	288
P1	80	14	6	256
P2	80	13	6	256
P3	80	12	6	256
P4	65	11	5	208
P5	65	10	5	208
P6	65	10	5	208
P7	65	10	5	208
P8	65	9	5	208
P9	65	7	5	208
P10	40	6	10	402
P11	35	5	8	308
P12	35	4	8	308
P13	35	3	8	308
P14	35	3	8	308
P15	35	2	8	308
P16	35	2	8	308
P17	20	1	3	101

Tabella 05.11
Risultati dimensionamento pilastri e A_s

Tabella 05.11
Risultati dimensionamento pilastri e A_s

Pilastro rettangolare (40 cm * X cm) e poi circolare (dopo piano 10) con area di influenza uguale a 47 mq	As min [cm ²]	As min [cm ²]	As max [cm ²]	
P0	145	30	12	464
P1	125	25	10	400
P2	125	23	10	400
P3	125	22	10	400
P4	110	20	9	352
P5	90	19	7	288
P6	90	17	7	288
P7	90	17	7	288
P8	90	16	7	288
P9	90	14	7	288
P10	50	13	16	628
P11	45	10	13	509
P12	45	9	13	509
P13	45	7	13	509
P14	45	6	13	509
P15	45	5	13	509
P16	45	3	13	509
P17	20	2	3	101

A compressione sono stati dimensionati anche i pilastri del piano piazza che però, essendo inclinati, sono fortemente presso inflessi, quindi la semplificazione a compressione è troppo grossolana.

A partire dal raggio trovato tramite la semplice compressione si è dimensionato l'acciaio tramite il software VcaSlu.

I valori di M e N sono quelli estrapolati dalla discesa dei carichi e dal calcolo manuale.

05.06
Dimensionamento pilastro inclinato P10

Titolo: Pilastro inclinato

Sezione circolare cava

- Raggio esterno: 30 [cm]
- Raggio interno: 0 [cm]
- N° barre uguali: 10
- Diametro barre: 1,2 [cm]
- Copriferro (baric.): 3,5 [cm]

Sollecitazioni

- N_{Ed}: 2700 [kN]
- M_{xEd}: 11,6 [kNm]
- M_{yEd}: 0 [kNm]

Materiali

- FeB44k: f_{yk} 67,5 %, f_{td} 373,9 N/mm², E_s 200.000 N/mm², E_s/E_c 15, $\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²
- C60/75: f_{ck} 2,28901 %, f_{cd} 2,628, f_{cc}/f_{cd} 0,8, $\sigma_{c,adm}$ 21, τ_{c1} 3,114

P.to applicazione N

- Centro
- Baricentro cls
- Coord. [cm]: xN 0, yN 0

Metodo di calcolo

- S.L.U. +
- S.L.U. -
- Metodo n

Tipo flessione

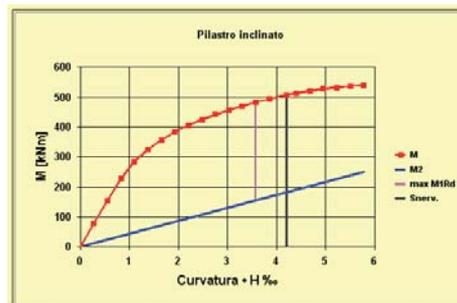
- Retta
- Devata

Vertici: 52, N° rett. 100

Calcola MRd, **Calcola MRd**, **Col. modello**

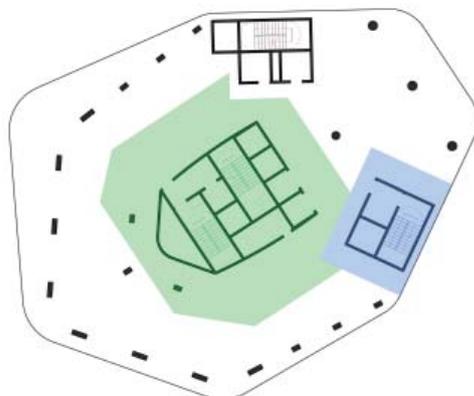
Precompresso

05.07
Dimensionamento pilastro inclinato P10 metodo colonna modello



5.5.3 Nuclei controvento

Lo stesso procedimento seguito per i pilastri è stato utilizzato nel caso dei nuclei controvento.



05.08
Determinazione aree
di influenza nuclei
controvento

	Nucleo centrale	Nucleo piccolo
P0	65	55
P1	55	50
P2	55	50
P3	55	50
P4	45	40
P5	45	40
P6	45	40
P7	45	40
P8	45	40
P9	45	40
P10	30	30
P11	20	20
P12	20	20
P13	20	20
P14	20	20
P15	20	20
P16	20	20
P17	20	20

Tabella 05.12
Risultati dimensionamento nuclei

In questo caso il dimensionamento per semplice compressione è particolarmente grossolano in quanto i controventi hanno la funzione di gestire i carichi orizzontali (vento e sisma).

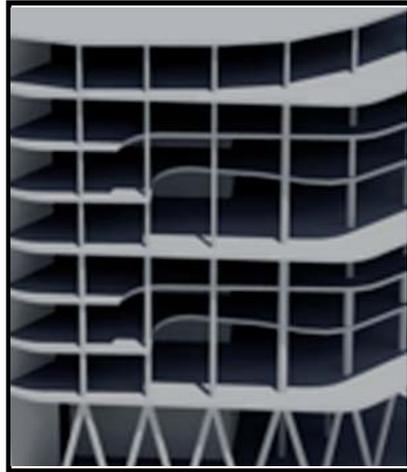
Tramite analisi più accurate si otterranno i valori di taglio e momento necessari per verificare i nuclei.

5.5.4 Conclusioni predimensionamento

Data la complessità dell'edificio il calcolo derivante dal dimensionamento per aree di influenza è molto approssimativo secondo le seguenti ipotesi e semplificazioni:

- non si è tenuto conto del peso delle scale e degli ascensori;
- non si è tenuto conto che i piani non sono tutti uguali, quindi in alcuni casi i pilastri sono meno sollecitati di quanto risulta dalla discesa dei carichi, in altri casi sono più sollecitati;

05.09
Particolare pilastri e
solai piani uffici



- i pilastri nel piano uffici hanno aree di influenza differenti rispetto a quelle del piano hotel in quanto al 10 piano avviene lo sdoppiamento;
- ci sono alcuni pilastri la cui lunghezza è maggiore di 3 m;
- i nuclei in prima approssimazione vengono dimensionati unicamente a compressione, in seguito all'approfondimento dinamico si avranno i valori di taglio e momento che serviranno per dimensionarli in pressoflessione.

Si sono fatte, di conseguenza, alcune scelte per ottenere comunque risultati verosimili:

- si sono arrotondati i valori risultati dalla semplice compressione sempre per eccesso;
- si sono inseriti i carichi massimi accidentali per ogni piano anche se le solette non sono sollecitate uniformemente;
- si è tenuto conto dell'area di influenza dei nuclei ma non della particolare rigidità della nostra soluzione che porterà i nuclei a lavorare maggiormente a favore dei pilastri.

E' comunque evidente che in fase esecutiva sarebbe necessario un modello completo della struttura in modo da avere le sollecitazioni reali gravanti su ogni singolo pilastro.

5.6 Modelli di calcolo numerico per l'analisi strutturale

Il problema dell'analisi lineare svolta precedentemente per i singoli elementi strutturali, richiede ora uno studio globale del comportamento strutturale.

Verranno analizzati 3 modelli semplificati con l'ausilio del solutore agli elementi finiti straus 7, studiando il comportamento dei vari modelli numerici alle seguenti sollecitazioni:

- Sollecitazioni verticali dovute ai carichi propri permanenti
- Sollecitazioni verticali dovute ai sovraccarichi permanenti
- Sollecitazioni verticali dovute ai carichi variabili
- Sollecitazioni verticali dovute al carico della neve
- Sollecitazioni statiche equivalenti dovute alla pressione del vento lungo le due direzioni principali
- Sollecitazioni dovute al sisma

Il metodo di calcolo agli elementi finiti richiede come supporto l'ausilio di modelli tridimensionali con domini geometrici appositamente "discretizzati", al fine di non creare gradi di libertà eccessivi che comportano inutili onerosità nel calcolo.

Per alcune verifiche occorre un grado di accuratezza del modello che è sicuramente diverso da quello richiesto per altre analisi.

Questo rende necessaria la gestione di più modelli sviluppati per l'analisi

richiesta.

Si è quindi proceduto realizzando modelli via via più complessi.

I modelli realizzati per successivi studi sono 2:

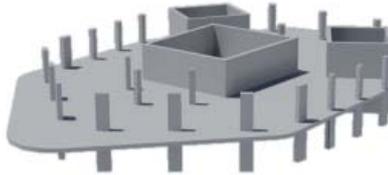
- Modello di piano tipo (il più sollecitato) per l'analisi delle deformazioni dei solai
- Modello dei controventi con applicato sul baricentro di piano la massa totale per analisi dinamica (vento e sisma)

5.7 Modello numerico del solaio a piastra

La volontà architettonica del progetto era quella di avere grandi superfici libere da poter gestire lasciando molteplici possibilità di impianto interno (soprattutto nel caso degli uffici).

Data la complessità della forma del T.I.N.-Tin Building si è preferito analizzare un'unica soletta in modo tale da poter mostrare il metodo utilizzato.

Il processo da noi portato avanti è una prima approssimazione che ovviamente, in caso di esecuzione, dovrebbe essere approfondito.



05.10
Immagine tridimensionale piano tipo

Si è scelto di modellare la soletta del 8° piano in quanto a una prima analisi valutativa è quella che si presenta più critica a causa delle combinazioni di carico, della lunghezza della parte in aggetto e dei carichi gravanti su questa parte.

Per il calcolo delle azioni interne alla struttura si è fatto ricorso al codice di calcolo per l'analisi agli elementi finiti Straus.

E' stato creato un modello della struttura utilizzando elementi plate per schematizzare le piastre.

Prima di procedere all'analisi statica lineare della struttura si è creata la mesh, cioè la suddivisione degli elementi plate in superfici più piccole.

Tanto più è fitta la mesh tanto più è accurato il risultato.

Si è utilizzato lo strumento dell'automesh effettuando alcune simulazioni per determinare la forma che ci permettesse di avere risultati accurati e velocità di calcolo.

Le forme analizzate sono:

- Triangolo a tre nodi
- Triangolo a sei nodi
- Quadrato a quattro nodi
- Quadrato ad otto nodi

Per stabilire la massima lunghezza di ogni elemento si è ricercata la stabilizzazione del risultato, cioè considerando una campata della soletta con un carico fissato si è risolto il modello con differenti suddivisioni.

Si sono assunti due punti di controllo collocati in due punti riconoscibili e per ciascun punto sono stati monitorati lo spostamento verticale il momento max.

Per ogni elemento base ci si è fermati quando i valori convergevano con un limite di errore definibile come soddisfacente.

Si è scelta quindi la mesh triangolare a 6 punti con lunghezza massima di 100

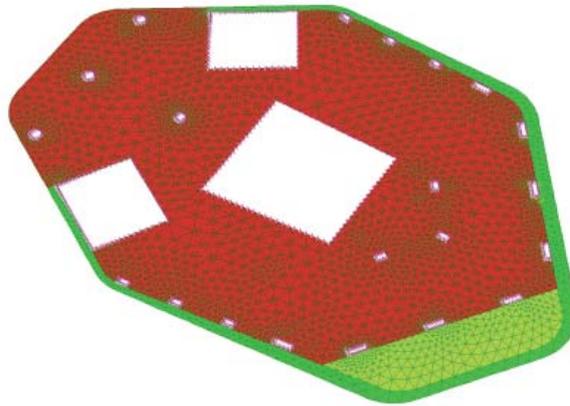
cm (la lunghezza massima è presente unicamente in campata e in percentuale molto bassa).

Un aspetto centrale della modellazione riguarda la zone di collegamento con i pilastri:

- è necessario infittire la mesh in queste zone;
- è possibile considerare gli appoggi puntiformi, oppure modellare l'ampiezza di contatto. Nel primo caso si ottiene un andamento dei momenti flettenti con dei picchi di sollecitazione molto accentuati, mentre nel secondo caso si ottengono degli andamenti più smussati con picchi meno elevati, con conseguente aumento dei momenti in campata.

Quest'ultimo andamento è ovviamente più realistico, data l'effettiva geometria del problema.

Nella modellazione dei pilastri e dei nuclei di controvento sono stati quindi riportati i perimetri di questi in modo tale che la mesh fosse più fitta in corrispondenza e l'insieme dei punti sul profilo potessero poi essere bloccati tramite un vincolo di incastro.



05.11
Immagine modellazione e suddivisione in mesh della piastra in esame

Il modello in seguito alla realizzazione della mesh è costituito da:
5657 elementi plate

Il modello è stato creato e verificato prima con uno spessore di 35 cm e poi con uno spessore da 30: verranno riportati unicamente i risultati raggiunti grazie alla modellazione con spessore da 30 cm.

Si è scelto di diminuire ulteriormente lo spessore per spingere la struttura a funzionare al meglio e quindi economizzare ulteriormente in termini di cm di c.a.

Il c.a. scelto ha le seguenti caratteristiche :

Concrete 60/75 MPa

$E=40000$ MPa

Densità 2400 kg/m^3

Si è scelto l'utilizzo di un c.a. così prestazionale proprio per ridurre gli spessori in gioco.

La soletta così modellata è stata poi divisa, per semplificare l'applicazione, in gruppi di aree (distinte tramite colori differenti nell'immagine sovrastante) per l'applicazione dei carichi accidentali e in modo tale da poter meglio gestire le combinazioni di carico.

Le aree sono:

- Interno

$G = 0,001 \text{ MPa}$ $Q = 0,002 \text{ MPa}$ $Neve = 0 \text{ MPa}$

- Fioriera (densità terreno bagnato 1230 kg/m³)
G =0,0114 MPa Q=0 MPa Neve= 0,00032 MPa
- Balcone/giardino. (densità terreno bagnato 1230 kg/m³)
G =0,00861MPa Q= 0,004 MPa Neve= 0,00032 MPa

I sovraccarichi applicati sono quelli descritti precedentemente.

I sovraccarichi sono stati suddivisi in molteplici load cases in modo tale da poter affrontare la simulazione di carico Q applicato=

- In tutte e tre le aree
- Solo all'interno
- Solo all'esterno

in modo tale da determinare la condizione più sfavorevole.

Alcune semplificazioni sono state applicate :

- non si tiene conto del peso della facciata;
- non si tiene conto del peso delle scale e degli ascensori interni ai nuclei.

La simulazione risulta comunque utilizzabile nei suoi risultati in quanto si è scelta la soletta con oggetto maggiore e con maggior quantità di terreno aggiunto.

Essendo la condizione limite le altre solette sono garantite nel loro funzionamento di conseguenza.

Il software Straus tramite il comando envelopes è in grado di generale al suo interno le varie combinazioni.

Combinazione SLU

Case	Factor 1	Factor 2
Peso proprio	1	1,35
G	1	1,35
Q	0,65	1,5
Q1	0,65	1,5
Neve	0	1

Tabella 05.13
Coefficients applicati
nelle combinazioni
SLU e SLE

Combinazione SLE

Case	Factor 1	Factor 2
Peso proprio	1	1
G	1	1
Q	0,77	1
Q1	0,77	1
Neve	0,1	0,7

Gli envelopes da creare sono quelli che combinati danno la sollecitazione massima:

Envelope case 1 Tutti i carichi attivi

Envelope case 2 Tutti i carichi attivi eccetto il sovraccarico degli interni

Envelope case 3 Tutti i carichi attivi eccetto il sovraccarico degli esterni.

5.7.1 Verifica degli spostamenti

La verifica degli spostamenti massimi di una struttura risponde all'esigenza di preservarne l'aspetto e la funzionalità, ed evitare danni a tramezzi, finiture ed infissi.

La normativa europea permette di omettere il calcolo e la verifica degli spostamenti, qualora gli elementi a piastra non superino un valore limite del rapporto tra luce e spessore (rapporto luce/spessore inferiore a 26).

Nel caso analizzato la struttura ha una snellezza superiore a questi limiti ed è quindi necessario effettuare il calcolo.

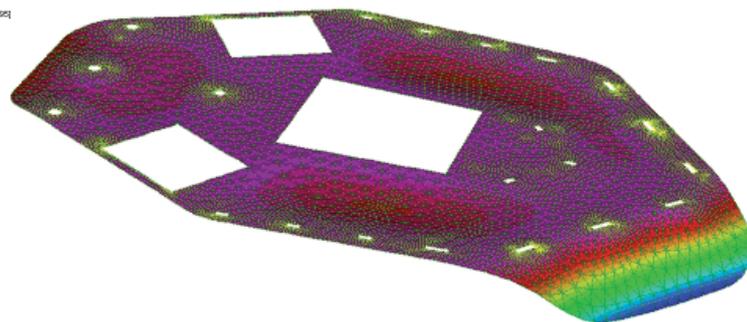
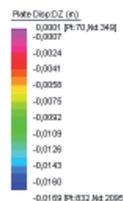
I limiti da rispettare vengono generalmente forniti in termini di rapporto tra la freccia massima e la luce tra gli appoggi.

Un rapporto inferiore a 1/250 generalmente assicura la funzionalità ed estetica della struttura sotto l'azione dei carichi quasi permanenti, mentre rispettando il limite di 1/500 nei casi più comuni si assicura l'integrità di tramezzi ed infissi. E' necessario considerare nel calcolo sia il comportamento della sezione pienamente reagente a trazione (stadio I - elastico) sia che nella sezione parzializzata senza calcestruzzo reagente a trazione (stadio II - fessurato), valutando così la maggiore deformabilità dovuta alla fessurazione.

E' pertanto importante considerare l'effetto della percentuale di armatura presente nelle sezioni e del suo impegno tensionale.

I metodi di calcolo delle frecce sono principalmente 3:

- metodo con integrazione della curvatura
- metodo semplificato
- metodo mediante calcolatore numerico

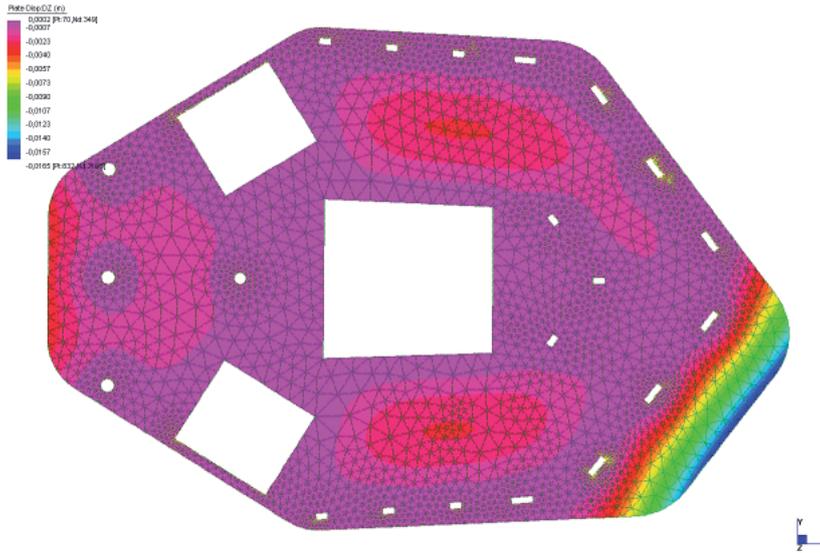


05.11
Deformazione piastra
(aumentata del 10%
per renderla visibile)

Nell'immagine sovrastante la deformatata (aumentata del 10% per accentuare lo spostamento) del caso soletta 30 cm in combinazione SLU.

Come atteso, la deformazione massima è in corrispondenza della parte finale del balcone, mentre essa risulta minimamente accentuata in campata.

Per la verifica agli spostamenti riportiamo i risultati dal modello in Straus secondo le combinazioni prima esposte.



05.12
Spostamento verticale
piastra soggetta a ca-
ricchi

Risultati Piastra 30 cm						
	SLU	SLE	Comb. 1	Comb. 2	Comb. 3	Val. limite
Fmax [m]	0,0165	0,0169	0,0176	0,0179	0,0155	0,02
fmax (campata) [m]	0,0024	0,0025	0,0028	0,0016	0,0028	0,036

Tabella 05.14
Freccie max nelle varie
combinazioni

Le tre combinazioni aggiuntive sono:

Comb 1 : massimi risultati (tenendo conto sia dei fattori SLU e di quelli SLE) con tutti i carichi attivi;

Comb 2 : combinazione che massimizza la freccia sul balcone in quanto (tenendo conto sia dei fattori SLU e di quelli SLE) massimizza i risultati non tenendo conto dei sovraccarichi nella zona interna;

Comb 3 : combinazione che massimizza la freccia in campata in quanto (tenendo conto sia dei fattori SLU e di quelli SLE) massimizza i risultati non tenendo conto dei sovraccarichi nella zona esterna.

Alcune osservazioni:

- data l'estrema rigidità data dai tre nuclei (rappresentati come degli incastri) le frecce in campata sono quasi completamente ininfluenti;
- la zona a nord soffre leggermente la presenza di un unico pilastro al centro;
- la parte in aggetto ha dato spostamenti molto inferiori rispetto a quelli ottenibili schematizzandola come un'asta incastrata in quanto la collaborazione e il peso della parte retrostante permettono un aggetto di 5 metri con uno spostamento verticale che si aggira intorno ai 2 cm.

Si sono poi voluti analizzare i risultati degli spostamenti tenendo conto delle seguenti ipotesi:

- Sezione omogeneizzata della piastra con percentuale acciaio 1% tenendo conto del fluage (n=15)
- Sezione fessurata

Si applica il "Metodo n": per implementare nel software il dato derivante dalla collaborazione dell'acciaio nella soletta si riducono le aree delle barre di acciaio ad aree di calcestruzzo equivalente attraverso un opportuno coefficiente di omogeneizzazione, indicato con il simbolo η .

Questo modo di procedere è giustificato dal fatto che, una volta tralasciato il

contributo del calcestruzzo teso, si ipotizza la perfetta aderenza tra le barre di acciaio e il calcestruzzo circostante, e la validità della legge di conservazione delle sezioni piane come per le travi di materiale omogeneo ed isotropo (ipotesi di Bernoulli-Navier)

La stima dello spessore dell'elemento ha dato come risultato:

Area solaio	36	m
h piastra	0,3	m
Percentuale armatura	0,01	
Ec	40	10 ⁶ KN/mq
Es	200	10 ⁶ KN/mq
n	5	
n fluage	15	
V omogeneizzato n	11,34	mc
V omogeneizzato n fluage	12,42	mc
Spessore n	0,315	m
Spessore nfluage	0,345	m

Tabella 05.15
Determinazione spessore equivalente piastra tenendo conto dell'acciaio al suo interno

Di seguito i risultati con il nuovo spessore (tenente conto dell'acciaio presente)

Risultati Piastra 31,5 cm						
	SLU	SLE	Comb 1	Comb 2	Comb 3	Val limite
fmax	0,0143	0,0146	0,0153	0,0155	0,0134	0,02
fmax (campata)	0,0021	0,0022	0,0024	0,0014	0,0024	0,036

Tabella 05.16
Freccie max nelle varie combinazioni con spessore piastra uguale a 31,5 cm

Nel secondo caso per determinare l'altezza della sezione fessurata verrà attuato il seguente procedimento:

- Si progetta una trave equivalente di larghezza 1 metro e spessore 31,5
- Si applicano gli stessi carichi applicati sulla piastra
- Si calcola l'inerzia della sezione integra e poi la sezione della sezione fessurata

Nota l'inerzia nello stadio II si calcola EI reale (con E cls) e si modifica arbitrariamente la E nel programma per far sì che il prodotto EI sia identico a quello reale

Analizziamo quindi la trave equivalente incastrata alle estremità caricata con i carichi gravanti sulla soletta reale in combinazione SLE (coeff Q 0,3 per effetti a lungo termine):

Pd = 9,6 KN/m

Momento Massimo Positivo= 32,4 kNm

Momento Massimo Negativo= 64,8 kNm

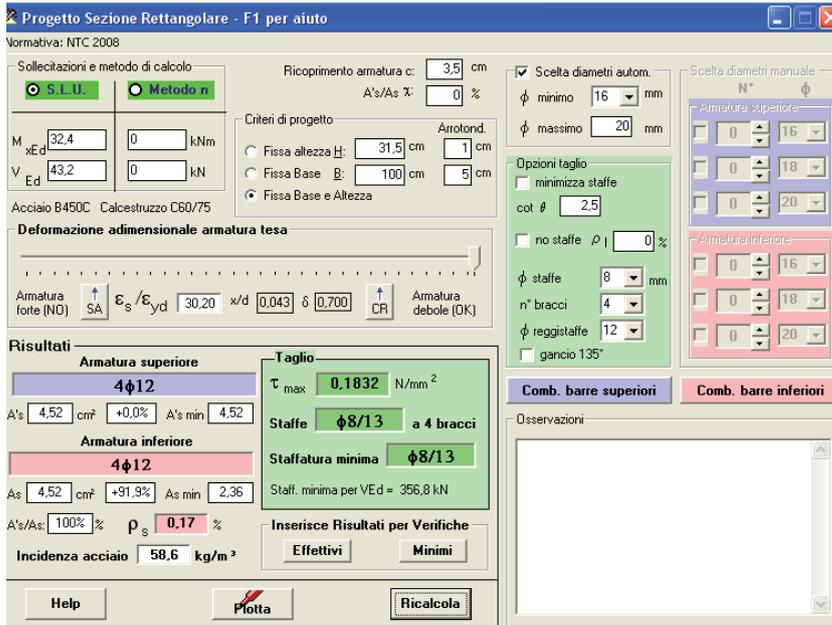
Taglio Massimo = 43,2 kN

Tramite il software V. C.A.S.L.U. Progetto Sezione Rettangolare, applicando il momento e il taglio sopra citati a una sezione 100x30 cm si ha la determinazione automatica dei seguenti valori:

Armadura superiore: 4 Φ 12 $A_s = 4,52 \text{ cm}^2$

Armadura inferiore: 4 Φ 12 $A_s = 4,52 \text{ cm}^2$

Staffe Φ8/13



05.13 Dimensionamento acciaio nella trave equivalente che semplifica il comportamento della piastra

Applicando la stessa quantità di acciaio nelle due direzioni (quindi sovradimensionando il momento reale) il rapporto tra $A_s/A_c = 0,6\%$

La sezione omogenea, tenendo conto della quantità di acciaio nella trave equivalente è uguale a: 0,33 m (tenendo conto del fluage).

Determinazione sezione fessurata		
	Valore	Unità di misura
b	100,00	[cm]
d	29,20	[cm]
h	32,70	[cm]
n	15,00	
A_s	18,00	[cm ²]
x'g	50,00	[cm]
y'g	16,35	[cm]
J'	291382	[cm ⁴]
y''g	10,14	[cm]
J''	172163	[cm ⁴]
E_c	40,00	[10 ³ Mpa]
E_{c^*}	23,63	[10 ³ Mpa]

Tabella 05.17 Determinazione modulo elastico equivalente della sezione fessurata

La rigidezza risulta inferiore rispetto a quella nello stadio non fessurato: per modificare questo parametro nel modello ad elementi finiti si può agire sullo spessore del modello plate o sul modulo elastico.

Di norma per una trave rettangolare l'intervallo del rapporto tra l'inerzia della sezione fessurata e l'inerzia della sezione integra è 0,30 - 0,50 (con 0,40 come valore consigliato).

Nel caso analizzato il valore è uguale al 41%.

Per il nostro modello si è deciso di applicare il peso della soletta come carico distribuito e quindi impostare la densità a 0 e far variare il modulo elastico.

Tabella 05.18
Freccie max nelle varie combinazioni con spessore piastra fessurata

Risultati Piastra equivalente 33 cm fessurata						
	SLU	SLE	Comb 1	Comb 2	Comb 3	Val limite
fmax	0,0211	0,0216	0,0225	0,0228	0,0197	0,02
fmax (campata)	0,0031	0,0032	0,0036	0,0021	0,0036	0,036

5.7.2 Verifica dei momenti

Dall'analisi della trave equivalente avevamo trovato i seguenti momenti:

$$M_{x \text{ pilastro}} = - 64,8 \text{ kNm}$$

$$M_{x \text{ campata}} = 32,4 \text{ kNm}$$

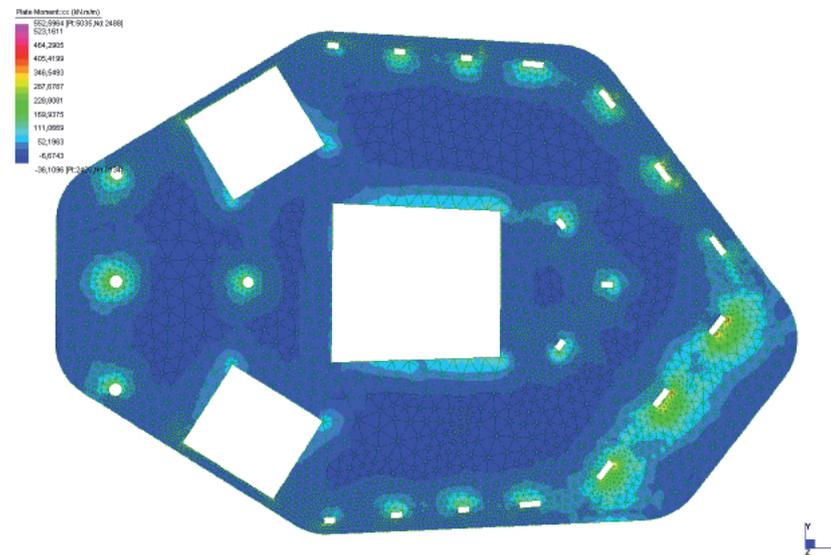
Tramite le formule di Barenz per un solaio con rapporto tra i lati uguale a 2 (quindi un po inferiore rispetto al rapporto reale nel caso analizzato), i momenti risultano uguali a:

$$M_{x \text{ pilastro}} = -0,13p \cdot l^2 = - 100 \text{ kNm}$$

$$M_{x \text{ campata}} = 0,0411p \cdot l^2 = 32 \text{ kNm}$$

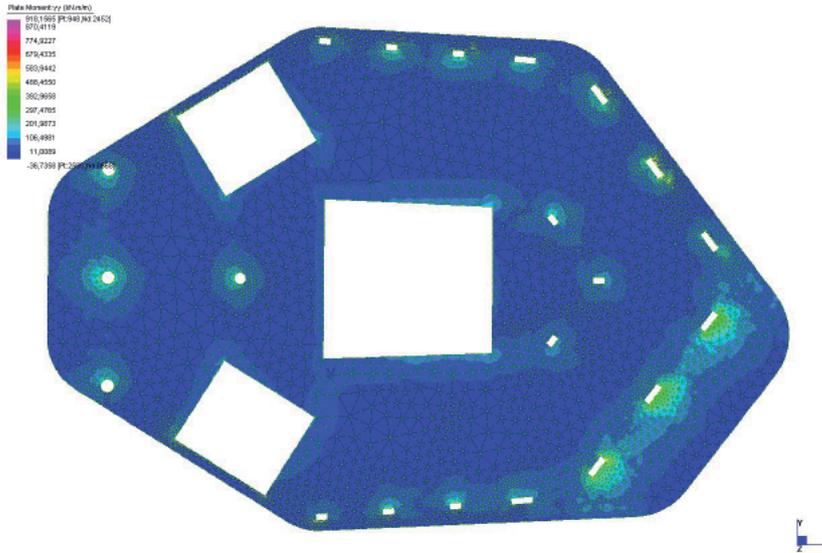
Di seguito riportati i risultati estrapolati dal modello in Straus combinazione SLU:

05.14
Momento nei vari punti della piastra analizzata



Come ci si aspettava la concentrazione degli sforzi si verifica in corrispondenza degli appoggi. In campata, nella zona centrale della piastra, vi sono momenti positivi.

Sempre in corrispondenza degli appoggi vi sono elevate sollecitazioni di taglio poiché in queste zone vengono trasferiti i carichi degli impalcati ai pilastri.



05.15
Taglio nei vari punti della piastra analizzata

I valori visualizzati nella figura M_{xx} sono molto simili ai valori trovati tramite gli altri metodi infatti il grafico tra il nucleo e uno dei pilastri sulla facciata ovest risulta essere:

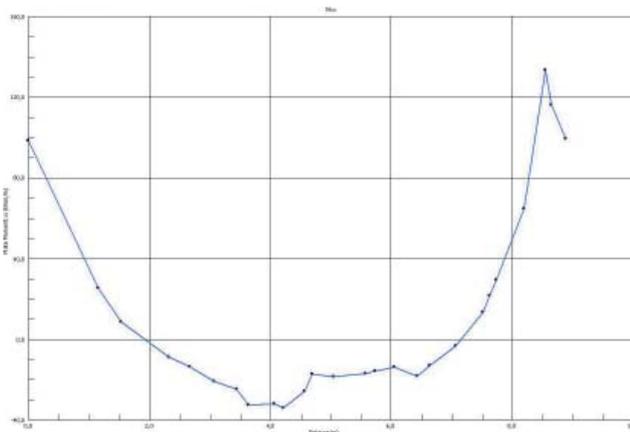


Grafico 05.03
Grafico del momento tra un pilastro e il nucleo centrale

$$M_{x \text{ pilastro}} = -133,54 \text{ kNm}$$

$$M_{x \text{ nucleo}} = -98,49 \text{ kNm}$$

$$M_{x \text{ campata}} = 33,84 \text{ kNm}$$

5.7.3 Calcolo locale dell'armatura

Le prescrizioni normative specifiche per la disposizione delle armature nelle piastre sono reperibili nell'Eurocodice 2:

- le percentuali minime e massime di armatura sono sostanzialmente simili a quelle delle travi;
- è necessario disporre una percentuale di armature trasversale secondaria pari almeno al 20% dell'armatura longitudinale principale;
- il passo fra le barre di armatura deve essere contenuto, ad esempio meno di 3 volte lo spessore della piastra e comunque non superiore a 400 mm.

Per dimensionare le armature un metodo sarebbe quello di stampare le viste dall'alto delle mappe dei momenti xx e yy definendo poi delle zone omogenee per sollecitazione.

Definite le zone si dimensiona l'acciaio per il valore massimo del momento per la zona scelta.

Ci sono software numerici integrati che effettuano questo passaggio autonomamente (software di progettazione delle piastre della Peri).

In questa tesi, a titolo di esempio verrà dimensionata la superficie di acciaio per due punti caratteristici mediante il metodo presentato nel libro "Linee guida per la progettazione della piastre in c.a."

Tabella 05.19
M_{xx} e M_{yy} del punto 1 (pilastro) e del punto 2 (punto al centro della campata)

Lembo superiore			
Punto	Posizione	M _{xx} [kN/m]	M _{yy} [kN/m]
1	0,00	-98,49	-71,02
2	4,21	33,84	19,60

Lembo inferiore			
Punto	Posizione	M _{xx} [kN/m]	M _{yy} [kN/m]
1	0,00	98,49	71,02
2	4,21	-33,84	-19,60

Si procede al calcolo allo stato limite ultimo: l'acciaio di armatura è un FeB44k e pertanto la tensione di progetto dell'anima è pari a $f_{yd} = 430/1,15 = 374$ MPa; il braccio della coppia interna viene assunto pari a 0,8 volte lo spessore della piastra.

Risulta quindi:

Tabella 05.20
Scelta quantità di acciaio per i due punti analizzati

Quantità di acciaio						
Punto	M _{xx} [kN/m]	A _x [mm ²]	Scelta	M _{yy} [kN/m]	A _y [mm ²]	Scelta
1	98,49	1097	1 Φ 18/20	71,02	791	1 Φ 16/20
2	33,84	377	1 Φ 10/20	19,60	218	1 Φ 8/20

5.7.4 Il punzonamento

Fino a questo momento sono state trattate le sollecitazioni di flessione ma anche il taglio è presente e può costituire il fattore dominante che influenza la progettazione delle piastre, soprattutto nei punti di contatto pilastro/piastra.

Le forze di taglio sono massime in corrispondenza dei pilastri, ovvero quando si verifica l'introduzione di forze concentrate in direzione trasversale al piano medio di una piastra.

Considerando una piastra appoggiata su colonne, l'intera reazione trasmessa dal pilastro deve essere distribuita nel calcestruzzo all'interfaccia tra piastra e pilastro: vi sono notevoli sollecitazioni di taglio, oltre che momenti negativi molto elevati e di conseguenza una notevole concentrazione di sforzi.

Si può verificare una rottura improvvisa per penetrazione attraverso la piastra con fessure diagonali: questo è il fenomeno chiamato punzonamento.

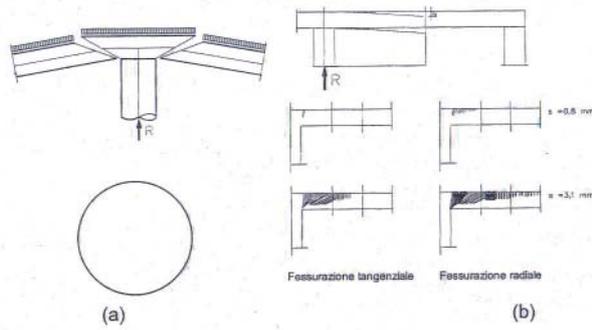


Fig. 6.1 – Rottura per punzonamento: (a) rappresentazione schematica; (b) fessurazione per carichi crescenti dall'esercizio alla rottura (Favre [5]).

Il fenomeno nel suo sviluppo è preceduto dall'apertura di fessure circolari attorno alla testa del pilastro; queste sono seguite dall'apertura di fessure in direzione radiale a partire dal pilastro; a circa 2/3 del carico di rottura si verifica l'apertura di fessure a forma di tronco di cono dalla parte bassa dell'interfaccia tra colonna e piastra verso l'esterno; al crescere del carico la rottura viene raggiunta in modo improvviso con un'aumento brusco dell'ampiezza delle fessure, senza alcun preavviso in termini di deformazioni.

La presenza di armature disposte per resistere alla flessione, nello strato superiore ed inferiore, si oppone in parte allo sviluppo di questo fenomeno.

Al fine di evitare il rischio di rotture fragili vengono disposte armature particolari, dette armature di punzonamento, che attraversano il cono di rottura verticalmente per assorbire le sollecitazioni di trazione attraverso la fessura.

Data la complessità del fenomeno di rottura le norme consigliano dei procedimenti semplificati per la verifica, definendo una superficie di verifica in corrispondenza della quale gli sforzi di taglio non devono superare un valore prefissato di resistenza del materiale.

Nell'EC2 la superficie di riferimento è a una distanza 2 volte l'altezza utile della piastra.

In questo modo si valuta un perimetro di riferimento u , da moltiplicare per l'altezza utile d per ottenere la superficie di riferimento

Definita quindi una sollecitazione di punzonamento V_d pari alla reazione della colonna, e la resistenza al punzonamento V_{rd} , la sollecitazione deve essere inferiore alla resistenza.

Dapprima si controlla se sia sufficiente la sola resistenza del calcestruzzo in assenza di armature da punzonamento, ma tenendo conto della armatura longitudinale.

Nel caso non fosse sufficiente vengono utilizzate le armature a punzonamento.

La presenza di armatura di punzonamento viene considerata nella resistenza al punzonamento con un aumento della resistenza sino al 60% di quanto dato dal solo calcestruzzo.

05.16
Il punzonamento e i
modi di rottura

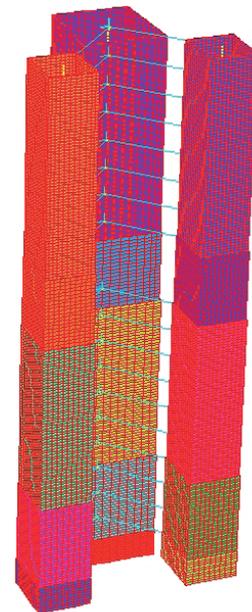
5.8 Modello numerico per analisi comportamento a sollecitazione dell'azione eolica

Il modello agli elementi finiti per il controllo dei carichi dinamici quali sisma e azione del vento è così riassumibile:

- sono stati modellati i tre nuclei controvento con elementi beam (1 per ogni piano) a cui è stata applicata la geometria reale del controvento (quindi è stata mantenuta la rastremazione verso l'alto);
- attraverso calcoli manuali è stato trovato il baricentro geometrico, ovvero baricentro della figura che ti circonda l'intero edificio;
- sono stati connessi i vari punti corrispondenti ai piani ai rispettivi baricentri di piano tramite rigid link;
- ai punti corrispondenti al baricentro delle masse sono state applicate le forze trovate nel capitolo "carichi da vento" secondo le due direzioni principali
- gli elementi beam sono stati divisi ognuno in 10 parti (lunghezza 0,3 m) per rendere più accurato il modello.

Il modello risulta quindi essere composto da:

- 591 nodes
- 570 beams
- 54 rigid links
- 18 transitional masses



05.17

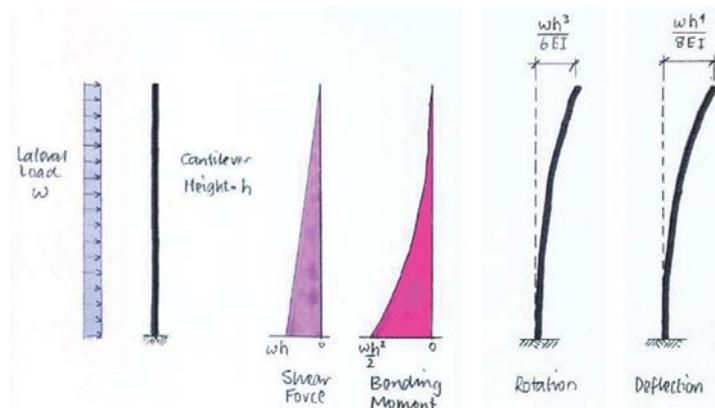
Il modello per il controllo delle reazioni alla sollecitazione del vento

I risultati presentati sono dei seguenti casi:

1. Vento secondo x
2. Vento secondo y
3. Combinazione dei due casi sovraesposti.

Il limite dello spostamento è di 1/1000 dell'altezza (6 cm)

Prima di procedere con l'esposizione dei risultati ottenuti tramite Straus riportiamo i risultati del calcolo preliminare semplificato effettuato per un ordine di grandezza del fenomeno analizzato (e quindi per poter controllare i risultati del software).



05.18

Calcoli semplificati utilizzando una colonna incastrata per controllare gli effetti del vento sul T.I.N. Tin Building

Si è così proceduto:

- per determinare il carico omogeneo distribuito su tutta l'altezza della nostra trave incastrata equivalente si è fatta la somma delle forze trovate (capitolo 5.4.4) per ciascuna delle due direzioni di vento prevalenti
- per determinare l'inerzia media si è calcolata l'inerzia, per ogni piano dei nuclei controvento, poi si è effettuata una media

	Nucleo centrale	lx	ly		Nucleo piccolo	lx	ly
P0	65	407	474	P0	55	78	94
P1	55	334	389	P1	50	69	84
P2	55	334	389	P2	50	69	84
P3	55	334	389	P3	50	69	84
P4	45	265	308	P4	40	52	64
P5	45	265	308	P5	40	52	64
P6	45	265	308	P6	40	52	64
P7	45	265	308	P7	40	52	64
P8	45	265	308	P8	40	52	64
P9	45	265	308	P9	40	52	64
P10	30	168	196	P10	30	37	45
P11	20	108	127	P11	20	23	29
P12	20	108	127	P12	20	23	29
P13	20	108	127	P13	20	23	29
P14	20	108	127	P14	20	23	29
P15	20	108	127	P15	20	23	29
P16	20	108	127	P16	20	23	29
P17	20	108	127	P17	20	23	29

Tabella 05.21
Inerzia dei nuclei ai vari livelli e inerzia media

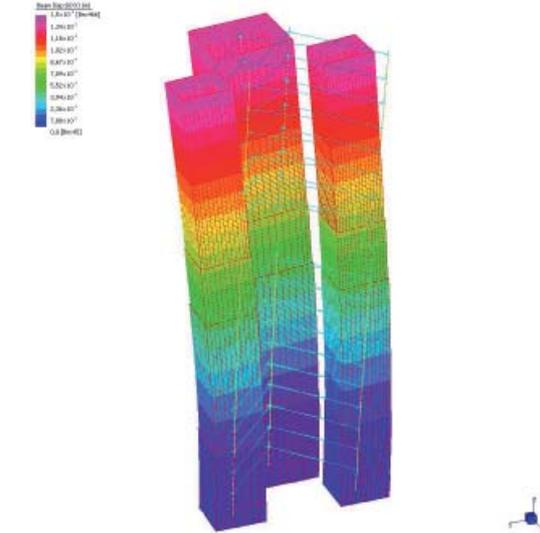
	lx	ly
P0	563	662
P1	471	556
P2	471	556
P3	471	556
P4	369	436
P5	369	436
P6	369	436
P7	369	436
P8	369	436
P9	369	436
P10	242	287
P11	155	184
P12	155	184
P13	155	184
P14	155	184
P15	155	184
P16	155	184
P17	155	184
Media	306	362

Direzione del vento	F [kN/m]	h [m]	T [kN]	M [kNm]	I [m ⁴]	Spostamento [m]
x	40	64,1	2539	81368	362	0,006
y	58	64,1	3724	119340	306	0,008

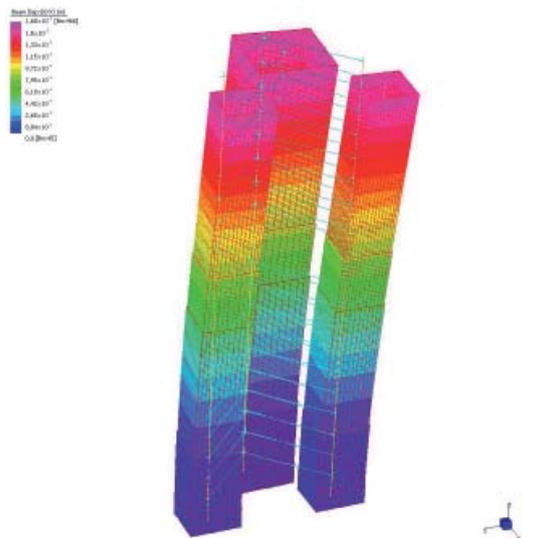
Tabella 05.22
Risultati calcoli semplificati del comportamento su sollecitazione del vento

Alla luce dei valori trovati di seguito gli spostamenti trovati tramite straus rispetto alle 3 combinazioni sovraesposte: da ricordare che la rappresentazione della deformazione è stata aumentata del 20% per renderla piu visibile mentre i valori sono quelli reali

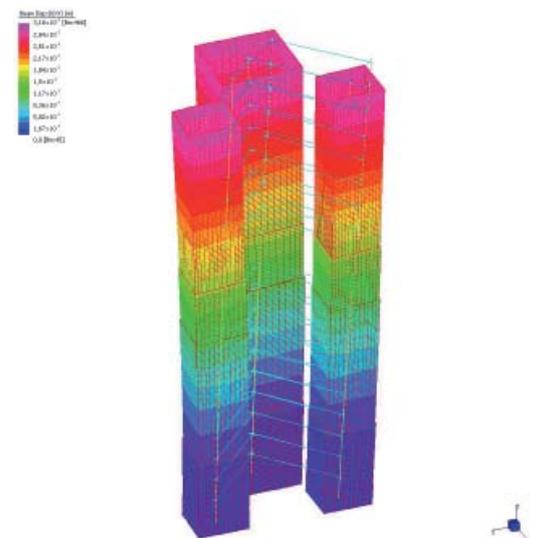
05.18
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare alla facciata maggiore



05.19
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare alla facciata minore



05.20
Spostamenti nel caso di vento perpendicolare ad ambedue le facciate



Risultati Spostamenti		
	Dx [m]	Dy [m]
Caso 1	$1,5 \times 10^{-3}$	$9,48 \times 10^{-7}$
Caso 2	$6,51 \times 10^{-7}$	$1,68 \times 10^{-3}$
Caso 3	$1,5 \times 10^{-3}$	$1,68 \times 10^{-3}$

Tabella 05.23
Risultati numerici degli spostamenti calcolati

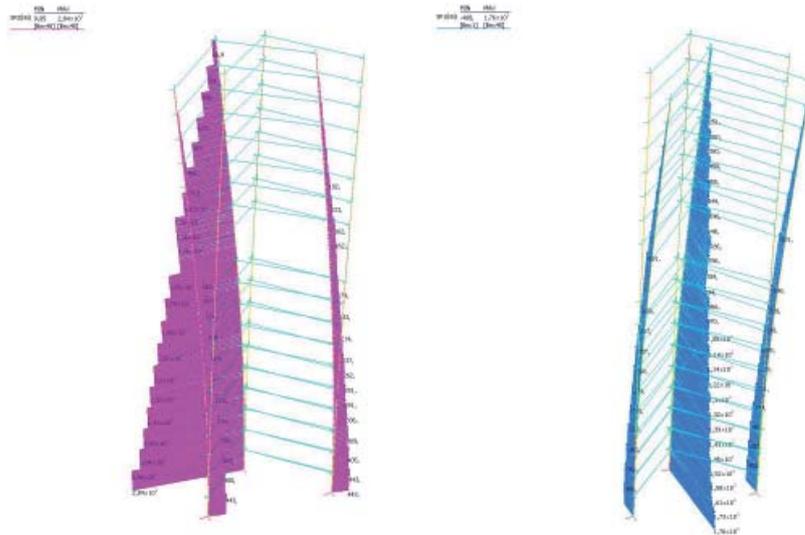
I risultati degli spostamenti sono risultati inferiori al limite di 1/1000 dell'altezza ma maggiori rispetto al risultato preliminare.

Al riguardo possono essere effettuate alcune osservazioni:

- si è usata una forza omogeneamente distribuita mentre nel modello straus le pressioni aumentano all'aumentare dell'altezza;
- si è usata un'inerzia media mentre l'inerzia diminuisce all'aumentare dell'altezza (rastremazione).

In ambedue i casi si sta comunque tenendo conto unicamente del comportamento del c.a., tralasciando completamente i ferri al suo interno.

Di seguito i diagrammi delle azioni interne nel caso 1 e 2:



05.21
Diagrammi del taglio nel caso di vento perpendicolare alla facciata principale e nel caso perpendicolare alla facciata minore

Direzione del vento	T nucleo [kN]	T sinistra [kN]	T destra [kN]	T totale [kN]	T teorico [kN]
x	1760	-408	-408	944	2539
y	2840	-443	-443	1954	3724

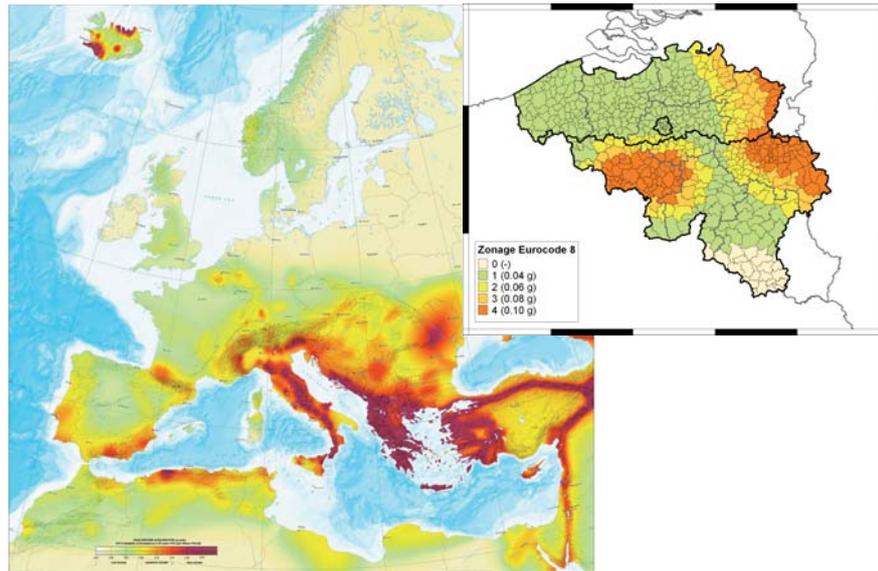
Tabella 05.24
Confronto tra i risultati di taglio ottenuti tramite modello in Straus e risultati ottenuti tramite il calcolo approssimativo

Il confronto di questi risultati con i risultati delle sollecitazioni da sisma determineranno quali saranno i valori rispetto ai quali verrà dimensionato l'acciaio nei nuclei.

5.8 Modello numerico per analisi comportamento a sollecitazione dell'azione sismica

Sin dall'antichità in Europa si sono verificati numerosi terremoti a causa della convergenza delle placche tettoniche Africane ed Eurasiatiche. Il rischio è maggiore in Italia e nell'area del Mediterraneo, nonostante si rilevino frequenti eventi sismici anche all'interno della placca Eurasiatica stessa, come ad esempio a nord dell'Italia, dalla regione alpina fino all'Europa centrale. Terremoti di entità lievemente minore hanno causato danni in Austria, Belgio, Germania e Svizzera.

05.22
Valori di a_g per l'Europa e per il Belgio



Sebbene il belgio non sia una regione particolarmente sismica si è deciso di analizzare anche il comportamento del T.I.N.-Tin Building sottoposto alla sollecitazione del sisma.

L'oggetto di questa analisi si colloca nella II categoria di importanza, alla quale è associato un coefficiente di importanza pari a 1,2

In base ai dati in nostro possesso il terreno su cui insiste l'edificio è assimilabile ai terreni di tipo C.

Tabella 05.25
Tipologia di terreno

Classe del suolo	Descrizione del profilo stratigrafico	Vs,30	NSPT	cu
C	Depositi profondi di sabbia di media densità, di argilla mediamente rada, aventi uno spessore di qualche decina a più centinaia di metri	180-360	15-50	70-250

La torre è ubicata a Bruxelles, in zona 1 corrispondente a un'accelerazione orizzontale di 0,04

$$A_{gr} = 1,2 * 0,04 = 0,048$$

Gli spettri di risposta elastici allo stato limite ultimo delle componenti orizzontali (con smorzamento del 5%) e verticali (fattore q pari a 1,5) del sisma sono stati tracciati secondo l'EC8.

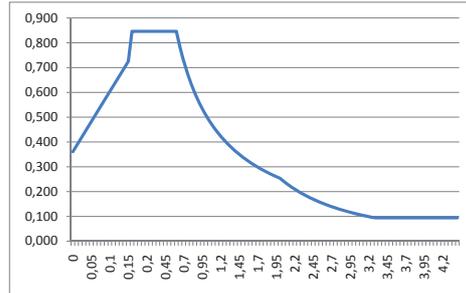


Grafico 05.04
Curva caratteristica
del sisma

Verranno analizzati unicamente gli effetti generati dalle componenti orizzontali.

Si adotta un fattore di struttura di 1,6, valutato in modo semplificato e a favore di sicurezza secondo l'EC8 5.2.2.2.

5.8.1 Formule empiriche per il calcolo del periodo proprio (elemento di confronto)

Come già effettuato per ogni tipo di analisi, prima di approcciare la risoluzione mediante software si è preferito avere dei valori di riferimento facilmente calcolabili per avere un ordine di misura e un valore di controllo.

Seguendo l'EC8 è stato calcolato il periodo proprio dell'edificio, che dipende da:

- l'inerzia (viene presa quella del PT)
- l'area effettiva totale della sezione dei muri di controvento al PT
- l'altezza dell'edificio

$$T_1 = C_t \times H^{3/2}, \text{ EC8 (4.3.2.2(3))}$$

$$C_t = 0,075/A_c^{1/2}$$

$$A_c = \sum [A_i \times (0,2 + (l_{w_i}/H)^2)]$$

$$T_1 = 0,8 \text{ s}$$

Studi sperimentali hanno dimostrato che sono possibili variazioni anche del 50% tra i valori empirici e i periodi misurati o calcolati con l'ausilio di modelli numerici.

5.8.2 Calcolo del periodo proprio tramite modello in Straus

Operando successive semplificazioni geometriche è stato elaborato un modello numerico, che presenta con fedeltà le reali distribuzioni di masse e rigidezze. Sono stati modellati unicamente i tre nuclei scala che saranno appunto quelli che si occuperanno delle forze orizzontali.

I nuclei sono stati modellati come elementi beam di spessore e rigidezza reali. Le masse di ogni piano sono state applicate al centro di massa di piano e connesse tramite rigid link ai rispettivi piani.

Le masse di ogni piano sono state calcolate in combinazione SLU.

Il valore della frequenza naturale del primo modo di oscillazione è pari a 0,67 Hz, corrispondente ad un periodo proprio di 1,5 s

05.23

Immagine deformazione corrispondente ai differenti modi propri di oscillare. La deformazione è stata aumentata del 10% per essere visibile. La numerazione avviene dall'alto verso il basso da sinistra verso destra.

- Modo 1 : 0,67 Hz
- Modo 2 : 0,82 Hz
- Modo 3 : 2,77 Hz
- Modo 4 : 3,84 Hz
- Modo 5 : 4,49 Hz
- Modo 6 : 6,85 Hz
- Modo 7 : 9,52 Hz
- Modo 8 : 10,42 Hz
- Modo 9 : 11,10 Hz
- Modo 10 : 16,37 Hz



5.8.3 Analisi con forze statiche equivalenti

L'analisi statica equivalente può essere effettuata su edifici che presentano le seguenti caratteristiche:

- Regolarità in pianta ed elevazione
- Periodo proprio fondamentale inferiore a 2 secondi.

L'assunzione che sottende l'applicabilità del metodo statico equivalente è che la struttura risponda dinamicamente come una mensola e che quasi la totalità della massa sia eccitata in corrispondenza del primo modo di vibrazione della stessa, escludendo in particolare effetti legati a frequenze fondamentali di tipo torsionale o ad accoppiamento tra modi flessionali e torsionali caratterizzati da frequenze vicine.

Il requisito di regolarità strutturale è fissato proprio per dar corpo a tale assunzione, mentre il secondo porta l'euro codice 8 a considerare che gli spostamenti ai piani (e le relative forze sismiche) crescano linearmente con la distanza dal suolo.

T.I.N.-Tin Building ha un periodo proprio di vibrazione inferiore a 2 secondi ma non è verificata l'ipotesi di regolarità.

L'analisi statica equivalente si può pertanto condurre al solo scopo di convalidare i risultati forniti dal calcolatore.

Il calcolo delle azioni interne infatti deve essere affrontato combinando le sollecitazioni delle distinte forme modali individuate con l'analisi dinamica multimodale, unico approccio consentito dalla normativa per edifici di queste caratteristiche.

Noto il periodo proprio è possibile calcolare l'ordinata dello spettro di progetto, accelerazione che può essere sostituita nella seconda legge della dinamica, al fine di calcolare il taglio totale agente alla base dell'edificio.

Ad un periodo proprio di 0,81 s corrisponde una ordinata S_d di 0,63 m/s²; estrapolando dai calcoli sovraccitati il peso dell'intero edificio e derivandone la massa (dividendo per l'accelerazione di gravità) si può scrivere

$$F_b = m \cdot a = S_d(T_1) m \lambda$$

Ipotizzando il coefficiente di riduzione uguale a 0,85 si ha $F_b = 7343,02$ kN.

Applicando la stessa formula al valore di T trovato tramite il software straus troviamo un $F_b = 4607,38$ kN.

5.8.4 Analisi dinamica multimodale con spettro di risposta

Questo tipo di analisi viene applicata agli edifici che non soddisfano le condizioni per l'utilizzo dell'analisi statica equivalente.

Gli edifici, come il nostro, che non soddisfano il criterio di regolarità di pianta, vanno analizzati avvalendosi di un modello spaziale.

In questo caso, l'azione sismica di progetto deve essere applicata lungo tutte le principali direzioni orizzontali e perpendicolarmente a queste.

L'analisi con spettro di risposta consente uno studio più accurato di quello ottenibile con l'analisi statica equivalente per una tipologia più generale di strutture. Per la sua applicazione sono però necessarie alcune ipotesi:

- Comportamento lineare della struttura (sia per materiale che per geometria)

- Valore modesto di smorzamento

La massa modale effettiva m_k è la parte della massa totale della struttura coinvolta nel k -esimo modo di vibrare dall'azione sismica. Essa è determinata in modo che la forza di taglio alla base F_{bk} agente nella direzione di applicazione dell'azione sismica si possa esprimere nella forma

$$F_{bk} = S_d(T_k) m_k g$$

Si dimostra che la somma delle masse modali effettive (per tutti i modi in una data direzione) risulta essere pari alla massa totale della struttura.

Alla soluzione statica lineare, necessaria per le successive elaborazioni, è seguito il calcolo delle frequenze naturali, che ha individuato i primi 30 modi di vibrare, a frequenza crescente.

Ai fini dell'analisi sismica deve essere tenuta in considerazione la risposta di ogni modo di vibrare che dà un contributo significativo alla risposta globale.

L'ordinanza 3274 precisa che quanto appena richiesto è soddisfatto se è verificata una delle seguenti condizioni:

- Nell'analisi la somma delle masse modali effettive per i modi considerati rappresenta almeno l'85% della massa totale della struttura.

- Nell'analisi si considerano tutti i modi caratterizzati da una massa modale effettiva maggiore del 5% della massa totale della struttura.

Dopo aver inserito nel programma i valori periodo/accelerazione caratteristici dello spettro di progetto, sono state valutate le masse partecipanti nel caso di sisma con direzione x e nel caso di sisma con direzione y .

Si hanno perciò due vettori di direzione del tipo:

$$x = 0 \quad y = 1$$

$$x = 1 \quad y = 0$$

In particolare sono stati selezionati 10 modi con una partecipazione totale di massa del 86 %

EXCITATION FACTORS FOR CASE 1: «Spectral Case Name»

Mode	Spectral Value	Excitation	Amplitude	Participation (%)
1	7.77E-02	1.01E+01	4.48E-02	0.00
2	6.30E-02	8.92E+03	2.11E+01	57.53
3	1.35E-02	4.11E+00	1.83E-04	0.00
4	9.60E-03	4.11E+00	6.77E-05	0.00
5	9.60E-03	5.40E+03	6.53E-02	21.11
6	9.60E-03	3.80E+00	1.97E-05	0.00
7	9.60E-03	6.30E-01	1.69E-06	0.00
8	9.60E-03	3.27E+03	7.33E-03	7.75
9	9.60E-03	1.95E+00	3.85E-06	0.00
10	9.60E-03	1.09E+00	9.89E-07	0.00

TOTAL MASS PARTICIPATION: 86.39%

EXCITATION FACTORS FOR CASE 2: «Spectral Case Name»

Mode	Spectral Value	Excitation	Amplitude	Participation (%)
1	7.77E-02	8.78E+03	3.89E+01	55.72
2	6.30E-02	1.03E+01	2.42E-02	0.00
3	1.35E-02	3.67E+03	1.63E-01	9.76

4	9.60E-03	3.47E+03	5.72E-02	8.72
5	9.60E-03	6.15E+00	7.43E-05	0.00
6	9.60E-03	3.41E+03	1.76E-02	8.40
7	9.60E-03	2.39E+02	6.41E-04	0.04
8	9.60E-03	3.48E+00	7.79E-06	0.00
9	9.60E-03	2.08E+03	4.10E-03	3.12
10	9.60E-03	8.76E+02	7.95E-04	0.56

TOTAL MASS PARTICIPATION: 86.31%

Una volta analizzata la risposta della struttura nei singoli modi di vibrare, occorre combinare i risultati per ottenere la massima sollecitazione possibile. Questo problema non è di facile soluzione in quanto nell'istante in cui un modo raggiunge massima ampiezza, un altro può avere ampiezza molto inferiore rispetto al proprio massimo: in generale è estremamente improbabile che tutti i modi siano in fase e, se lo sono, lo sono comunque per un solo istante.

La semplice sovrapposizione dei risultati (cioè la loro somma diretta) si traduce quindi in una sovrastima dei valori, che può risultare anche considerevole, se la massa partecipante è distribuita su un certo numero di modi.

Una combinazione frequentemente adottata è quella SRSS (o radice quadrata della somma dei quadrati) in cui per risposta massima viene intesa la norma euclidea delle risposte corrispondenti ai singoli modi.

Tale modalità di combinazione è ritenuta valida dalle norme sole se le singole frequenze allo studio sono sufficientemente distanziate; se f_i e f_j sono due frequenze successive con $f_i < f_j$ deve essere $f_i < f_j$. Infatti, se due o più frequenze sono tra loro abbastanza vicine, la probabilità che esse siano in fase è maggiore, perché è maggiore l'intervallo temporale in cui esse possono essere prossime ad un essere in fase.

La combinazione di tipo CQC è una generalizzazione di quella SRSS, con cui coincide nel caso in cui le frequenze siano distanziate tra loro a sufficienza.

Il software straus riesce ad analizzare ambedue le modalità di combinazione. A caso esemplificativo è stata effettuata la verifica dei risultati tramite combinazione CQC.

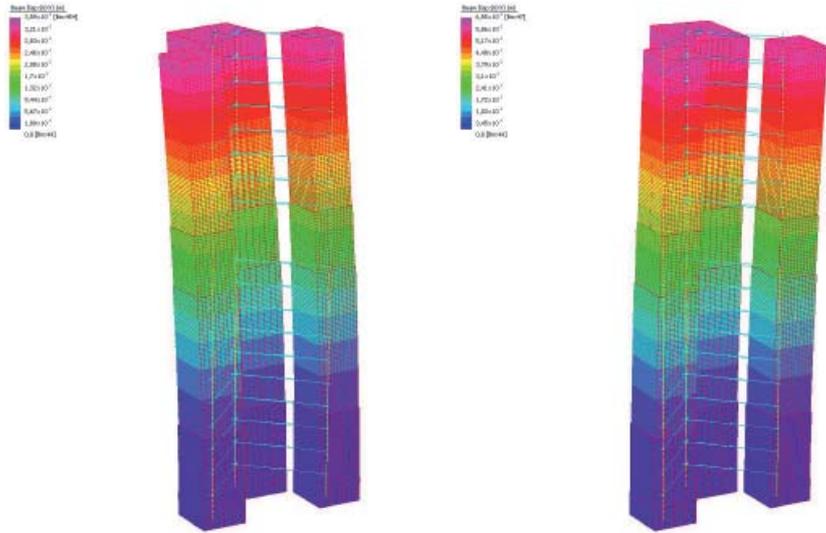
Nella combinazione CQC è necessario specificare il tipo di smorzamento al quale è soggetto il sistema; si è scelta la tipologia rayleigh, che esprime lo smorzamento come combinazione della massa e della rigidità.

Il risultato finale dell'analisi di risposta spettrale restituisce la sovrapposizione modale delle azioni e delle tensioni all'interno degli elementi strutturali, dati di fondamentale importanza per un corretto dimensionamento dei sistemi resistenti.

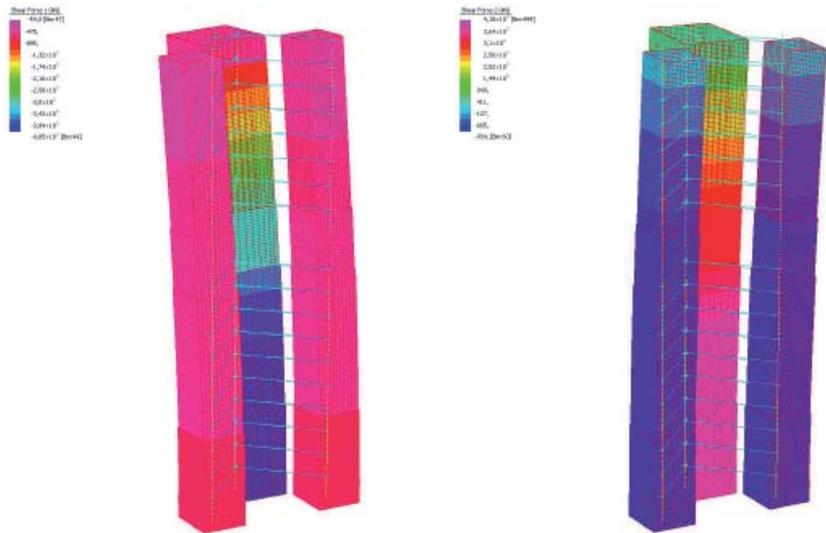
Nel nostro caso infatti è il taglio alla base determinato tramite analisi spettrale che è più restrittivo rispetto a quello dato dal vento.

05.24
 Spostamenti
 SRSS case 1
 $D_{max} = 3,59 \cdot 10^{-3} m$

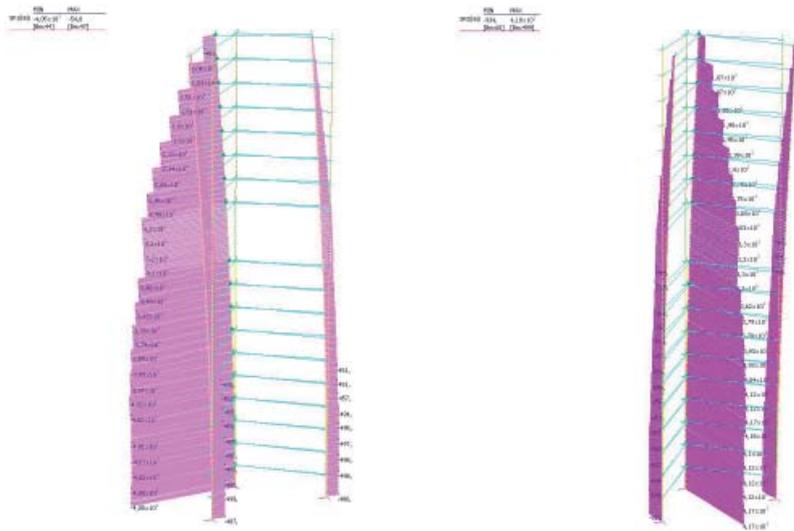
SRSS case 1
 $D_{max} = 6,55 \cdot 10^{-3} m$



05.25
 Taglio



05.26
 Diagrammi del taglio



Una rapida verifica manuale dell'attendibilità dei risultati estrapolati dal calcolatore può essere condotta confrontando il taglio totale alla base in direzione x, con il valore calcolato con il metodo delle forze equivalenti. Sommando le reazioni vincolari in direzione x dei nodi a terra del modello numerico, si ottiene un valore di taglio globale alla base pari a

- Nucleo centrale 4050 kN
- Nuclei esterni -486 (ciascuno) kN

Per un totale di 3100 kN, con una differenza rispetto al valore calcolato con l'approccio statico equivalente pari al 33%.

A partire quindi dal valore di taglio determinato tramite il modello, e dal valore di sforzo assiale (determinabile sia tramite la discesa dei carichi effettuata per aree di influenza, sia tramite il modello numerico) si possono dimensionare i nuclei di controvento (i cui spessori attuali sono unicamente funzione dei carichi verticali).

Ipotizzando di condurre l'analisi sismica solo nelle direzioni x e y (nonostante la complessa geometria che richiederebbe studi su più direzioni), sarebbe necessario condurre le seguenti operazioni:

- Selezionare per ogni direzione i modi di vibrare principali che eccitano almeno l'85% della massa.
- Calcolare le componenti di risposta sismica tramite metodo SRSS o CQC.

5.10 Conclusioni

Il calcolo strutturale di un edificio a torre richiede per sua natura elevati livelli di conoscenza e di esperienza, che consentano allo strutturista di definire con successo uno schema adeguato.

All'interno di questo lavoro di tesi si è preferito privilegiare aspetti metodologici con cui approcciare un edificio alto e, ad esempio, un solaio pieno gettato in opera, piuttosto che addentrarci in calcoli particolareggiati e spinti.

Un risultato sicuramente da sottolineare è quanto siano trascurabili gli effetti dinamici delle azioni esercitate rispetto alle medesime azioni verificate in condizioni statiche equivalenti.

Questo fondamentale è da imputarsi all'altezza relativamente bassa della torre e alle grandi masse resistenti coinvolte nei meccanismi cinematici che offrono una grandissima inerzia al sistema, innalzando le frequenze proprie di vibrazione della struttura.

Importanti sono anche i risultati estraibili dalla modellazione della soletta.

Dati gli spostamenti molto ridotti all'interno dell'edificio si potrebbe procedere in due differenti modi:

- diminuire ulteriormente lo spessore della soletta: in questo modo le masse in gioco nella sismica sarebbero inferiori, si diminuirebbe la dimensione dei pilastri e il peso gravante sulle fondazioni;
- scegliere un c.a. 50/55: in questo modo i tempi di maturazione controllata sarebbero inferiori, e anche i costi.

In ambedue i casi comunque si dovrà pensare di armare maggiormente le parti aggettanti perché come si può vedere nell'ipotesi di soletta fessurata con 0,6% di acciaio lo spostamento è leggermente al di sopra del limite che ci eravamo

posti (1/250).

Sta di fatto che la soletta in questione è comunque la più aggettante e quella con maggior carico applicato.

Si è evidenziato inoltre come un approccio di tipo classico, lo studio di sottomodelli semplificati risolvibili analiticamente che poi vengano approfonditi tramite calcolatore, risulti fondamentale, specialmente se ci si deve confrontare con tipologie strutturali molto particolari come quella in esame.

L'uso di modelli analitici deve sempre esistere e precedere quelli numerici, sviluppati con strumenti di calcolo digitale ad elementi finiti, al fine di scongiurare elementi grossolani.

Il risultato finale è una valutazione della fattibilità strutturale della torre in esame, supportato da dati numerici di prima approssimazione e da schemi di descrizione del comportamento totale dell'edificio.

CAPITOLO 06

- Il Progetto Tecnologico -

6.1 Premessa

La strategia per il T.I.N.-Tin Building mirano ad una soluzione affidabile, ecocompatibile ed energeticamente efficiente.

Gli obiettivi che hanno guidato lo sviluppo della strategia ambientale sono:

- Garantire un luogo di lavoro e di vita con alti livelli di comfort interno;
- Minimizzare i consumi energetici;
- Massimizzare l'efficienza energetica dell'involucro edilizio in rapporto al sottosistema impiantistico;
- Massimizzare l'uso della luce naturale e la diffusione della stessa in tutti gli interni del corpo uffici e nell'hotel;
- Massimizzare il guadagno solare durante il periodo invernale;
- Ridurre il carico di calore dovuto all'irraggiamento solare diretto sulle superfici trasparenti nel periodo estivo mediante apposite strategie di ombreggiamento integrato in facciata;
- Composizione di forme aerodinamiche per ridurre l'azione del vento.

L'intero edificio è pensato come un elemento attivo/reattivo capace di adattarsi alle diverse condizioni climatiche

6.2 Riferimenti normativi

UNI EN ISO 13790:2008 Prestazione energetica degli edifici. Calcolo del fabbisogno di energia per il raffrescamento;

UNI EN ISO 10355 :1994 Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo;

UNI EN ISO 6946: 1999 Resistenza termica e trasmittanza termica, metodo di calcolo;

UNI EN ISO 10351 :1994 Materiali da costruzione. Conduttività termica e permeabilità al vapore;

UNI EN ISO 14683 :2008 Ponti termici in edilizia - Coefficiente di trasmissione termica lineica - Metodi semplificati e valori di riferimento;

UNI/TS 11300 :2010 - 1 Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

6.2 L'involucro opaco

6.2.1 Tecnologia stratificata a secco

All'interno della progettazione tecnologica dell'edificio è di fondamentale importanza la definizione di un involucro edilizio performante per poter garantire una situazione di comfort interno e prestazioni energetiche adeguate.

All'interno di questo ambito, la decisione è ricaduta su una tecnologia stratificata a secco: questa tipologia consente di ottenere ottime prestazioni energetiche ed acustiche, più facilmente controllabili, mantenendo spessori e soprattutto pesi ridotti, fattore non indifferente per un edificio alto, in cui il peso degli strutturali è già estremamente elevato.

Il costo dei materiali risulta più alto rispetto ad una costruzione secondo tecnologia tradizionale e prevede l'impiego di manodopera più specializzata, ma consente al contempo un risparmio in termini di tempi di cantiere grazie a processi di prefabbricazione degli elementi e assenza di connessioni cementizie necessitanti di tempi di maturazione.

Inoltre la valutazione energetica non può essere ridotta alla semplice analisi delle prestazioni energetiche dell'edificio, ma va estesa a tutti i processi produttivi che portano alla soluzione tecnologica adottata e che ne susseguono. Nella scelta di un materiale bisogna quindi considerare l'energia utilizzata durante la sua produzione e trasporto (Embodied Energy), le emissioni di CO₂ che ne conseguono (Embodied Carbon), le risorse consumate, dunque la loro reperibilità e rinnovabilità, la possibilità di riciclo e la facilità con cui il materiale possa essere recuperato al termine del suo ciclo di vita o di quello dell'edificio. Per rispondere a tutti questi requisiti, la tecnologia stratificata a secco risulta la più adatta, offrendo un'innumerabile quantità di soluzioni e materiali alternativi, facilmente combinabili tra loro. Non essendo presenti giunti cementizi, il materiale è facilmente recuperabile in caso di dismissione, prestandosi quindi ottimamente al riciclo.

In quest'ottica si è cercato, ove possibile, di adottare materiali provenienti da fonti rinnovabili, se non già riciclate, e dall'alto tasso di riciclabilità, focalizzandosi quindi su materiali di origine vegetale, quali le fibre di legno, vetro e suoi derivati ed alluminio.

6.2.2 Termoigrometria

Nella progettazione dell'involucro, un approccio basato esclusivamente sull'obiettivo di adiabaticità può risultare estremamente riduttivo in quanto non si può non considerare il rapporto che intercorre tra l'involucro, gli impianti, il comfort interno e tutte le sue variazioni giornaliere e stagionali.

Questo discorso risulta particolarmente rilevante nel caso di funzioni pubbliche ed edifici complessi dalle grandi dimensioni. In particolare, nel caso di una funzione ad uffici è necessario raggiungere un corretto bilancio tra carichi e dispersioni, data l'alta incidenza della produzione di calore interna dovuta all'attività ed alle strumentazioni. Per quanto riguarda un albergo invece bisogna considerare la variabilità delle condizioni d'occupazione degli ambienti interni e delle necessità di comfort di un'utenza varia.

Controllo della termotrasmittanza

All'interno di un corpo, la trasmissione del calore avviene quando questo viene sottoposto ad una differenza di temperatura. L'energia si trasferisce dal lato più caldo a quello più freddo tramite tre meccanismi:

- Conduzione
- Convezione
- Irraggiamento

L'analisi del fenomeno risulta però molto complessa e viene quindi semplificata tramite le seguenti ipotesi:

- regime stazionario, ovvero flusso di calore costante nel tempo
- corpo piano e di estensione infinita
- materiali omogenei ed isotropi
- superfici dei differenti strati isoterme

Seguendo il procedimento della UNI EN ISO 6946, si definisce la trasmittanza U come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari a 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare e si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati

$$U = 1/R_t \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

dove R_t : resistenza totale

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [\text{m}^2\text{K/W}]$$

con

R_{si} : resistenza superficiale interna

R_n : resistenza termica di ciascuno strato

R_{se} : resistenza superficiale esterna

La resistenza viene definita come

$$R = d/\lambda$$

dove

d : spessore dello strato di materiale [m]

λ : conducibilità termica specifica del materiale [W/mK]

Ci si è posti come obiettivo il raggiungimento di valori di termotrasmittanza determinati da un valore di temperatura interna superficiale in grado di eliminare il discomfort indotto dalla presenza di un elemento freddo verso cui il corpo degli utenti disperderebbe calore e dei valori delle temperature di progetto (esterno posto a -8°C secondo le indicazioni normative del Belgio).

I valori delle U obiettivo, in base alla differenza di temperatura massima (x^*) concessa tra la superficie dell'elemento e l'ambiente interno, sono espresse

nelle seguenti tabelle:

Tabella 06.01
Valori delle termotransmissionze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.

CHIUSURE VERTICALI -hotel-	
T est	-8 °C
T int	22,00 °C
ΔT	30 °C
χ^*	0,60 °C
α	7,7 W/mK
U obiettivo	0,15 W/m ² K

CHIUSURE VERTICALI -uffici-	
T est	-8 °C
T int	18,00 °C
ΔT	26 °C
χ^*	0,60 °C
α	7,7 W/mK
U obiettivo	0,18 W/m ² K

CHIUSURE VERTICALI -vani scale-	
T est	-8 °C
T int	15,00 °C
ΔT	23 °C
χ^*	1,10 °C
α	7,7 W/mK
U obiettivo	0,37 W/m ² K

CHIUSURE ORIZZONTALI SUPERIORI -hotel-	
T est	-8 °C
T int	22,00 °C
ΔT	30 °C
χ^*	1,00 °C
α	10 W/mK
U obiettivo	0,33 W/m ² K

CHIUSURE ORIZZONTALI INFERIORI -hotel/interrato-	
T est	15 °C
T int	20,00 °C
ΔT	5 °C
χ^*	1,00 °C
α	5,9 W/mK
U obiettivo	1,18 W/m ² K

PARTIZIONI ORIZZONTALI INFERIORI -interpiano hotel-		
T _{est}	18	°C
T _{int}	22,00	°C
ΔT	4	°C
χ*	0,50	°C
α	5,9	W/mK
U obiettivo	0,74	W/m ² K

PARTIZIONI VERTICALI -stanze/corridoio- -stanze/stanze non riscaldate-		
T _{est}	18	°C
T _{int}	22,00	°C
ΔT	4	°C
χ*	0,60	°C
α	7,7	W/mK
U obiettivo	1,16	W/m ² K

PARTIZIONI VERTICALI -stanze/vani non riscaldati-		
T _{est}	15	°C
T _{int}	22,00	°C
ΔT	7	°C
χ*	0,60	°C
α	7,7	W/mK
U obiettivo	0,66	W/m ² K

CHIUSURE ORIZZONTALI SUPERIORI -uffici-		
T _{est}	-8	°C
T _{int}	20,00	°C
ΔT	28	°C
χ*	1,00	°C
α	10	W/mK
U obiettivo	0,36	W/m ² K

CHIUSURE ORIZZONTALI SUPERIORI -vano impianti-		
T _{est}	-8	°C
T _{int}	15,00	°C
ΔT	23	°C
χ*	1,00	°C
α	10	W/mK
U obiettivo	0,43	W/m ² K

Tabella 06.01
Valori delle termotransmissionanze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.

Tabella 06.01
Valori delle termotransmittanze obiettivo delle diverse soluzioni di chiusura opache.

CHIUSURE ORIZZONTALI INFERIORI -uffici-		
T est	-8	°C
T int	20,00	°C
ΔT	28	°C
x^*	1,00	°C
α	5,9	W/mK
U obiettivo	0,21	W/m ² K

PARTIZIONI ORIZZONTALI INFERIORI -interpiano uffici-		
T est	15	°C
T int	20,00	°C
ΔT	5	°C
x^*	2,00	°C
α	5,9	W/mK
U obiettivo	2,36	W/m ² K

PARTIZIONI ORIZZONTALI SUPERIORI -interpiano uffici-		
T est	15	°C
T int	20,00	°C
ΔT	5	°C
x^*	2,00	°C
α	10	W/mK
U obiettivo	4,00	W/m ² K

PARTIZIONI VERTICALI -uffici/vani-		
T est	15	°C
T int	20,00	°C
ΔT	5	°C
x^*	0,60	°C
α	7,7	W/mK
U obiettivo	0,92	W/m ² K

PARTIZIONI ORIZZONTALI SUPERIORI -uffici/vani impianti-		
T est	15	°C
T int	20,00	°C
ΔT	5	°C
x^*	2,00	°C
α	10	W/mK
U obiettivo	4,00	W/m ² K

Controllo della condensazione interstiziale - diagramma di Glaser

Per poter garantire l'efficienza delle soluzioni tecniche adottate, è necessario che queste non siano soggette ad un fenomeno di condensazione di vapore al loro interno, che comporterebbe un riduzione delle prestazioni termiche dell'involucro ed una sua usura precoce.

La condensazione può essere indotta da diversi errori di natura progettuale o esecutiva:

- mancato controllo dell'umidità interna agli ambienti;
- utilizzo di serramenti ad elevata tenuta senza prevedere meccanismi alternativi di ricambio d'aria;
- errata stima della conducibilità dei materiali in condizioni di esercizio;
- creazioni di condizioni di temperatura e pressione di vapore tali da raggiungere il punto di saturazione all'interno della parete;
- isolamento di ponti termici non adeguato.

Il passaggio di vapore attraverso un elemento di parete è un fenomeno che di per sé non causa danni, diffondendosi naturalmente dall'ambiente interno a quello esterno a causa della differenza di pressione parziale.

Il problema sorge quando il vapore incontra, all'interno della parete, punti di grande diminuzione di temperatura, raggiungendo quindi la pressione di saturazione e condensando all'interno di un materiale.

Questo fenomeno è facilmente riscontrabile all'interfaccia con lo strato isolante, che induce bruschi abbassamenti di temperatura ed è particolarmente dannoso, in quanto l'umidità formata può riempire le cavità del materiale, annullando il suo potere isolante.

Come mezzo di controllo a livello progettuale si utilizza il metodo proposto da Glaser che consiste nel tracciare il diagramma in cui, in funzione dello spessore dei vari strati costituenti la parete, si riporta l'andamento delle pressioni parziali e quello della pressione di saturazione del vapore acqueo.

Nel caso questo metodo riveli la possibile formazione di condensa, sarà necessario porre all'interno dell'elemento, prima del punto di condensa, un materiale che impedisca il passaggio del vapore. A questo fine si adottano dei fogli di materiali quasi impermeabili al vapore, quali fogli di alluminio o fogli bituminosi, posti sul lato caldo dell'isolante.

6.2.3 Soluzioni

06.01
CV.01 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente

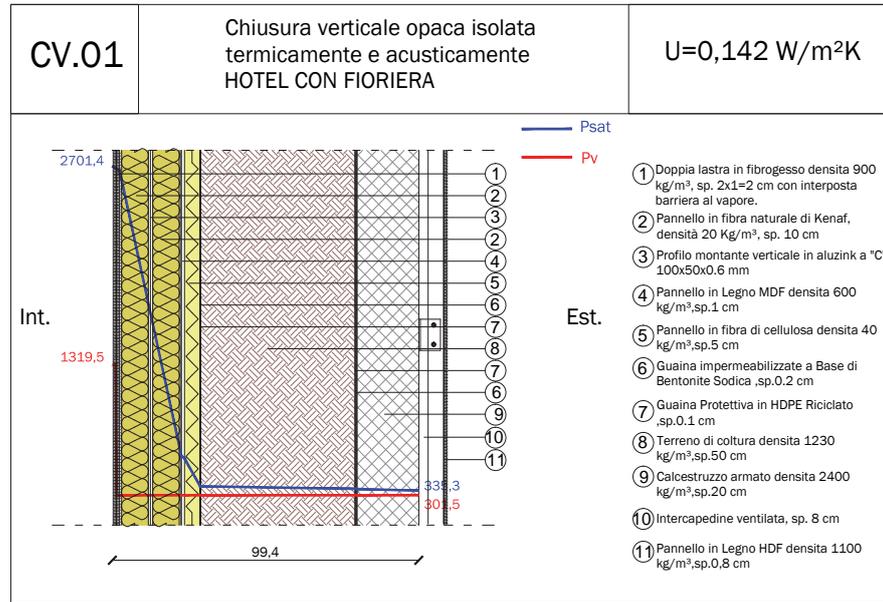
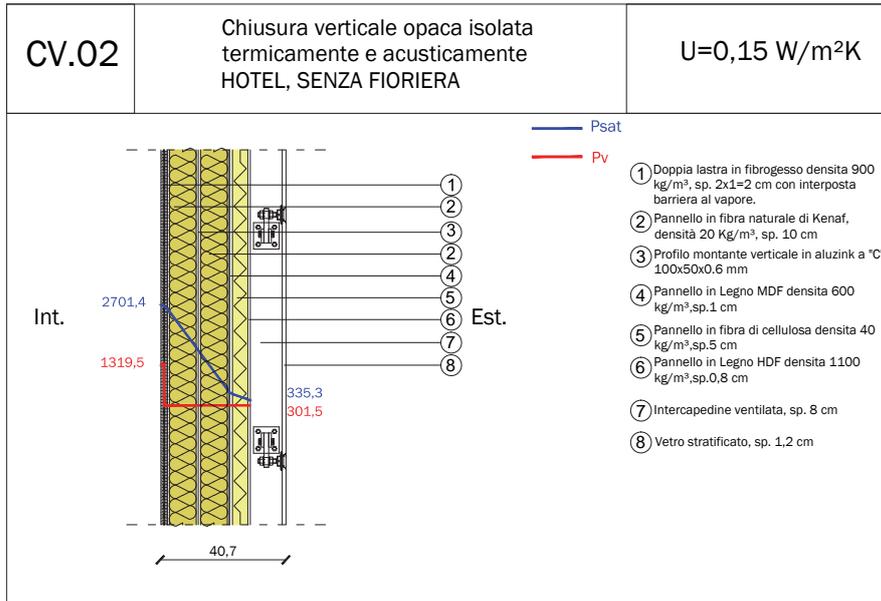


Tabella 06.02
CV.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

CV.01	TI	22		ΔT	30		U	di	0,142
	Te	-8							
	λ	c	ρ	μ	spessore	R			
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W			
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019			
CA	2,300	0,210	2400	90	0,200	0,087			
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,006	0,010			
Guaina Protettiva in HDPE Riciclato	0,459	0,636	1	80000	0,001	0,001			
Terreno di Coltura	2,000	0,200	1230	1	0,500	0,250			
Guaina Protettiva in HDPE Riciclato	0,459	0,636	1	80000	0,001	0,001			
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,002	0,003			
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,050	0,000			
Pannello in Legno MDF	0,140	0,472	600	15	0,010	0,071			
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,200	5,128			
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031			
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000			
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031			
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130			

Psat(22 °C)	2639	gi	0,5	Pvi	1319,5	Rv tot	5,34188E+84
Psat(-8 °C)	335	ge	0,9	Pve	301,5	gv	1,9057E82
spessore m	R mqK/W	R/Rt	Ti parziale °C	Ti parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,003	-7,447	266,053	335,287	0,000	301,500
0,200	0,087	0,012	-7,366	266,136	337,674	96153846153,846	301,500
0,006	0,010	0,001	-6,995	266,505	348,663	320512820,513	301,500
0,001	0,001	0,000	-6,962	266,548	349,947	213675213675,214	301,500
0,500	0,250	0,035	-6,948	266,552	350,088	2670940170,940	301,500
0,001	0,001	0,000	-5,883	267,617	383,647	213675213675,214	301,500
0,002	0,003	0,000	-5,879	267,621	383,799	106837606,838	301,500
0,050	1,282	0,182	-5,864	267,636	384,266	454099829,060	301,500
0,010	0,071	0,010	-0,406	273,094	607,510	801282051,282	301,500
0,200	5,128	0,728	-0,102	273,398	622,874	1816239316,239	301,500
0,010	0,031	0,004	21,733	295,233	2657,977	2350427350,427	301,500
0,000	0,000	0,000	21,867	295,367	2679,608	#####	301,500
0,010	0,031	0,004	21,867	295,367	2679,677	2350427350,427	1319,500
0,000	0,130	0,018	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500



06.02
CV.02 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente

CV.02	Ti	22	ΔT	30	U progetto		0,149
	Te	-8	ρ	kg/mc	μ	spessore m	R mqK/W
λ	α	ρ	μ	spessore m	R	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
Pannello in Legno HDF	0,220	0,472	1011	25	0,008	0,036	
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,050	1,282	
Pannello in Legno MDF	0,140	0,472	600	15	0,010	0,071	
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,200	5,128	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130	

Tabella 06.03
CV.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Psat(22°C)	2639	φl	0,5	Pvl	1319,5	Rv tot	5,34188E+84
Psat(-8°C)	335	φe	0,9	Pve	301,5	gv	1,9067E-82
spessore m	R mqK/W	R/Rt	Ti parziale °C	Ti parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,003	-7,421	266,079	336,043	0,000	301,500
0,008	0,036	0,005	-7,335	266,165	338,547	1068376068,376	301,500
0,050	1,282	0,191	-7,173	266,327	343,330	454059829,060	301,500
0,010	0,071	0,011	-1,458	272,042	556,968	801282051,282	301,500
0,200	5,128	0,762	-1,140	272,360	571,840	1816239316,239	301,500
0,010	0,031	0,005	21,721	295,221	2655,949	2350427350,427	301,500
0,000	0,000	0,000	21,860	295,360	2678,585	#####	301,500
0,010	0,031	0,005	21,861	295,361	2678,658	2350427350,427	1319,500
0,000	0,130	0,019	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500

06.03
CV.03 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente

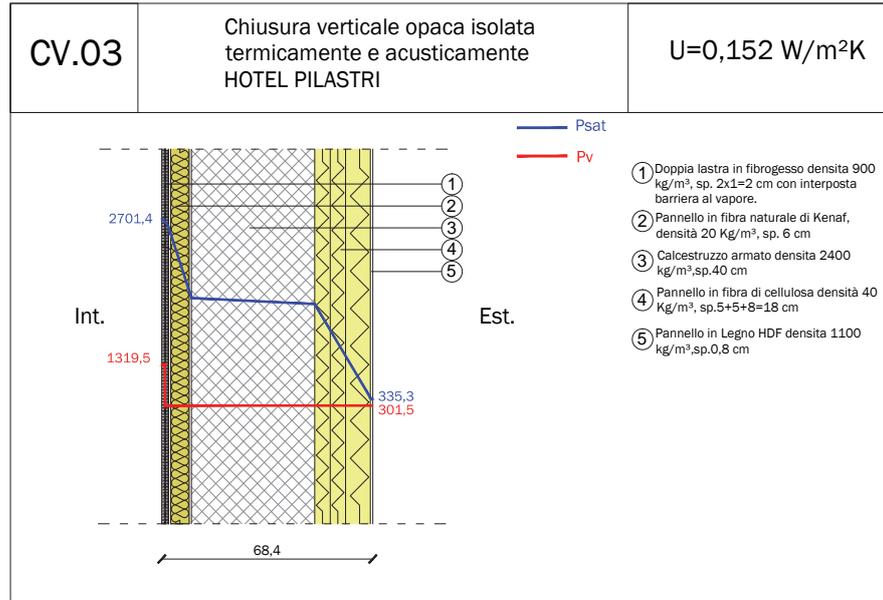
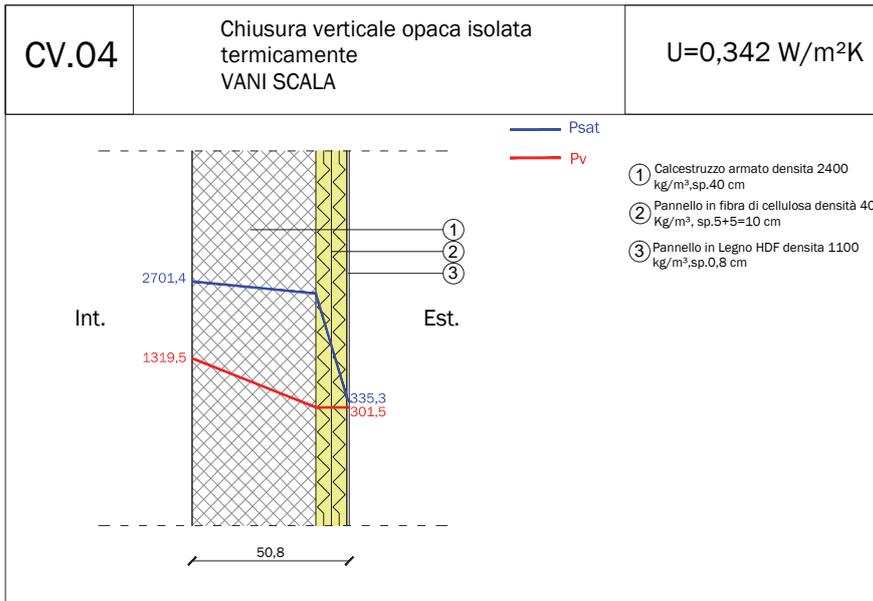


Tabella 06.04
CV.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

CV.03	TI	22	ΔT	30	U progetto	0,152
	Te	-8	ρ		R	
	λ	c	ρ	μ	spessore m	R mcK/W
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc			
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019
Pannello in Legno HDF	0,220	0,472	1011	26	0,008	0,036
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,180	4,615
CA	2,300	0,210	2400	90	0,400	0,174
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,060	1,538
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130

Psat(22°C)	2639	ϕl	0,5	Pvl	1319,5	Rv tot	5,34188E+84
Psat(-8°C)	335	ϕe	0,9	Pve	301,5	gv	1,9057E-82
spessore m	R mcK/W	R/Rt	TI parziale °C	TI parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,003	-7,408	266,092	336,437	0,000	301,500
0,008	0,036	0,006	-7,320	266,180	339,004	1068376068,376	301,500
0,180	4,615	0,702	-7,154	266,346	343,905	1634615384,615	301,500
0,400	0,174	0,026	13,902	287,402	1624,877	192307692307,692	301,500
0,060	1,538	0,234	14,696	288,196	1710,320	544871794,872	301,500
0,010	0,031	0,005	21,714	295,214	2654,892	2350427350,427	301,500
0,000	0,000	0,000	21,857	295,357	2678,052	#####	301,500
0,010	0,031	0,005	21,857	295,357	2678,126	2350427350,427	1319,500
0,000	0,130	0,020	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500



06.04
CV.04 Chiusura verticale opaca isolata termicamente

CV.04	TI	15	ΔT	23	U	di	0,342
	Te	-8			progetto		
	A	c	ρ	μ	spessore	R	
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
Pannello in Legno HDF	0,220	0,472	1011	25	0,008	0,036	
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,100	2,564	
CA	2,300	0,210	2400	90	0,400	0,174	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130	

Tabella 06.05
CV.04 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Psat(15 °C)	1703	φi	0,5	Pvi	851,5	Rv tot	1,94284E+11
Psat(-8 °C)	335	φe	0,9	Pve	301,5	gv	2,8309E-09
spessore m	R mqK/W	R/Rt	TI parziale °C	TI parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,007	-6,978	266,522	349,165	0,000	301,500
0,008	0,036	0,012	-6,827	266,673	353,754	1068376068,376	301,500
0,100	2,564	0,877	-6,541	266,959	362,583	908119658,120	304,524
0,400	0,174	0,059	13,632	287,132	1596,615	192307692307,692	307,095
0,000	0,130	0,044	15,000	288,500	1744,122	0,000	851,500

06.05
CV.05 Chiusura verticale opaca isolata termicamente e acusticamente

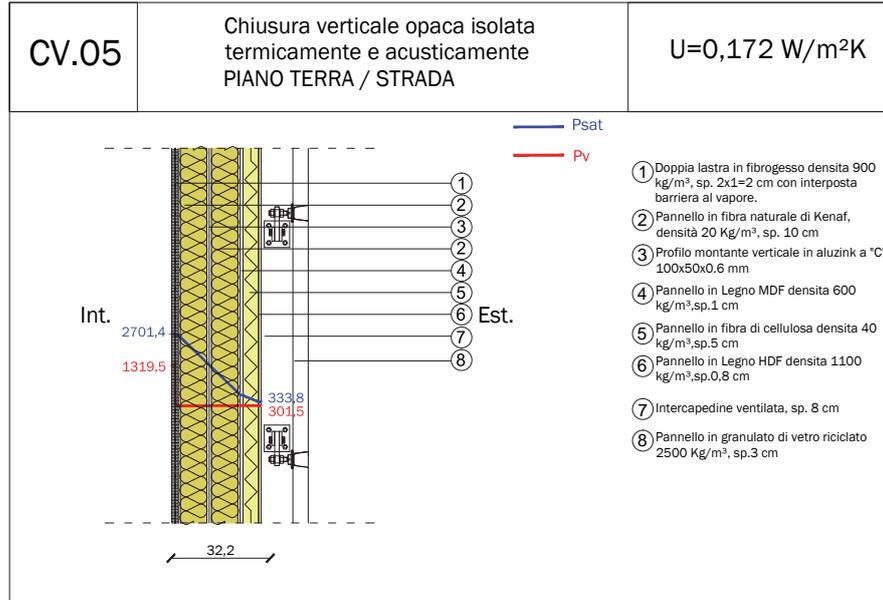


Tabella 06.06
CV.05 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

CV.05	TI	-18	ΔT	26	U	di	0,149
	Te	-8					
	λ	c	ρ	μ	spessore	R	
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
Pannello in Legno HDF	0,220	0,472	1011	26	0,008	0,036	
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,050	1,282	
Pannello in Legno MDF	0,140	0,472	600	15	0,010	0,071	
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,200	5,128	
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000	
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,320	0	0,32	0,010	0,031	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130	

Psat(22 °C)	2639	φl	0,5	Pvl	1319,5	Rv tot	5,34188E+84
Psat(-8 °C)	335	φe	0,9	Pve	301,5	gv	1,9057E-82
spessore	R	R/Rt	TI parziale	TI parziale	Psat	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa	Pa	Pa
1,000	0,019	0,003	-7,498	266,002	333,802	5341880341,880	301,500
0,008	0,036	0,005	-7,424	266,076	335,958	1068376068,376	301,500
0,050	1,282	0,191	-7,283	266,217	340,071	454059829,060	301,500
0,010	0,071	0,011	-2,330	271,170	518,013	801282051,282	301,500
0,200	5,128	0,762	-2,054	271,446	530,060	1816239316,239	301,500
0,010	0,031	0,005	17,758	291,258	2078,219	2350427350,427	301,500
0,000	0,000	0,000	17,879	291,379	2094,043	#####	301,500
0,010	0,031	0,005	17,879	291,379	2094,094	17094017,094	1319,500
0,000	0,130	0,019	18,000	291,500	2110,024	0,000	1319,500

COI.01	Chiusura orizzontale inferiore opaca isolata acusticamente HOTEL -INTERRATO	U=1,617 W/m²K
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Int.</p> <p>47,3</p> <p>Est.</p> </div> <div style="margin-left: 20px;"> <p>① Pavimento in linoleum naturale sp.1 cm</p> <p>② Massetto in CLS alleggerito con argilla espansa, densità 1500 kg/m³, sp. 10cm</p> <p>③ Anticalpestio in fibra di Kenaf densità 60 Kg/m³, sp.0,8 cm</p> <p>④ Calcestruzzo armato, densità 2400 kg/m³, sp.35 cm</p> </div> </div>		

06.06
COI.01 Chiusura
orizzontale inferiore
opaca isolata acusti-
camente

COI.01	TI	20	ΔT		5	U	di	1,167
	Te	15				progetto		
	λ	c	ρ	μ	spessore	R		
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W		
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019		
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152		
Tappeto Anticalpestio in Fibre di Kenaf	0,040	0,583	60	2	0,008	0,200		
CLS Alleggerito Con Argilla Espansa	0,370	0,210	1500	90	0,100	0,270		
Pavimentazione in Linoleum Naturale	0,220	0,500	1200	1	0,010	0,045		
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Discendente	5,900	0,000	0	1	1,000	0,169		

Tabella 06.07
COI.01 Tabella calcolo
trasmissione e conden-
za interstiziale

Psat(20°C)	2334	φl	0,5	Pvl	1167	Rv tot	2,16485E+11
Psat(15°C)	1703	φe	0,9	Pve	1532,7	gv	-1,68926E-09
spessore	R	R/Rt	TI parziale	TI parziale	Past	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
0,000	0,019	0,022	15,989	289,489	1858,094	0,000	1532,700
0,350	0,152	0,178	16,102	289,602	1871,429	168269230769,231	1532,700
0,008	0,200	0,233	16,990	290,490	1979,942	85470085,470	1248,449
0,100	0,270	0,316	18,157	291,657	2130,917	48076923076,923	1248,305
0,010	0,045	0,053	19,735	293,235	2350,903	53418803,419	1167,090
0,000	0,169	0,198	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000

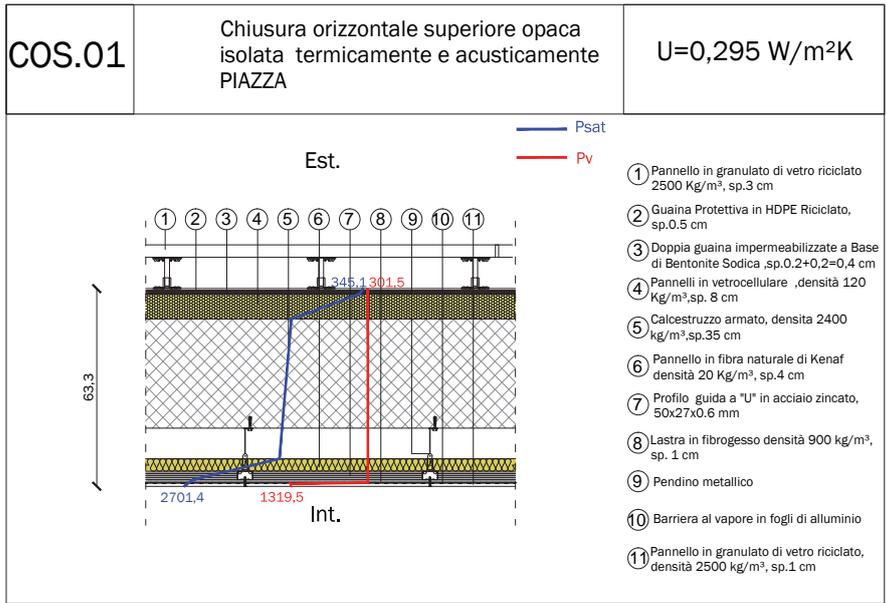
06.07
COI.02 Chiusura orizzontale inferiore opaca isolata termicamente e acusticamente

COI.02	Chiusura orizzontale inferiore opaca isolata termicamente e acusticamente UFFICI	U=0,203 W/m²K
<ul style="list-style-type: none"> ① Pavimento sopraelevato in truciolo ad alta densità con finitura in resiliente, sp.4cm ② Anticalpestio in fibra di Kenaf densità 60 Kg/m³, sp.0,8 cm ③ Calcestruzzo armato, densità 2400 kg/m³,sp.3,5 cm ④ Piedino metallico ad altezza regolabile ⑤ Pannello in fibra di cellulosa densità 40 kg/m³,sp.5,5 cm ⑥ Pannello in Legno HDF densità 1100 kg/m³,sp.0,8 cm ⑦ Pannello in Legno HDF densità 1100 kg/m³,sp.0,8 cm 		

Tabella 06.08
COI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

COI.02	TI	20	ΔT	26	U progetto di 0,210	
	Te	-8			spessore	R
	λ	c	ρ	μ	m	m ² K/W
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019
Pannello in Legno HDF	0,220	0,472	1011	25	0,008	0,364
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,170	4,359
CA	2,300	0,210	2400	90	0,400	0,174
Tappeto Anticalpestio in Fibre di Kenaf	0,040	0,583	60	2	0,008	0,200
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Discendente	5,900	0,000	0	1	1,000	0,169

Psat(20°C)	2334	qI	0,5	PvI	1167	Rv tot	2,04439E+11
Psat(-8°C)	335	qe	0,9	Pve	301,5	qV	4,23353E-09
spessore m	R m ² K/W	R/Rt	TI parziale °C	TI parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,004	-7,006	266,494	348,342	0,000	301,500
0,080	0,364	0,076	-6,893	266,607	351,752	10683760683,761	301,500
0,150	3,846	0,806	-4,759	268,741	422,243	1362179487,179	346,730
0,400	0,174	0,036	17,806	291,306	2084,509	192307692307,692	352,497
0,008	0,200	0,042	18,827	292,327	2221,965	85470085,470	1166,638
0,000	0,169	0,036	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000



06.08
 COS.01 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente

COS.01	TI		ΔT		U progetto di 0,295	
	Te	s			spessore m	R mqK/W
	λ W/mK	c Wh/kgK	ρ kg/mc	μ		
Coefficiente Liminare Esterno	52.000	0.000	0	1	1.000	0.019
Guaina Protettiva in HDPE Riciclato	0.459	0.636	1	80000	0.005	0.011
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0.600	0.300	833	10	0.006	0.010
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0.600	0.300	833	10	0.006	0.010
Isolamento Termico in Vetro Cellulare	0.040	0.233	120	1E+22	0.080	2.000
CA	2.300	0.210	2400	90	0.350	0.152
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0.039	0.583	20	1.7	0.040	1.026
Pannello in Fibrogesso	0.320	0.302	900	44	0.010	0.031
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1.000	1.000	1800	1E+79	0.001	0.001
Pannelli in Granulato di Vetro Riciclato	0.290	0.220	2500	1	0.010	0.034
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Ascendente	10.000	0.000	0	1	1.000	0.100

Tabella 06.09
 COS.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Psat(22 °C)	2639	φl	0.5	Pvl	1319.5	Rv tot	5,34188E+85
Psat(-8 °C)	335	φe	0.9	Pve	301.5	gv	1,9067E-83
spessore m	R mqK/W	R/Rt	Ti parziale °C	Ti parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0.000	0.019	0.006	-7.116	266.384	345.026	0.000	301.500
0.005	0.011	0.003	-6.946	266.554	350.129	#####	301.500
0.006	0.010	0.003	-6.850	266.650	353.051	320512820.513	301.500
0.006	0.010	0.003	-6.762	266.738	355.752	320512820.513	301.500
0.080	2.000	0.589	-6.673	266.827	358.472	#####	301.500
0.350	0.152	0.045	-11.001	284.501	1343.514	168269230769.231	301.500
0.040	1.026	0.302	-12.346	285.846	1468.135	363247963.248	301.500
0.010	0.031	0.009	-21.410	294.910	2606.067	2350427350.427	301.500
0.001	0.001	0.000	-21.686	295.186	2650.367	#####	301.500
0.010	0.034	0.010	-21.695	295.195	2651.795	53418803.419	1319.500
0.000	0.100	0.029	-22.000	295.500	2701.463	0.000	1319.500

06.09
COS.02 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente

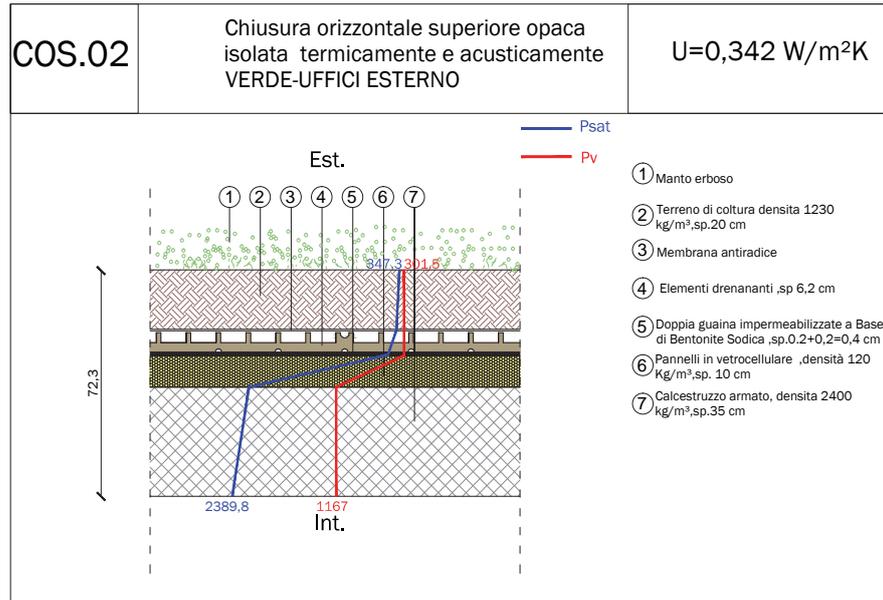
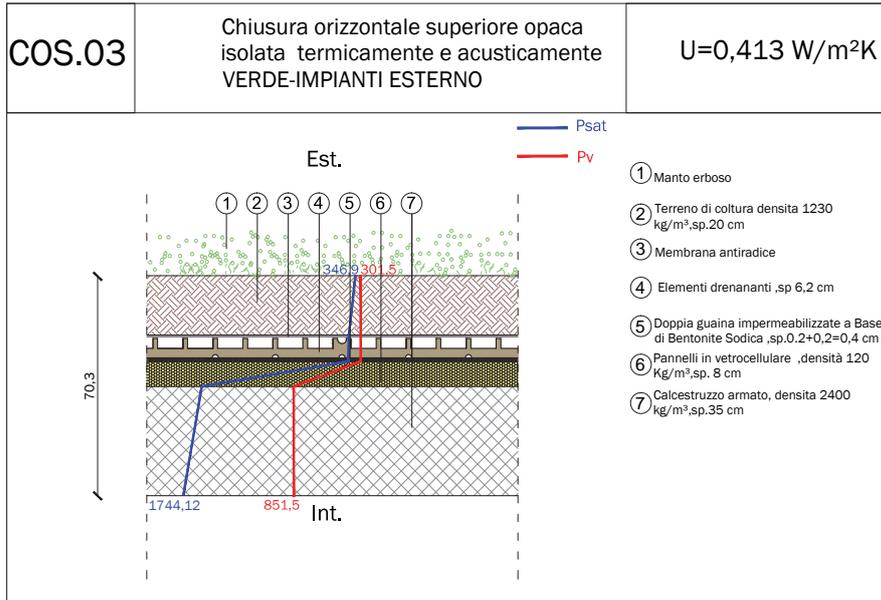


Tabella 06.10
COS.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

COS.02	TI	20	ΔT	26	U	di	0,342
	Te	-8			spessore	R	
	λ	c	ρ	μ	m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
Terreno di Coltura	2,000	0,200	1230	1	0,200	0,100	
Membrana Antiradice	1,000	1,000	1	1	0,000	0,000	
Elementi drenanti	2,000	1,000	1	1	0,062	0,031	
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,006	0,010	
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,006	0,010	
Isolamento Termico in Vetro Cellulare	0,040	0,233	120	1E+22	0,100	2,500	
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Ascendente	10,000	0,000	0	1	1,000	0,100	

Psat(20°C)	2334	φl	0,5	Pvl	1167	Rv tot	5,34188E+30
Psat(-8°C)	335	φe	0,9	Pve	301,5	gv	1,62022E-28
spessore	R	R/Rt	Ti parziale	Ti parziale	Psat	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
0,000	0,019	0,007	-7,042	266,458	347,251	0,000	301,500
0,200	0,100	0,034	-6,858	266,642	352,820	1068376068,376	301,500
0,000	0,000	0,000	-5,900	267,600	383,112	0,000	301,500
0,062	0,031	0,011	-5,900	267,600	383,112	331196581,197	301,500
0,006	0,010	0,003	-5,603	267,897	392,973	320512820,513	301,500
0,006	0,010	0,003	-5,307	267,993	396,204	320512820,513	301,500
0,100	2,500	0,855	5,411	268,089	399,458	#####	301,500
0,350	0,152	0,052	18,542	292,042	2182,851	168268230769,231	1167,000
0,000	0,100	0,034	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000



06.10
 COS.03 Chiusura orizzontale superiore opaca isolata termicamente e acusticamente

COS.03	Tl	15	ΔT	23	U progetto di 0,413	
	Te	-8			spessore m	R mq/K/W
	λ W/mK	ρ Wt/kgK	ρ kg/mc	μ		
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019
Terreno di Coltura	2,000	0,200	1230	1	0,200	0,100
Membrana Antiradice	1,000	1,000	1	1	0,000	0,000
Elementi drenanti	2,000	1,000	1	1	0,062	0,031
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,006	0,010
Tappeto Impermeabilizzate a Base di Bentonite Sodica	0,600	0,300	833	10	0,006	0,010
Isolamento Termico in Vetro Cellulare	0,040	0,233	120	1E+22	0,080	2,000
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Ascendente	10,000	0,000	0	1	1,000	0,100

Tabella 06.11
 COS.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Psat(15 °C)	1703	φl	0,5	Pvl	851,5	Rv tot	4,2735E+30
Psat(-8 °C)	335	φe	0,9	Pve	301,5	gv	1,287E-28
spessore m	R mq/K/W	R/Rt	Tl parziale °C	Tl parziale K	Psat Ps	Rv	Pv
0,000	0,019	0,008	-7,051	266,449	346,991	0,000	301,500
0,200	0,100	0,041	-6,868	266,832	352,505	1068376068,376	301,500
0,000	0,000	0,000	-5,919	267,581	382,488	534188,034	301,500
0,062	0,031	0,013	-5,918	267,582	382,519	331196581,197	301,500
0,006	0,010	0,004	-5,623	267,877	392,276	320512820,513	301,500
0,006	0,010	0,004	-5,528	267,972	395,472	320512820,513	301,500
0,080	2,000	0,826	-5,433	268,067	398,691	#####	301,500
0,350	0,152	0,063	13,555	287,055	1588,696	168269230769,231	851,500
0,000	0,100	0,041	15,000	288,500	1744,122	0,000	851,500

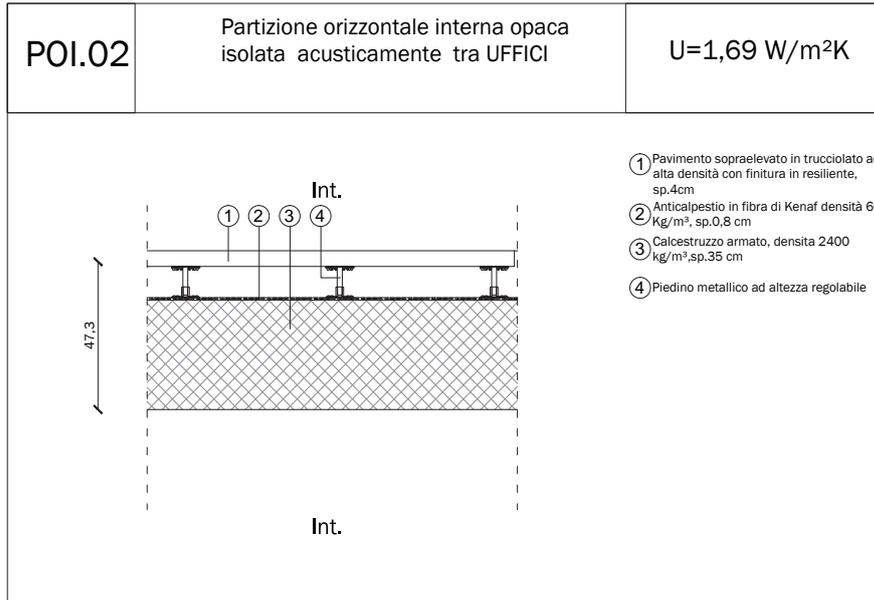
06.11
POI.01 Partizione
orizzontale interna
opaca isolata acusti-
camente

POI.01	Partizione orizzontale interna opaca isolata acusticamente HOTEL	U=0,53 W/m²K
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Int.</p> <p>Int.</p> </div> <div style="font-size: small;"> <p>① Pavimento in linoleum naturale sp.1 cm ② Massetto in CLS alleggerito con argilla espansa, densità 1500 kg/m³, sp. 10cm ③ Anticalpestio in fibra di Kenaf densità 60 Kg/m³, sp.0,8 cm ④ Calcestruzzo armato, densità 2400 kg/m³, sp.35 cm ⑤ Pannello in fibra naturale di Kenaf densità 20 Kg/m³, sp.4 cm ⑥ Profilo guida a "U" in acciaio zincato, 50x27x0.6 mm ⑦ Lastra in fibrogesso densità 900 kg/m³, sp. 1 cm ⑧ Pendino metallico ⑨ Pannello in granulato di vetro riciclato, densità 2500 kg/m³, sp.1 cm</p> </div> </div>		

Tabella 06.12
POI.01 Tabella calcolo
trasmissione e conden-
za interstiziale

POI.01	TI	22	ΔT	4	U	di	0,532
	Te	18					
	λ	c	ρ	μ	spessore	R	
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
Pavimentazione in Linoleum Naturale	0,220	0,500	1200	1	0,010	0,045	
CLS Alleggerito Con Argilla Espansa	0,370	0,210	1500	90	0,100	0,270	
Tappeto Anticalpestio in Fibre di Kenaf	0,040	0,583	60	2	0,008	0,200	
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152	
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,040	1,026	
Pannello in Fibrogesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Pannelli in Granulato di Vetro Riciclato	0,290	0,220	2500	1	0,010	0,034	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Ascendente	10,000	0,000	0	1	1,000	0,100	

Pset(22°C)	2639	qi	0,5	Pvj	1319,5	Rv tot	2,19252E+11
Pset(18°C)	2061	qe	0,5	Pve	1030,5	rv	1,31812E-09
spessore	R	R/Rt	TI parziale	TI parziale	Pset	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
0,000	0,019	0,010	18,213	291,713	2138,378	0,000	1094,054
0,010	0,045	0,024	18,254	291,754	2143,868	53418803,419	1094,054
0,100	0,270	0,144	18,351	291,851	2156,896	48076923076,923	1094,054
0,008	0,200	0,106	18,926	292,426	2235,796	85470085,470	1094,054
0,350	0,152	0,081	19,352	292,852	2295,796	168269230769,231	1094,054
0,040	1,026	0,546	19,676	293,176	2342,388	363247863,248	1315,853
0,010	0,031	0,017	21,860	295,360	2678,550	2350427350,427	1316,331
0,010	0,034	0,018	21,927	295,427	2689,422	53418803,419	1319,430
0,000	0,100	0,053	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500



06.12
POI.02 Partizione orizzontale interna opaca isolata acusticamente

POI.02	TI	20	ΔT		5	U di progetto		1,692
	Te	15	λ	c	ρ	μ	spessore	R
	W/mK	Wt/kgK	kg/mc			m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Discendente	5,900	0,000	0	1	1,000	0,169		
Tappeto Anticalpestio in Fibre di Kenaf	0,040	0,583	60	2	0,010	0,250		
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152		
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019		

Tabella 06.13
POI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

P _{sat} (20 °C)	2334	φl	0,5	P _{vl}	1167	R _{v tot}	1,68376E+11
P _{sat} (15 °C)	1703	φe	0,5	P _{ve}	851,5	g _v	1,87378E-09
spessore m	R mqK/W	R/Rt	TI parziale °C	TI parziale K	P _{sat} Pa	R _v	P _v Pa
0,000	0,169	0,287	15,163	288,663	1762,436	0,000	851,700
0,010	0,250	0,423	16,597	290,097	1931,286	106837606,838	851,700
0,350	0,152	0,258	18,712	292,212	2206,190	168269230769,231	851,700
0,000	0,019	0,033	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000

06.13
POI.03 Partizione
orizzontale interna
opaca isolata acusti-
camente

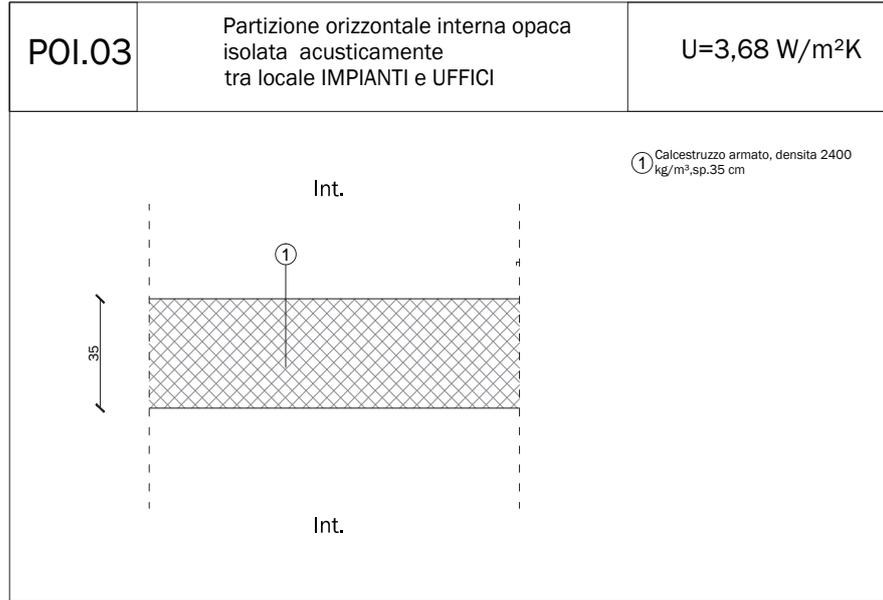
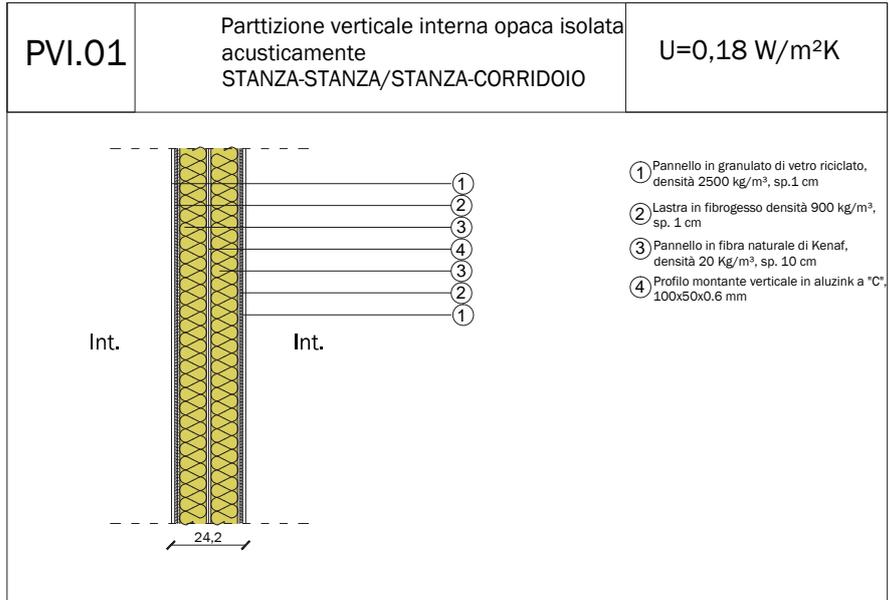


Tabella 06.14
POI.03 Tabella calcolo
trasmissione e conden-
za interstiziale

POI.03	Ti	20	ΔT	5	U	di	3,685
	Te	15		s	progetto	m	R
	λ	c	ρ	μ	spessore	R	mqK/W
	W/mK	Wh/kgK	kg/mc		m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019	
CA	2,300	0,210	2400	90	0,350	0,152	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Ascendente	10,000	0,000	0	1	1,000	0,100	

Pset(20 °C)	2334	φl	0,5	Pvl	1167	Rv tot	1,68269E+11
Pset(15 °C)	1703	φe	0,9	Pve	1532,7	gv	-2,1733E-09
spessore	R	R/Rt	Ti parziale	Ti parziale	Pset	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
0,000	0,019	0,071	16,842	290,342	1961,548	0,000	1532,700
0,350	0,152	0,561	17,197	290,697	2005,980	168269230769,231	1532,700
0,000	0,100	0,368	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000



06.14
 PVI.01 Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente

PVI.01	TI	22	ΔT	4	U progetto di 0,181	
	Te	18	ρ	μ <th>spessore m</th> <th>R mq/K/W</th>	spessore m	R mq/K/W
	λ	c	kg/mc			
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130
Pannelli in Granulato di Vetro Riciclato	0,290	0,220	2500	1	0,010	0,034
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,200	5,128
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Pannelli in Granulato di Vetro Riciclato	0,290	0,220	2500	1	0,010	0,034
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130

Tabella 06.15
 PVI.01 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Psat(22°C)	2639	qi	0,5	Pvi	1319,5	Rv tot	6623931624
Psat(18°C)	2061	qe	0,5	Pve	1030,5	gv	4,36297E-08
spessore m	R mqK/W	R/Rt	Ti parziale °C	Ti parziale K	Psat Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,130	0,024	18,094	291,594	2122,515	0,000	1030,500
0,010	0,034	0,006	18,188	291,688	2135,072	53418803,419	1030,500
0,010	0,031	0,006	18,213	291,713	2138,417	2350427350,427	1032,831
0,200	5,128	0,929	18,236	291,736	2141,452	1816239316,239	1135,379
0,010	0,031	0,006	21,952	295,452	2693,645	2350427350,427	1214,621
0,010	0,034	0,006	21,975	295,475	2697,359	53418803,419	1317,169
0,000	0,130	0,024	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500

06.15
PVI.02 Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente

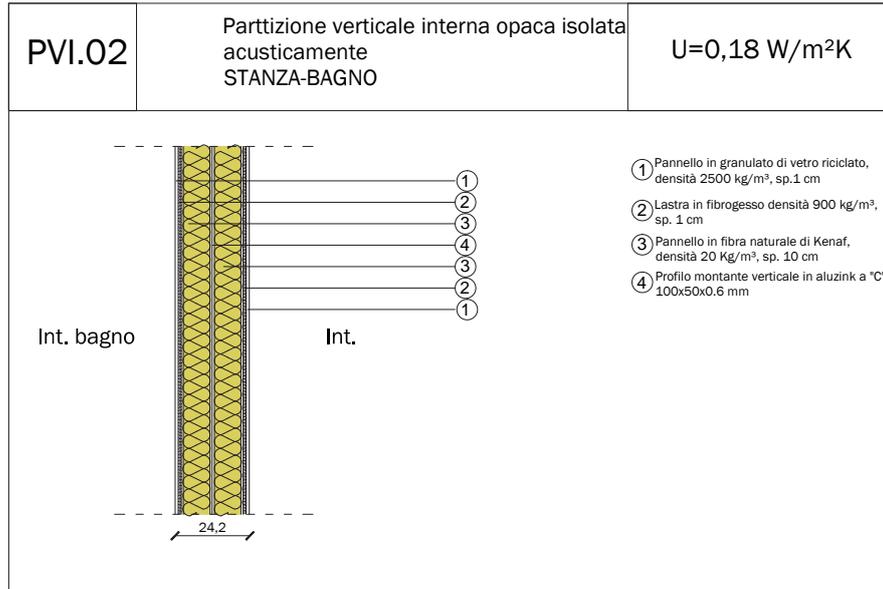
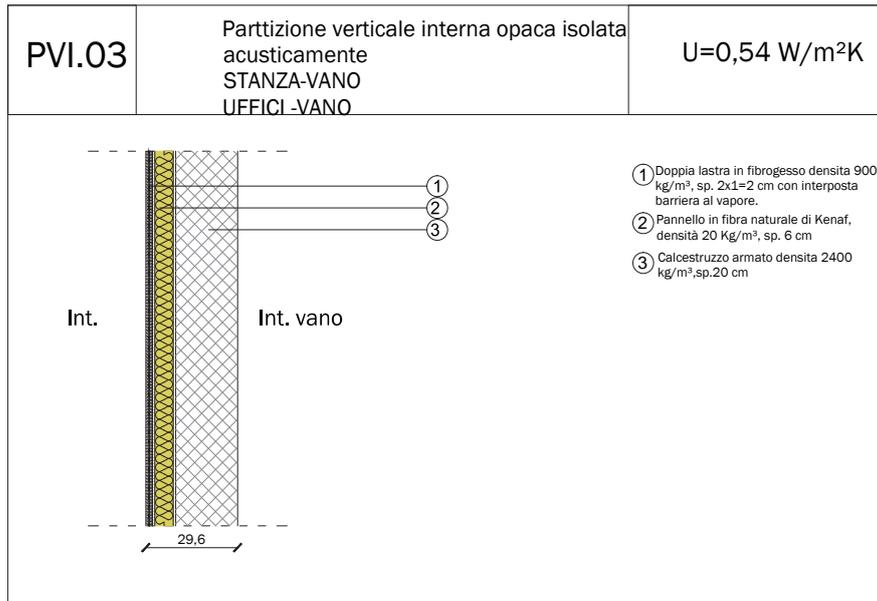


Tabella 06.16
PVI.02 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

PVI.02	TI	22	ΔT	0	U progetto	0,181
	Te	22				
	λ	c	ρ	μ	spessore	R
	W/mK	Wh/kgK	kg/m³		m	mqK/W
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7.700	0.000	0	1	1.000	0.130
Pannelli in Granulato di Vetro Riciclato	0.290	0.220	2500	1	0.010	0.034
Pannello in Fibrogesso	0.320	0.302	900	44	0.010	0.031
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0.039	0.583	20	1.7	0.200	5.128
Pannello in Fibrogesso	0.320	0.302	900	44	0.010	0.031
Pannello in Fibrogesso	0.320	0.302	900	44	0.010	0.031
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7.700	0.000	0	1	1.000	0.130

Psat(22°C)	2639	φl	1	Pvl	2639	Rv tot	8920940171
Psat(22°C)	2639	φe	0.9	Pve	2375.1	gv	2.95821E-08
spessore	R	R/Rt	TI parziale	TI parziale	Psat	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
0.000	0.130	0.024	22,000	295,500	2701.463	0,000	2375.100
0.010	0.034	0.006	22,000	295,500	2701.463	53418803.419	2375.100
0.010	0.031	0.006	22,000	295,500	2701.463	2350427350.427	2376.680
0.200	5.128	0.930	22,000	295,500	2701.463	1816239316.239	2446.211
0.010	0.031	0.006	22,000	295,500	2701.463	2350427350.427	2499.939
0.010	0.031	0.006	22,000	295,500	2701.463	2350427350.427	2569.469
0.000	0.130	0.024	22,000	295,500	2701.463	0,000	2639.000



06.16
PVI.03 Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente

PVI.03	TI	22	ΔT	7	U progetto di 0,544	
	Te	15	ρ	kg/mc	spessore m	R mol/K/W
	A	c	μ			
	W/mK	Wh/kgK				
Coefficiente Liminare Esterno	52,000	0,000	0	1	1,000	0,019
CA	2,300	0,210	2400	90	0,200	0,087
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,060	1,538
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700	0,000	0	1	1,000	0,130

Tabella 06.17
PVI.03 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

Pst(22°C)	2639	φl	0,5	Pvl	1319,5	Rv tot	5,34188E+84
Pst(15°C)	1703	φe	0,9	Pve	1532,7	g'	-3,9911E-83
spessore m	R mol/K/W	R/Rt	TI parziale °C	TI parziale K	Pst Pa	Rv	Pv Pa
0,000	0,019	0,010	15,495	288,995	1800,340	0,000	1532,700
0,200	0,087	0,047	15,568	289,068	1808,798	96153846153,846	1532,700
0,060	1,538	0,837	15,899	289,399	1847,480	544871794,872	1532,700
0,010	0,031	0,017	21,761	295,261	2662,518	2350427350,427	1532,700
0,000	0,000	0,000	21,881	295,381	2681,898	#####	1532,700
0,010	0,031	0,017	21,881	295,381	2681,960	2350427350,427	1319,500
0,000	0,130	0,071	22,000	295,500	2701,463	0,000	1319,500

06.17
PVI.04 Partizione verticale interna opaca isolata acusticamente

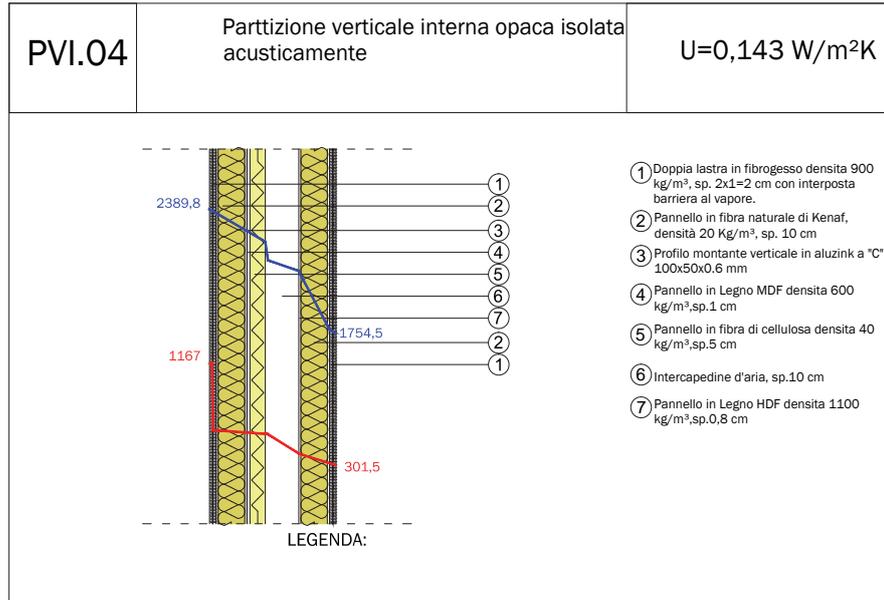


Tabella 06.18
PVI.04 Tabella calcolo trasmittanza e condensa interstiziale

PVI.04	TI	20	ΔT	5	U	di	0,143
	Te	15					
	λ	c	ρ	μ	spessore	R	
	W/mK	Whv/kgK	kg/mc		m	mqK/W	
Coefficiente Liminare Esterno	52,000				1,000	0,019	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,100	2,564	
Pannello in Legno MDF	0,140	0,472	600	15	0,010	0,071	
Intercapedine d'aria					0,050	0,180	
Isolamento Termico in Pannelli di Fibra di Cellulosa	0,039	0,528	40	1,7	0,050	1,282	
Pannello in Legno MDF	0,140	0,472	600	15	0,010	0,071	
Isolante Acustico in Fibre di Kenaf	0,039	0,583	20	1,7	0,100	2,564	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Barriera al vapore in fogli d'alluminio, poliestere e polietilene	1,000	1,000	1800	1E+79	0,000	0,000	
Pannello in Fibregesso	0,320	0,302	900	44	0,010	0,031	
Coefficiente Liminare Interno con Flusso Orizzontale	7,700				1,000	0,130	

Psat(20 °C)	2334	gl	0,5	Pvl	1167	Rv tot	1,06838E+85
Psat(15 °C)	1703	φe	0,5	Pve	851,5	gv	2,95308E-83
spessore	R	R/Rt	Ti parziale	Ti parziale	Psat	Rv	Pv
m	mqK/W		°C	K	Pa		Pa
1,000	0,019	0,003	-5,518	267,982	1754,530	5341880341,880	851,500
0,010	0,031	0,004	-5,447	268,053	1756,076	2350427350,427	851,500
0,000	0,000	0,000	-5,331	268,169	1758,591	#####	851,500
0,010	0,031	0,004	-5,330	268,170	1758,599	2350427350,427	1009,250
0,100	2,564	0,366	-5,215	268,285	1761,117	908119658,120	1009,250
0,010	0,071	0,010	4,299	277,799	1978,796	801282051,282	1009,250
0,050	0,180	0,026	4,564	278,064	1985,183	267094017,094	1009,250
0,050	1,282	0,183	5,232	278,732	2001,358	454059829,060	1009,250
0,010	0,071	0,010	9,989	283,489	2119,946	801282051,282	1009,250
0,100	2,564	0,366	10,254	283,754	2126,731	908119658,120	1009,250
0,010	0,031	0,004	19,788	293,268	2383,202	2350427350,427	1009,250
0,000	0,000	0,000	19,884	293,384	2386,488	#####	1009,250
0,010	0,031	0,004	19,884	293,384	2386,498	2350427350,427	1167,000
0,000	0,130	0,019	20,000	293,500	2389,788	0,000	1167,000

6.3 Fabbisogno energetico per il riscaldamento e raffrescamento

I calcoli che verranno svolti secondo la norma UNI TS 11300 hanno la funzione di determinare le caratteristiche prestazionali dell'intero edificio per quanto riguarda il riscaldamento e il raffrescamento.

La procedura di calcolo comprende i seguenti passi:

- 1) Definizione dei confini dell'insieme degli ambienti climatizzati e non climatizzati dell'edificio.
- 2) Se richiesta, definizione dei confini delle diverse zone di calcolo.
- 3) Definizione delle condizioni interne di calcolo e dei dati di ingresso relativi al clima esterno.
- 4) Calcolo, per ogni mese e per ogni zona dell'edificio, dei fabbisogni netti di energia termica per il riscaldamento (QH,nd) e il raffrescamento (QC,nd).
- 5) Aggregazione dei risultati relativi ai diversi mesi ed alle diverse zone servite dagli stessi impianti.

6.3.1 Guadagni termici

Per il calcolo del carico termico estivo dovranno essere presi in considerazione tutti gli elementi che concorrono all'aumento della temperatura interna:

- Apporto interno dovuto alle persone
- Apporto interno dovuto all'illuminazione
- Apporto interno dovuto alle apparecchiature interne
- Guadagni radiazione solare diretta
- Guadagni dovuti all'effetto serra di doppia pelle e serre (che non verranno computati in questo specifico capitolo ma dopo).

L'apporto di ciascun guadagno interno sarà facilmente differenziabile per funzione: è normale aspettarsi che i maggiori carichi interni saranno dovuti, negli uffici, alla forte presenza di macchinari.

L'apporto dovuto all'illuminazione sarà molto basso grazie a una fase di progettazione molto oculata che ha portato a sfruttare il più possibile la luce naturale, dovutamente schermata tramite oggetti in modo da non rappresentare un carico troppo gravoso nel periodo estivo.

Mentre nel periodo invernale le serre saranno fonte gratuita di guadagni, nel periodo estivo verranno disattivate (aperte) in modo tale da non gravare ulteriormente sul bilancio complessivo.

Apporto interno dovuto alle persone

I valori di calore (sensibile e latente) emesso dalle persone sono in funzione dell'attività svolta e sono stati presi da tabelle presenti nelle varie manualistiche relative al pensionamento di impianti.

L'affollamento di ogni locale è stato calcolato o tramite l'affollamento massimo determinato dai calcoli per l'antincendio o tramite l'affollamento reale (ad esempio nelle stanze).

Apporto interno dovuto all'illuminazione

Il guadagno di calore dovuto all'illuminazione è una parte non trascurabile del

carico termico ambiente ed è, quindi, necessario valutarlo con attenzione. Dato il fatto che non è stato progettato l'impianto d'illuminazione si sono usati dei valori forfettari per superficie dedotti dalla manualistica sul tema.

Apporto dovuto alle apparecchiature interne

Nel calcolo del carico termico occorre tener conto anche del calore sensibile e latente emesso negli ambienti da tutti i dispositivi elettronici presenti.

Sono state utilizzati i valori dei singoli apparecchi, quando possibile, deducendo i valori dalla manualistica di riferimento.

Nel caso sporadico in cui non fosse possibile determinare con precisione gli apparecchi presenti si sono scelti valori forfettari, suggeriti nella manualistica da applicare rispetto alla superficie del locale.

Radiazione solare attraverso le superfici vetrate

Il flusso termico da apporti solari attraverso l'elemento edilizio vetrato espresso in watt, è dato dall'equazione):

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k}$$

dove:

$F_{sh,ob,k}$ è il fattore di riduzione per ombreggiatura relativo ad ostacoli esterni per l'area soleggiata efficace della superficie k,

$A_{sol,k}$ è l'area di captazione efficace della superficie k con dato orientamento e angolo di inclinazione, nella zona considerata, espressa in metri quadrati;

L'area soleggiata efficace viene calcolata ora per ora nel giorno medio mensile ed è funzione di:

- L'area del serramento [si]
- La percentuale vetrata [bi]
- La presenza di oscuramenti [schermature]
- La percentuale di vetro colpito realmente dal raggio solare (la parte ombreggiata viene calcolata geometricamente tramite i valori α e β relativi al mese e all'ora nonché agli oggetti orizzontali e verticali)
- Il calore di trasmissione SC proprio del vetro
- Fattore di trasmissione effettivo medio mensile della radiazione solare differenziato per esposizione attraverso la superficie vetrata [fmi]

Tabella 06.19
Tabella dimostrativa di come sono state calcolate le $A_{sol,k}$

	Mese					
	sei-si	si	bi	sc	fmi	schermature
s n o e						

$I_{sol,k}$ è l'irradianza solare, il valore medio dell'energia relativa all'irraggiamento solare su un passo di tempo del calcolo, per metro quadrato di area di captazione della superficie k, con dato orientamento e angolo di inclinazione, espressa in watt al metro quadrato.

I valori di irradianza solare media mensile per ogni esposizione alle differenti ore del giorno sono stati ottenuti tramite il programma di calcolo Solrad al variare di Hb e Hd.

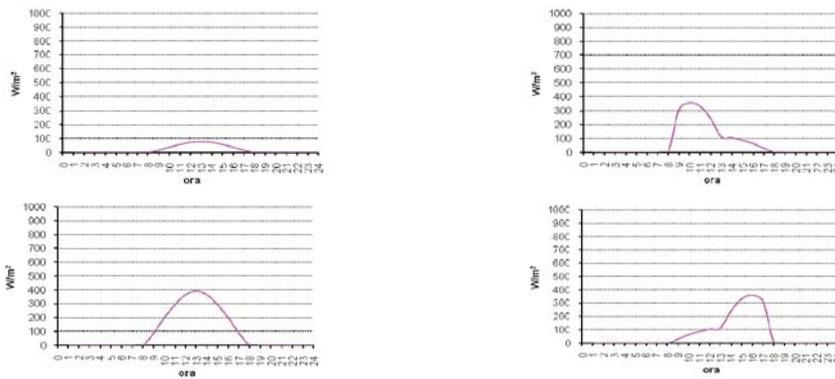


Grafico 06.01
Rappresentazione grafica andamento I_t totale per orientamento Nord, Est, Sud, Ovest

Mentre i carichi interni verranno espressi per singoli locali e poi raggruppati per piano i guadagni solari verranno espressi direttamente per ogni singolo piano. Come verrà approfondito nel capitolo tecnologico la scelta dei vetri è stato un aspetto particolarmente importante nella progettazione del TIN-Tin bulding: un involucro completamente vetrato favorisce lo sfruttamento della luce naturale e crea un ambiente decisamente più piacevole, ma se non attentamente studiato può creare un vero e proprio effetto serra, con aumento esponenziale delle temperature.

Effettivamente nella normale progettazione di edifici alti per uffici questo aspetto non viene approfondito, con conseguente necessità di sovradimensionamento degli impianti di climatizzazione.

Carichi interni: Risultati numerici Hotel

Di seguito verranno esposti i risultati numerici dei carichi interni utilizzati per alcuni locali tipo.

Ovviamente i calcoli sono stati effettuati per ogni tipo di locale (così si vedrà nei prospetti riassuntivi di hotel e uffici) ma, per non dilungarci troppo ne vengono riportati solo una parte ritenuta particolarmente interessante.

- Camera Confort:

Carichi dovuti all'affollamento					
Numero persone	Attività	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
2	Riposo	115	8	1840	199

Tabella 06.20
Tabelle carichi interni per hotel e uffici

Carichi dovuti agli elettrodomestici presenti					
Quantità	Elemento	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
1	televisore	100	2	200	22
1	bollitore				50
1	fono	300	0,2	60	6
1	aspirapolvere	1600	0,1	160	17

Carichi dovuti all'illuminazione						
m ²	W/m ²	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]	Periodo dell'anno
25	6	150	6	900	97	INV
25	6	150	6	900	97	PRI
25	6	150	4	600	65	EST
25	6	150	6	900	97	AUT

- Ristorante

Carichi dovuti all'affollamento					
Persone	Attività	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
144	Attività sedentaria + cibo	160	3	27648	2984
6	Attività lavorativa	235	9	7614	822
2	Attività lavorativa	235	19	5358	578

Tabella 06.20
Tabelle carichi interni
per hotel e uffici

Carichi dovuti agli elettrodomestici presenti e all'illuminazione						
m ²	W/m ²	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]	
330	20	6600	7	46200	4986	INV
330	20	6600	6	39600	4273	PRI
330	20	6600	5	33000	3561	EST
330	20	6600	6	39600	4273	AUT

- Hall

Carichi dovuti all'affollamento									
Persone in 100 m ²	m ²	Persone	Coeff di contemporaneità	Persone effettive	Attività	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
30	180	54	0,6	32,4	Attività lavorativa leggera	120	24	93312	10070

Carichi dovuti agli elettrodomestici presenti					
Quantità	Elemento	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
3	computer	150	8	3600	388

Carichi dovuti all'illuminazione						
m ²	W/m ²	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]	
180	6	1080	16	17280	1865	INV
180	6	1080	12	12960	1399	PRI
180	6	1080	8	8640	932	EST
180	6	1080	12	12960	1399	AUT

Carichi interni: Risultati numerici Uffici

Carichi dovuti all'affollamento					
Persone	Attività	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
66	Attività lavorativa leggera	130	8	68640	7407

Tabella 06.20
Tabelle carichi interni
per hotel e uffici

Carichi dovuti agli elettrodomestici presenti					
Quantità	Elemento	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]
60	computer	150	8	72000	7770
40	stampanti	300	4	48000	5180
2	macchine caffè	1700	4	13600	1468
1	forno a microonde	1300	4	5200	561
1	aspirapolvere	1600	1	1600	173
4	fotocopiatrici	1300	4	20800	2245
1	frigo	260	4	1040	112

Carichi dovuti all'illuminazione						
m ²	W/m ²	Produzione di calore [Watt]	Ore	Calore Emesso [Wh/g]	Calore Emesso [MJ/mese]	Stagione
570	6	3420	2	6840	738	INV
570	6	3420	2	6840	738	PRI
570	6	3420	2	6840	738	EST
570	6	3420	2	6840	738	AUT

Carichi termici: Risultati numerici Hotel

Oltre ad esporre tramite tabelle excel riassuntive, verranno sottolineati anche i valori inseriti e tratte alcune conclusioni.

I grafici sono unicamente qualitativi e in base alla media pesata sui vari mesi dei vari apporti.

Una prima semplificazione comune a tutto il calcolo dei carichi termici dell'Hotel è che si è tenuto conto del carico dell'affollamento unicamente nel piano stanze. L'hp semplificativa è quindi che l'hotel sia al completo.

Tabella 06.21
Tabelle carichi interni e guadagni solari per i 6 piani di stanze nell'hotel

6 piani stanze												
	gennaio kWh	febbraio kWh	marzo kWh	aprile kWh	maggio kWh	giugno kWh	luglio kWh	agosto kWh	settembre kWh	ottobre kWh	novembre kWh	dicembre kWh
Qs sud	2	5	4	10	15	15	11	11	10	6	3	2
Qs est	5	9	9	20	27	25	16	19	19	14	7	4
Qs ovest	7	13	15	30	39	35	27	27	28	18	9	5
Qs nord	3	7	13	20	26	28	25	22	18	10	5	3
Qp mensile	525	985	1262	2488	3004	3185	2355	2373	2250	1453	697	404
Affollam	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416	416
Illuminaz	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377
Macchin	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305	305
Qtm	1622	2082	2360	3585	4102	4282	3452	3470	3347	2550	1794	1501
Qtm 6 piani stanze	9733	12493	14158	21511	24610	25695	20713	20818	20081	15301	10763	9007

Considerazioni:

- grazie all'attento studio delle ombre portate dai balconi il calore entrante dalle vetrare poste a sud è minore rispetto a quello entrante dagli altri affacci
- non si è tenuto conto dei guadagni derivanti dall'effetto della doppia pelle
- il carico termico è determinato in larga parte (61%) dai guadagni solari

Grafico 06.02
Grafico percentuali apporto guadagni solari sui diversi fronti piani stanze

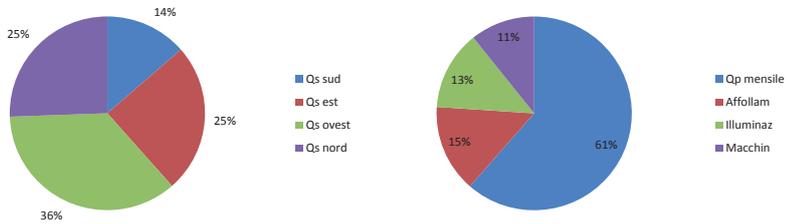


Grafico 06.03
Grafico percentuali apporto guadagni solari e carichi interni piani stanze

P3 (lobby)												
	gennaio kWh	febbraio kWh	marzo kWh	aprile kWh	maggio kWh	giugno kWh	luglio kWh	agosto kWh	settembre kWh	ottobre kWh	novembre kWh	dicembre kWh
Qs sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs est	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs ovest	7	14	26	40	53	57	51	45	35	21	9	5
Qs nord	3	7	13	20	26	28	25	22	18	10	5	3
Qp mensile	333	641	1215	1854	2207	2608	2257	2024	1590	944	421	241
Illuminaz	1484	1484	1214	1214	944	944	944	944	1214	1214	1484	1484
Macchin	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108
Qtm	1925	2233	2537	3176	3259	3661	3309	3077	2912	2266	2013	1833

Tabella 06.22
Tabelle carichi interni e guadagni solari per P3 hotel

P3 (Palestra e spogliatoio)												
	gennaio kWh	febbraio kWh	marzo kWh	aprile kWh	maggio kWh	giugno kWh	luglio kWh	agosto kWh	settembre kWh	ottobre kWh	novembre kWh	dicembre kWh
Qs sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs est	8	15	27	40	53	57	51	45	36	21	10	5
Qs ovest	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs nord	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qp mensile	233	437	823	1252	1496	1769	1530	1364	1073	643	287	164
Illuminaz	424	424	378	378	331	331	331	331	378	378	424	424
Qtm	658	861	1200	1630	1827	2100	1861	1695	1451	1020	712	588

Considerazioni:

- non si è tenuto conto dei macchinari della palestra ma si è usato un valore per l'illuminazione/mq che ne tiene conto in modo forfettario
- non ci sono guadagni solari da sud perchè è confinante con l'expo

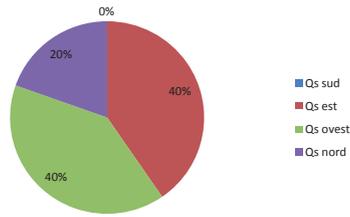


Grafico 06.04
Grafico percentuali ap-
porto guadagni solari
sui diversi fronti piano
P3

P2												
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Qs sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs est	9	17	18	34	46	42	31	36	32	23	13	7
Qs ovest	8	15	17	30	40	36	31	32	29	18	10	6
Qs nord	3	7	13	19	25	27	24	22	17	10	4	3
Qp mensile	627	1147	1476	2611	3115	3241	2600	2695	2358	1551	813	469
illuminaz	1385	1385	1187	1385	1385	1385	1385	1385	1187	1187	1385	1385
Qtm	2012	2532	2663	3996	4500	4626	3985	4080	3545	2738	2197	1853

Tabella 06.23
Tabelle carichi interni
e guadagni solari per
P2 nell'hotel

Considerazioni:

- non si è tenuto conto degli apporti di illuminazione e macchinari del locale cucina
- non ci sono guadagni solari da sud perchè confina con l'expo

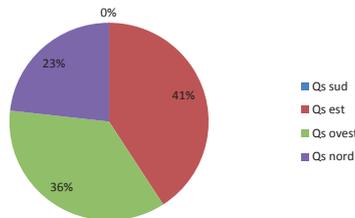


Grafico 06.05
Grafico percentuali ap-
porto guadagni solari
sui diversi fronti piano
P2

PT e P1												
	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Qs sud	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs est	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Qs ovest	10	19	22	44	58	52	40	41	42	27	13	7
Qs nord	7	14	26	40	52	56	50	45	35	21	9	5
Qp mensile	522	981	1487	2605	3074	3345	2686	2579	2331	1416	662	381
illuminaz	863	863	863	863	863	863	863	863	863	863	863	863
Macchin	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791	1791
Qtm	3177	3636	4141	5260	5728	5999	5341	5234	4985	4071	3317	3036

Tabella 06.23
Tabelle carichi interni
e guadagni solari per
PT e P1 nell'hotel

Considerazioni:

- la chiusura a est è cieca
- non ci sono guadagni solari da sud perchè confina con l'expo

I carichi termici totali della parte hotel, considerati i guadagni solari e i carichi interni sono:

	gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
Qtm TOTALE	17504	21756	24699	35572	39924	42081	35209	34904	32974	25396	19001	16318

Tabella 06.24
Tabelle carichi termici
totali hotel

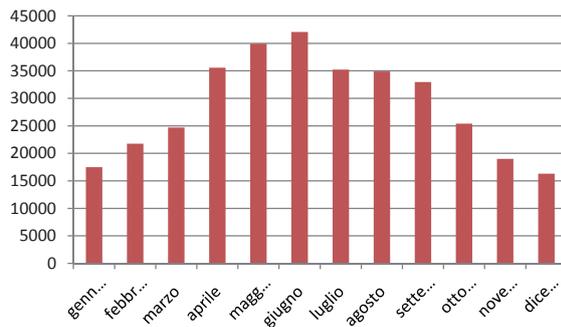


Grafico 06.06
Grafico carichi termici
totali hotel mensili

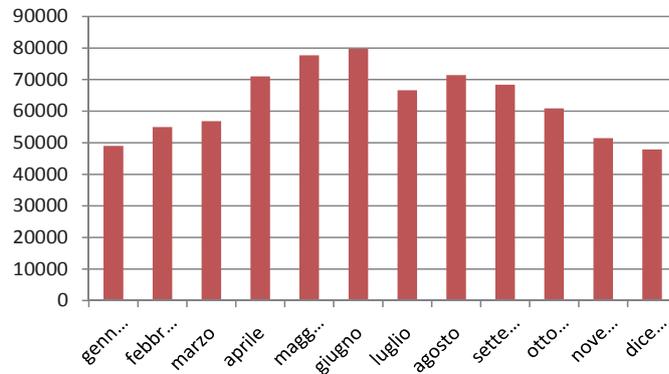
Carichi termici : Risultati numerici Uffici

Di seguito il riassunto tramite tabella excel dei risultati numerici dei guadagni per gli uffici:

Tabella 06.25
Tabelle carichi interni
e guadagni solari uffici

Uffici												
	gennaio kWh	febbraio kWh	marzo kWh	aprile kWh	maggio kWh	giugno kWh	luglio kWh	agosto kWh	settembre kWh	ottobre kWh	novembre kWh	dicembre kWh
Qs sud	9	19	16	43	64	65	45	44	41	27	15	9
Qs est	12	22	23	45	60	54	41	47	42	34	16	10
Qs ovest	11	22	25	45	59	53	46	47	43	31	15	9
Qs nord	4	7	13	20	27	29	26	23	18	11	5	3
Guadagno solare totale	1103	2094	2410	4770	5886	6224	4733	4846	4334	3083	1513	911
Affollam	2058	2058	2058	2058	2058	2058	1852	2058	2058	2058	2058	2058
Illuminazione	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144	144
Macchin	4863	4863	4863	4863	4863	4863	4377	4863	4863	4863	4863	4863
Qtm singolo piano	8167	9158	9475	11834	12951	13289	11106	11910	11398	10147	8578	7976
Qtm totale	49005	54949	56848	71006	77703	79731	66633	71460	68388	60883	51466	47855

Grafico 06.07
Grafico carichi termici
totali uffici mensili



Alcune conclusioni che possono essere dedotte dai risultati:

- negli uffici il controllo dei carichi termici estivi è di primaria importanza in quanto molto prevedibilmente il caso estivo sarà il caso più critico per il dimensionamento degli impianti;
- i guadagni solari a sud sono stati controllati grazie alla presenza di aggetti;
- nel mese di luglio i carichi interni sono inferiori perchè di norma è il mese di ferie in belgio e quindi abbiamo dimezzato i carichi interni dovuti ad affollamento e macchinari;
- i guadagni sono molto alti da aprile fino ad ottobre: come ci si attendeva il periodo di riscaldamento nell'edificio ad uffici sarà inferiore ai 250 giorni (valore di norma utilizzato per edifici a Bruxelles);
- non si è tenuto conto dei guadagni dovuti alle due serre a sud e agli apporti della doppia pelle;
- sebbene i mesi più caldi siano agosto e luglio (con i loro 18° C medi mensili) il mese con maggior carico termico risulta giugno;
- grazie allo sfruttamento della luce naturale i carichi da illuminazione non sono particolarmente onerosi, mentre quelli dovuti ai computer e le altre attrezzature interne rappresentano quasi in ogni mese i carichi critici.

Di seguito i grafici mensili per:

- le percentuali di guadagni per ogni esposizione
- le percentuali di guadagni suddivisi tra solari, affollamento, illuminazione e macchinari

I
N
V
E
R
N
O

P
R
I
M
A
V
E
R
A

E
S
T
A
T
E

A
U
T
U
N
N
O

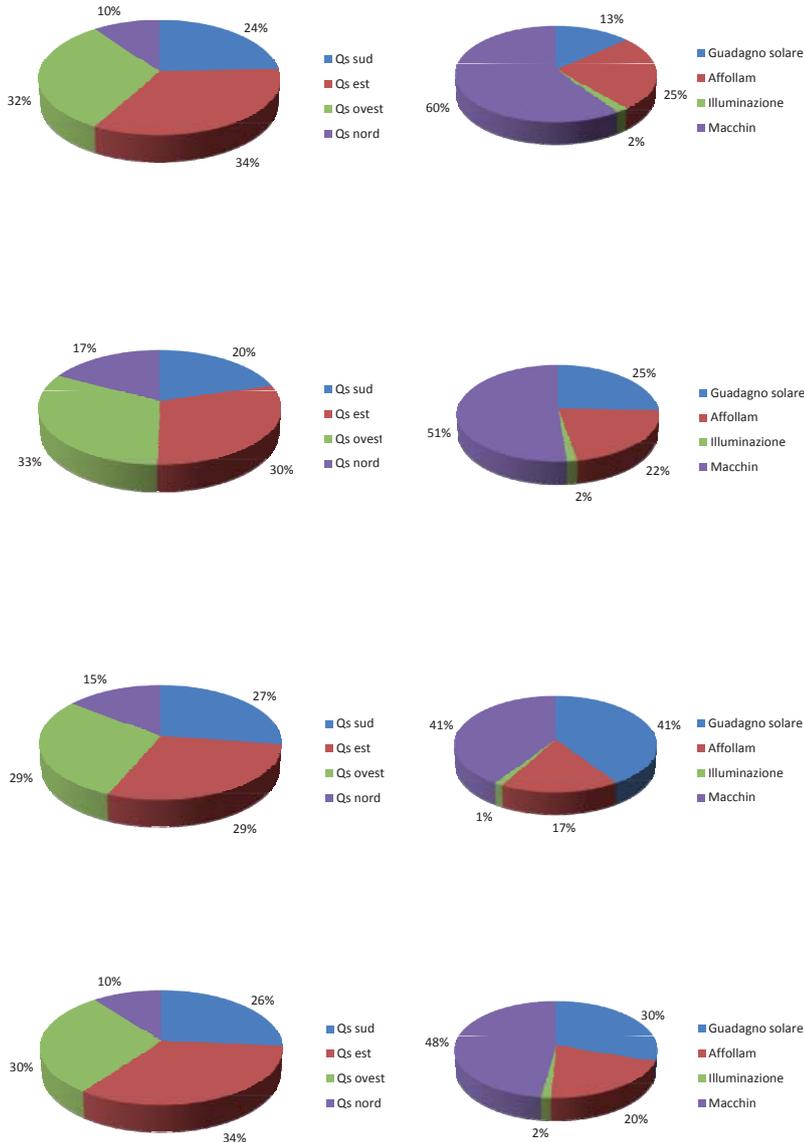


Grafico 06.08
Confronto grafico per-
centuali apporto gua-
dagni solari sui diversi
fronti per gli uffici nelle
differenti stagioni

Confronto grafico
percentuali apporto
guadagni solari ap-
porto guadagni solari
e carichi interni per gli
uffici nelle differenti
stagioni

6.3.2 Dispersioni termiche

Il calcolo delle dispersioni termiche è eseguito considerando condizioni di regime, cioè con temperature costanti sia degli ambienti da riscaldare sia dell'aria esterna. Tale ipotesi è giustificata dal fatto che l'escursione termica giornaliera è, nel periodo considerato, molto contenuta. E inoltre per le temperature esterne verranno utilizzate le temperature medie mensili (mentre per il dimensionamento degli impianti verrà utilizzata la temperatura di design).

Per il calcolo del carico termico invernale dovranno essere presi in considerazione tutti gli elementi che concorrono alla dispersione del calore:

- Dispersione per trasmissione
- Dispersione per ventilazione
- Ponti termici

Per dispersioni per trasmissione si intende il processo attraverso il quale il calore viene perso attraverso le superfici (opache e vetrate) che delimitano l'involucro o che comunicano con ambienti di temperatura inferiore.

Nella progettazione si è cercato di minimizzare queste fuoriuscite di calore con l'utilizzo di opportuni strati di materiale isolante, che garantiscono anche un ottimo livello di comfort interno, e con la scelta di serramenti particolarmente prestazionali.

Il passaggio di calore tra due ambienti è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura, alla superficie disperdente e alla trasmittanza del pacchetto tecnologico.

Le trasmittanze sono state già ampiamente spiegate nei capitoli precedenti. Qui verranno unicamente riportati i risultati necessari per il calcolo.

Tabella 06.26
Tabelle riassuntive
trasmittanze elementi
tecnici

Nome elemento	Funzione e posizione	U [W/m ² K]
CV.01	Chiusura verticale opaca verso l'esterno	0,15
COI.02	Chiusura orizzontale su spazio aperto	0,2
CV.04	Chiusura verticale tra vano scale e esterno	0,34
CO.01	Chiusura orizzontale inferiore	1,17
COS.02	Chiusura orizzontale superiore (verde)	0,34
COS.01	Chiusura orizzontale superiore	0,3
PVI.03	Partizione tra spazio riscaldato e spazio non scaldato	0,54
PVI.04	Partizione verticale tra Hotel e Expo	0,14
SER1	Chiusura verticale trasparente	1,2
SER2	Chiusura verticale trasparente (spazio buffer)	2,4

Nel caso delle dispersioni per ponti termici verrà utilizzato il coefficiente K (coefficiente di trasmissione lineare) espresso nella normativa. Nei seguenti capitoli verrà poi approfondito il problema del ponte termico.

Nel caso delle dispersioni per ventilazione sono stati utilizzati i valori di aria di rinnovo necessari da normativa UNI che verranno immessi tramite ventilazione forzata.

Inoltre il sistema di ventilazione controllato è provvisto di recuperatore energetico, che consentono di recuperare parzialmente l'energia di raffreddamento o riscaldamento che verrebbe persa con un ricambio d'aria semplice.

Tabella 06.27
Tabelle riassuntive ri-
cambi d'ora necessari
per motivi igienici

	Categoria	10 ⁻³ m ³ /s per persona	Affollamento	V	V/n	m ³ necessari	n
Hotel	Ingresso Hotel	11	36	756	21	1426	2
	Sale da pranzo	10	140	990	7	5040	5
	Camere da letto	11	2	135	60	89	1
Uffici	Uffici Open Space	11	66	1710	25	2709	2

Di seguito le dispersioni divise per piano.

L'analisi di ogni piano sarà composta da:

- tabella excel valori H e aree disperdenti
- proporzione media mensile dell'incidenza delle varie superfici sulla dispersione per trasmissione del dato piano
- tabella riassuntiva con Ti, Te, Dispersioni per trasmissione, Dispersioni per ventilazione
- percentuale della dispersione per ventilazione sulla dispersione totale
- grafico riassuntivo mese per mesi delle dispersioni

Si è applicata l'ipotesi semplificativa che la temperatura interna dei locali sia costante in tutti i mesi dell'anno.

Per le dispersioni per ventilazione si sono applicati i volumi minimi da normativa negli orari in cui sono presenti delle persone, e 1 volume ora nei rimanenti casi.

Il rendimento del recuperatore di calore è ipotizzato al 55% e non viene sfruttato nel periodo estivo

Dispersione termica Hotel

Hotel PT		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	150	125
CV.01	6,6	44
CO.01	496	424
CV.04	0,70	47
PVI.03	123	66

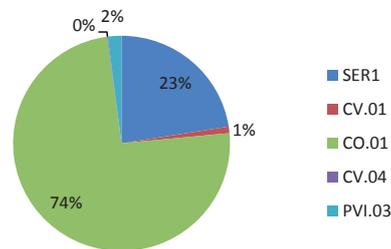


Tabella 06.28
Tabella H e A per PT hotel

Grafico 06.09
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del PT hotel

PT												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	8093	8093	6682	5271	3389	2448	1036	1036	2448	4330	6682	7153
Qv	4120	3121	2846	2164	1423	2259	904	904	1016	1830	2754	3049
Qtot	12213	11215	9528	7435	4812	4707	1940	1940	3464	6159	9436	10202

Qv 30% Qt

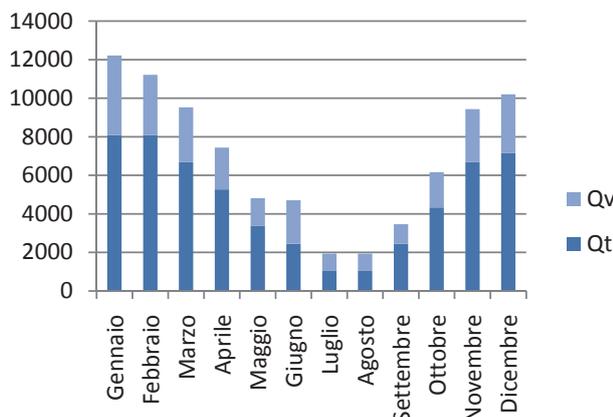


Tabella 06.29
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano PT hotel

Grafico 06.10
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano PT hotel

Tabella 06.30
Tabella H e A per P1 hotel

Hotel P1		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	46	38
CV.01	9	62
CV.04	0,7	47
PVI.03	50	92
PVI.04	9	60

Grafico 06.11
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P1 hotel

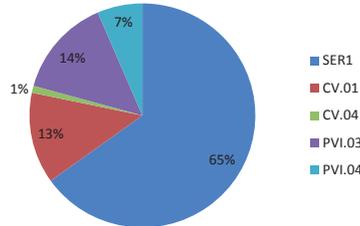


Tabella 06.31
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P1 hotel

P1												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	791	791	670	548	387	306	185	185	306	468	670	710
Qv	2921	2638	2405	1829	1203	859	717	717	859	1546	2328	2577
Qtot	3711	3429	3075	2377	1589	1165	901	901	1165	2014	2997	3287

Grafico 06.12
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P1 hotel

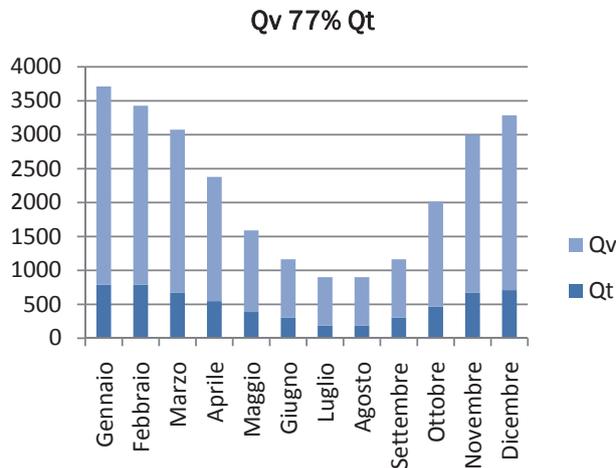


Tabella 06.32
Tabella H e A per P2 hotel

Hotel P2		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	158	132
CV.01	15	103
CV.04	0,7	47
PVI.03	65	120
PVI.04	8	51

Grafico 06.13
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P2 hotel

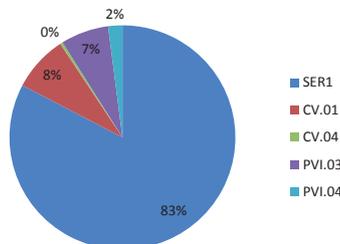


Tabella 06.33
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P2 hotel

P2												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	7818	7280	6451	4968	3261	2349	2234	2234	2349	4172	6303	6907
Qv	5610	5067	4620	3513	2310	1650	1974	1974	1650	2970	4471	4950
Qtot	13428	12347	11071	8481	5570	3999	4209	4209	3999	7142	10774	11856

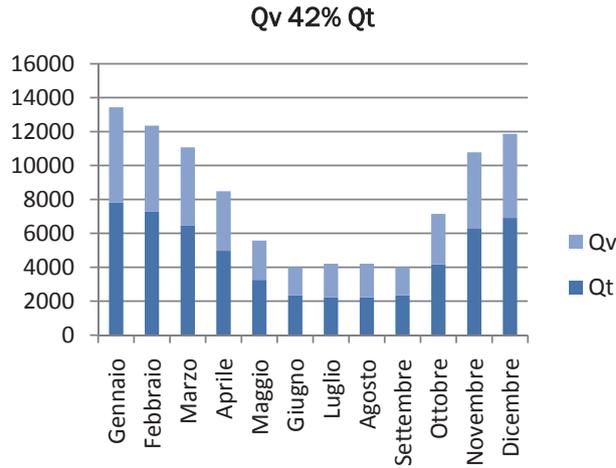


Grafico 06.14
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P2 hotel

Hotel P3		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	135	113
CV.01	18	122
CV.04	0,7	47
PVI.03	65	120
PVI.04	8	51

Tabella 06.34
Tabella H e A per P3 hotel

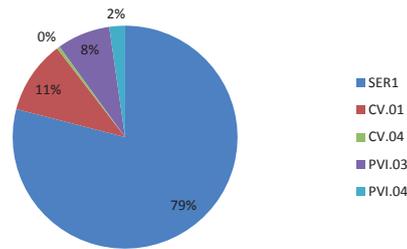


Grafico 06.15
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P3 hotel

P3												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	2015	2015	1681	1347	901	678	344	344	678	1124	1681	1793
Qv	2948	2663	2428	1846	1214	867	771	771	867	1561	2350	2601
Qtot	4964	4678	4109	3193	2115	1545	1115	1115	1545	2685	4031	4394

Tabella 06.35
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P3 hotel

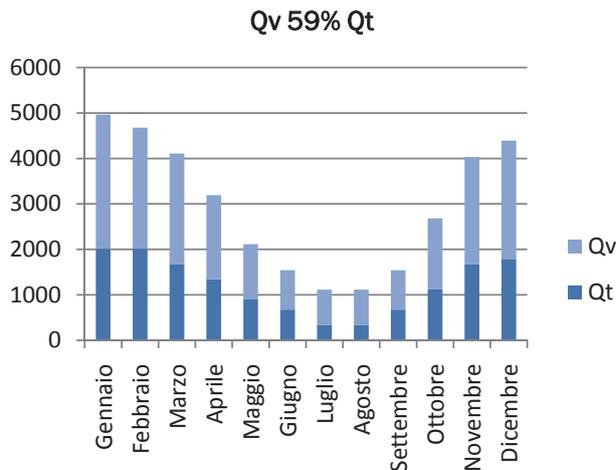


Grafico 06.16
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P3 hotel

Tabella 06.36
Tabella H e A per P4 hotel

Hotel P4		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	169	141
CV.01	18	123
CV.04	0,7	47
PVI.03	66	123
Ponte termico	15	22[m]

Grafico 06.17
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P4 hotel

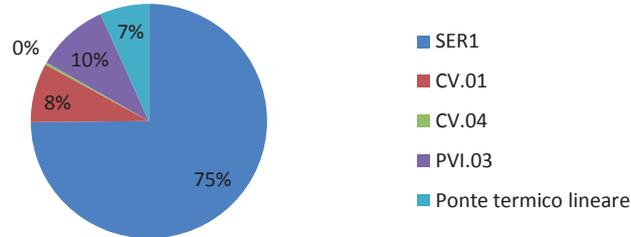


Tabella 06.37
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P4 hotel

P4												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	2969	2969	2531	2092	1507	1215	776	776	1215	1800	2531	2677
Qv	4058	3666	3418	2687	1922	1495	1899	1899	1495	2350	3307	3631
Qtot	7028	6635	5948	4779	3430	2710	2675	2675	2710	4149	5838	6308

Qv 58% Qt

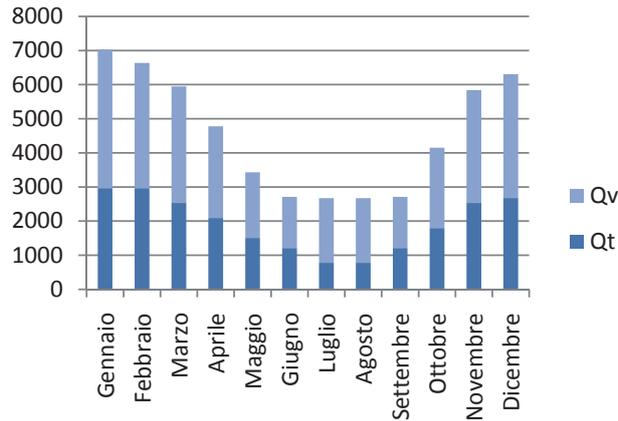
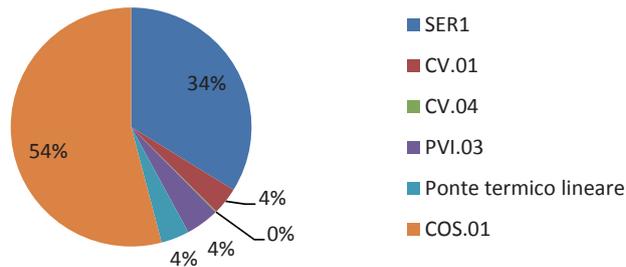


Grafico 06.18
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P4 hotel

Tabella 06.38
Tabella H e A per P9 hotel

Hotel P9		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	169	141
CV.01	18	123
CV.04	0,7	47
PVI.03	66	123
Ponte termico	18,9	27
COS.01	270	900

Grafico 06.19
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali del P9 hotel



P9												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	6714	6714	5684	4654	3281	2595	1565	1565	2595	3968	5684	6028
Qv	4058	3666	3418	2687	1922	1495	1899	1899	1495	2350	3307	3631
Qtot	10773	10380	9102	7342	5204	4090	3463	3463	4090	6317	8992	9659

Tabella 06.39
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P9 hotel

Qv 38% Qt

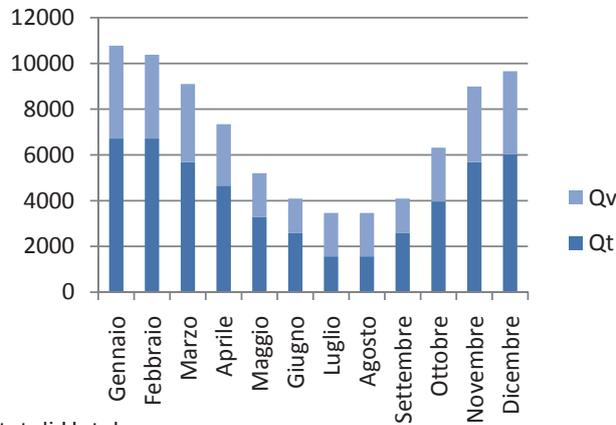


Grafico 06.20
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per il piano P9 hotel

Dispersioni totali Hotel:

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Qtot	66295	62076	54832	43249	29637	23680	19678	19678	22438	36836	53847	58432

Tabella 06.40
Tabelle dispersioni termiche totali hotel

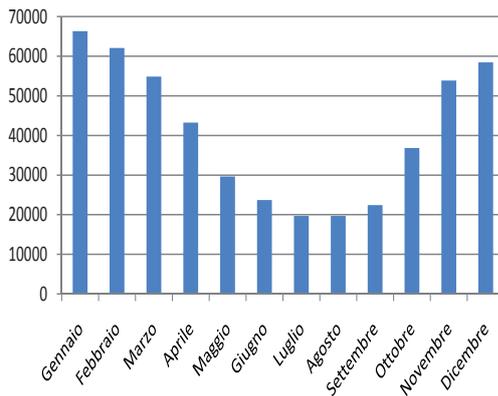


Grafico 06.21
Grafico dispersioni termiche totali hotel

Dispersione termica Uffici

Uffici		
Elemento	H [W/K]	A [mq]
SER1	1129,8	941
SER2	1925	802
CV.01	4,9	330
CV.04	4,9	283
COS.02	140	1010
COI.02	202	1100
PVI.03	640	861

Tabella 06.41
Tabella H e A per uffici

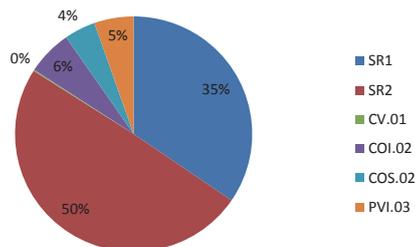
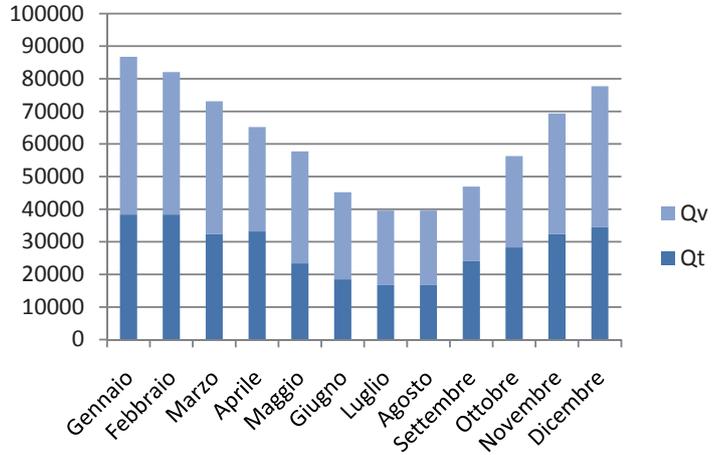


Grafico 06.22
Grafico percentuali medie degli apporti dei diversi elementi tecnici nelle dispersioni totali degli uffici

Tabella 06.42
Dispersioni totale, dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per igli uffici

Uffici												
Mese	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Ti	21	21	21	22	22	26	26	26	26	22	21	21
Te	3	3	6	9	13	15	18	18	15	11	6	5
Qt	38375	38375	32410	33194	23392	18492	16711	16711	24062	28293	32410	34445
Qv	48345	43667	40712	32011	34350	26717	22900	22900	22900	27989	36936	43256
Qtot	86720	82041	73122	65205	57743	45209	39611	39611	46962	56282	69346	77701

Grafico 06.23
Grafico dispersione per ventilazione e dispersione per trasmissione nei differenti mesi per igli uffici



6.3.3 Determinazione periodo di riscaldamento

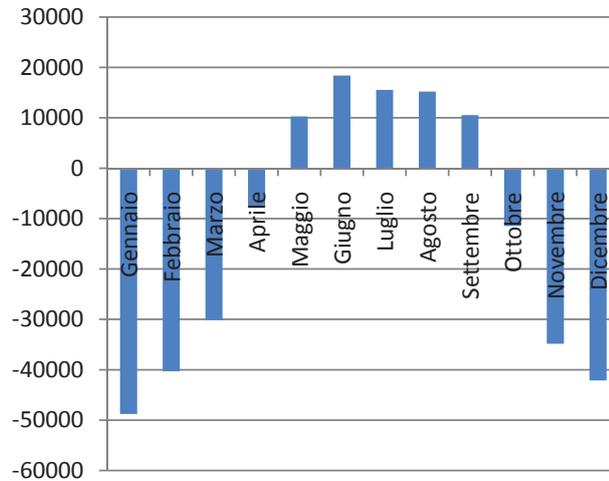
Per la città di Bruxelles il periodo di riscaldamento notoriamente è di 255 giorni: da settembre ad aprile.

Si analizzano le due funzioni separatamente, sottraendo alle dispersioni i guadagni (non applicando nessun coefficiente correttivo), per trovare il periodo di riscaldamento relativo al T.I.N.-Tin Building, che non necessariamente coincide con il valore medio della città di Bruxelles.

Tabella 06.43
Differenza tra guadagni e dispersioni per l'hotel

Determinazione periodo di riscaldamento : Hotel												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Guadagni	17504	21756	24699	35572	39924	42081	35209	34904	32974	25396	19001	16318
Dispersioni	66295	62076	54832	43249	29637	23680	19678	19678	22438	36836	53847	58432
Diff	-48790	-40321	-30133	-7677	10287	18400	15531	15226	10536	-11440	-34846	-42114

Grafico 06.24
Grafico differenza tra guadagni e dispersioni per l'hotel



Determinazione periodo di riscaldamento : Uffici												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Guadagni	49005	54949	56848	71006	77703	79731	66633	71460	68388	60883	51466	47855
Dispersioni	86720	82041	73122	65205	57743	45209	39611	39611	46962	56282	69346	77701
Diff	-37715	-27093	-16273	5801	19961	34523	27022	31849	21426	4600	-17880	-29846

Tabella 06.44
Differenza tra guadagni e dispersioni per gli uffici

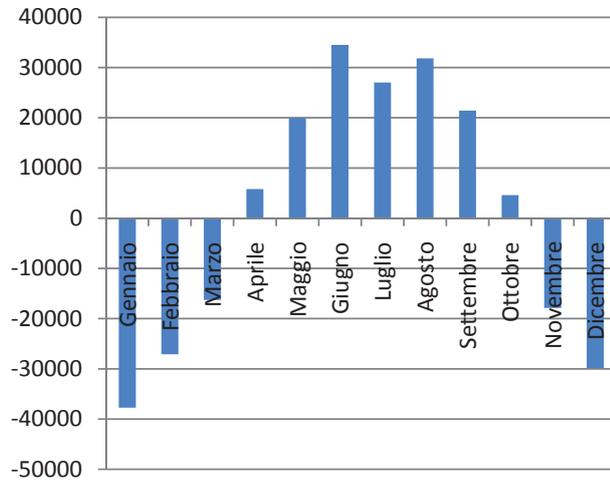


Grafico 06.25
Grafico differenza tra guadagni e dispersioni per gli uffici

6.3.4 Fabbisogni di energia termica per il raffrescamento

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo (mese), il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il raffrescamento ambiente, Q_f , è calcolato come indicato dall'equazione:

$$Q_f = Q_g - \eta Q_p$$

Dove Q_p sono le dispersioni, Q_g i guadagni e η il fattore di utilizzazione che dipende dal rapporto tra guadagni e dispersi e da alcuni fattori che si differenziano se il calcolo è mensile o stagionale.

Fabbisogno energetico per il raffrescamento : Hotel												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
n	0,21	0,26	0,31	0,45	0,57	0,64	0,64	0,64	0,60	0,41	0,26	0,22
	3656	5646	7670	16054	22914	26928	22586	22320	19622	10364	4956	3562

Tabella 06.45
Fabbisogno energetico per il raffrescamento per l'hotel e gli uffici

Fabbisogno energetico per il raffrescamento : Uffici												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
n	0,36	0,40	0,44	0,52	0,57	0,64	0,63	0,64	0,59	0,52	0,43	0,38
[kW/mese]	17694	22041	24865	37015	44577	50881	41790	45976	40545	31637	21925	18239

6.3.5 Fabbisogni di energia termica per il riscaldamento

Per ciascuna zona dell'edificio e ciascun passo di calcolo (mese), il fabbisogno di energia termica dell'edificio per il riscaldamento ambiente, Q_f , in condizioni di riscaldamento continuo, è calcolato come indicato dall'equazione:

$$Q_f = Q_p - \eta Q_g$$

Dove Q_p sono le dispersioni, Q_g i guadagni e η il fattore di utilizzazione che dipende dal rapporto tra guadagni e dispersi e da alcuni fattori che si differenziano se il calcolo è mensile o stagionale.

Tabella 06.46
Fabbisogno energetico per il riscaldamento per l'hotel e gli uffici

Fabbisogno energetico per il riscaldamento : Hotel												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
n	0,79	0,74	0,69	0,55	0,43	0,36	0,36	0,36	0,40	0,59	0,74	0,78
[kW/mese]	52447	45967	37804	23731	12627	8527	7055	7094	9086	21803	39802	45676

Fabbisogno energetico per il riscaldamento : Uffici												
	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
n	0,64	0,60	0,56	0,48	0,43	0,36	0,37	0,36	0,41	0,48	0,57	0,62
[kW/mese]	55409	49133	41139	31214	24617	16358	14768	14126	19120	27036	39805	48086

6.3.6. Conclusioni

Come atteso, grazie agli elevati carichi interni, il periodo di riscaldamento della funzione uffici è molto più breve rispetto a quello della funzione hotel, e i valori di picco di riscaldamento sono maggiori nell'hotel.

Inversamente però il periodo di raffrescamento estivo è più critico e prolungato nella funzione uffici: questo aspetto dovrà essere trattato in modo adeguato attraverso gli impianti.

In realtà il fabbisogno invernale di riscaldamento è minore rispetto a quello riportato perchè non si è tenuto conto dell'effetto buffer e dell'effetto della doppia pelle, in quanto i calcoli sono stati effettuati con una vetratura doppia su tutti i fronti.

6.4 Analisi del ponte termico

La presenza di discontinuità di tipo geometrico o materico generano, all'interno di un elemento tecnico, una modifica del flusso termico ed una conseguente variazione delle temperature superficiali. Ciò può portare, oltre ad un aumento delle dispersioni complessive dell'edificio e quindi ad un maggior consumo energetico, alla formazione di condensa superficiale o di muffe nel caso di raggiungimento di temperature superficiali tali da consentire il processo di condensazione del vapore.

Definendo il flusso di calore modificato che si instaura a causa della formazione di un ponte termico è possibile stimare quali siano le dispersioni aggiuntive causate da questo elemento e le temperature superficiali che si formano in sua corrispondenza, valutando la possibilità di intervenire, ove possibile, per ridurne gli effetti.

Il ponte termico lineare è definito, secondo la UNI EN ISO 14683, come un ponte termico con una sezione trasversale uniforme in una direzione.

Seguendo il procedimento esposto nella norma è possibile giungere a determinare i valori delle dispersioni termiche aggiuntive dovute ad un ponte termico.

Definendo L^{2D} , coefficiente di accoppiamento termico lineico: flusso termico scambiato diviso per la differenza tra le temperature di due ambienti termicamente interagenti, nel componente edilizio considerato in caso di calcolo bidimensionale, si può definire Ψ , trasmittanza termica lineica (il flusso termico in regime stazionario diviso per la lunghezza e la differenza di temperatura tra gli ambienti posti a ciascun lato del ponte termico) come

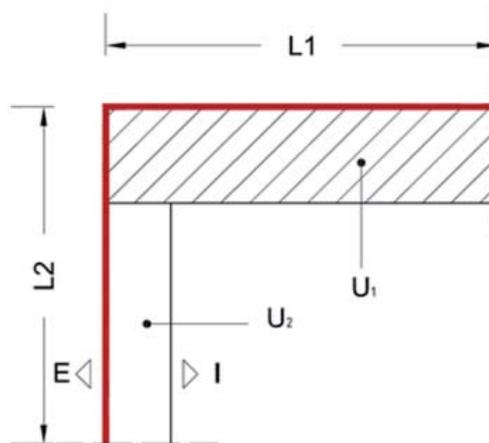
$$\Psi = L^{2D} - \sum U_i l_i \quad [W/mK]$$

dove

U_i : trasmittanza termica dell' i -esimo componente che separa i due ambienti

l_i : lunghezza, in modello bidimensionale, dell'elemento cui si applica il valore U_i

Il valore di Ψ rappresenta quindi il valore di trasmittanza, in geometria bidimensionale, del ponte termico, calcolato come differenza tra il valore complessivo di trasmittanza dell'elemento preso in considerazione (ovvero L^{2D}) ed il valore degli elementi circostanti in assenza del ponte termico ($=\sum U_i l_i$).



Una volta noto il valore della trasmittanza termica lineare, è possibile procedere al calcolo delle dispersioni complessive generate dal ponte termico, sommandole alle trasmittanze complessive dell'edificio

$$L = \sum U_i A_i + \sum \Psi_k l_k + \sum X_j$$

dove

U_i : trasmittanza termica dell' i -esimo componente dell'involucro

A_i : superficie dell' i -esimo componente, caratterizzata da una trasmittanza U_i

Ψ_k : trasmittanza termica del k -esimo ponte termico lineare

l_k : lunghezza del k -esimo ponte termico lineare

X_j : trasmittanza termica puntuale del j -esimo ponte termico puntuale.

Considerando poi tutti i coefficienti di perdita di calore, comprensivi delle perdite attraverso ambienti non riscaldati e verso il terreno, nel coefficiente H_t , si può quindi calcolare il flusso termico attraverso l'involucro dell'edificio tramite l'equazione:

$$\Phi = H_t (t_i - t_e)$$

Per poter determinare l'effettivo valore delle dispersioni dovute al ponte termico è perciò necessario disporre del valore di Ψ . All'interno della normativa (nel prospetto 2) è inserito un abaco con valori di progetto di Y (arrotondati allo 0,05 W/(m · K) più vicino) basati su tre sistemi di valutazione delle dimensioni dell'edificio:

- dimensioni interne, misurate tra le superfici interne finite di ogni ambiente in un edificio (escluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni interne totali, misurate tra le superfici interne finite degli elementi dell'edificio (incluso quindi lo spessore delle partizioni interne);
- dimensioni esterne, misurate tra le superfici esterne finite degli elementi esterni dell'edificio.

Si tratta però di valori medi, applicati a casi semplici, che trascurano la reale geometria bidimensionale del ponte termico e di conseguenza la possibilità di determinare l'impatto di eventuali interventi atti alla risoluzione del ponte termico.

6.4.1 Ponti termici nel T.I.N.-Tin Building

Il sistema di solette aggettanti presenti sull'intero fronte Sud risulta un punto di forte discontinuità nell'isolamento dell'edificio, rappresentando una fonte di enormi dispersioni termiche che influiscono sensibilmente sull'efficienza dell'intero edificio.

Risulta perciò necessario analizzare la possibilità di ovviare a queste dispersioni, tramite un isolamento delle solette stesse al fine di allungare il percorso del calore lungo il calcestruzzo armato, riducendo l'intensità del flusso.



06.18
Rappresentazione del flusso termico all'interno della soletta. Si nota la concentrazione di flusso in corrispondenza dei punti di discontinuità geometrica.

Per trovare una soluzione ottimale però non è sufficiente limitare la valutazione alla minimizzazione del flusso di calore, ma bisogna confrontare i benefici ottenuti da questa operazioni con fattori come l'energia grigia prodotta andando ad isolare.

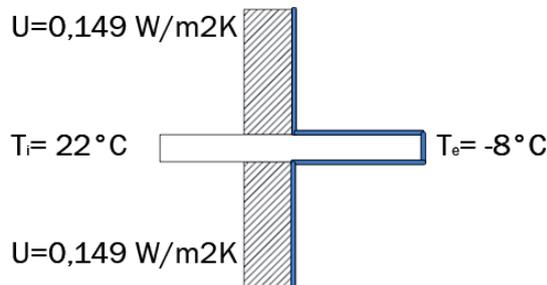
I processi di produzione e trasporto del materiale isolante possono infatti rivelarsi molto onerosi energeticamente, emettendo di conseguenza grandi quantità di elementi inquinanti, arrivando a vanificare, all'interno di un bilancio globale, gli effetti di riduzione dell'energia utilizzata per il riscaldamento interno apportati dalla risoluzione del ponte termico.

Si è perciò strutturata l'analisi termica del nodo costituito dal proseguimento delle solette verso l'esterno valutando delle combinazioni di isolamento, diverse per dimensioni e posizionamento.

Il problema principale a livello analitico risulta la determinazione del coefficiente di accoppiamento termico lineare L^{2D} nel caso di geometrie non banali, quali quelle rappresentate nell'abaco presente nella normativa.

Si è perciò utilizzato il software THERM, sviluppato dal LBNL, per determinare questo fattore tramite un'analisi agli elementi finiti del flusso di calore, determinando la variazione di Ψ al variare della lunghezza dell'isolante nelle diverse configurazioni.

Definendo la geometria, i materiali e tutte le condizioni al contorno, il software fornisce il valore di flusso di calore attraverso un contorno definito dall'utente, in questo caso corrispondente con tutto il profilo esterno del nodo preso in esame, prendendo in considerazione tutta la soletta in oggetto.



06.19
Schematizzazione delle condizioni al contorno utilizzate per il calcolo del ponte termico.

Il software fornisce un valore di flusso (chiamato U-factor) in $\text{W/m}^2\text{K}$, da moltiplicarsi per la lunghezza complessiva del profilo esterno, fornita dal programma come 'Total Length', ottenendo il valore di L^{2D} .

$$L^{2D} = \text{U-factor} * \text{Total length}$$

Considerando la termotrasmittanza U del tamponamento (pari a 0,149 W/m²K) interrotto dalla soletta, ed una porzione di muro di 1,25m sia sul lato superiore che su quello inferiore, è possibile ottenere il valore di

$$\Psi = L^{2D} - \sum U_i l_i$$

Calcolando il valore di Ψ nel caso in assenza di isolamento aggiuntivo, si ottiene un valore pari a

$$\Psi = 0,078 \text{ W/mK}$$

leggermente maggiore rispetto al caso corrispondente riportato in normativa (pari a 0,07), scostamento dovuto al grande spessore della soletta in c.a.

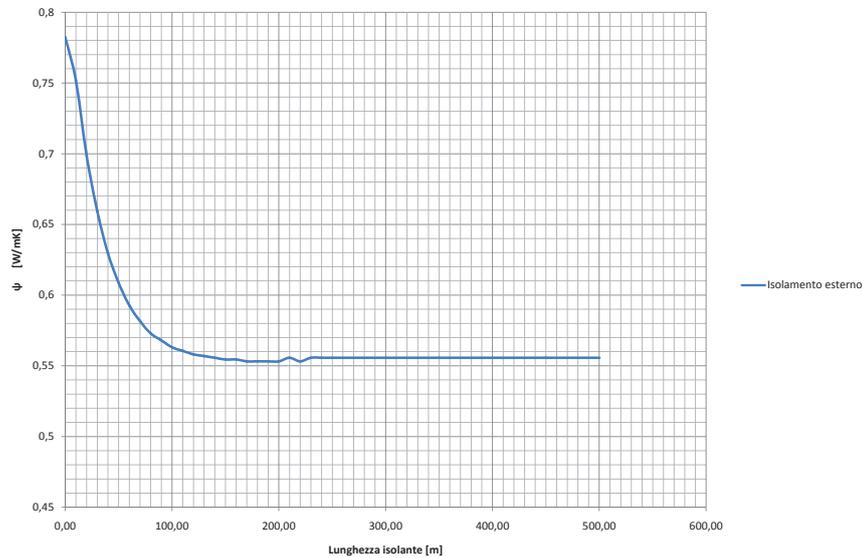
Si è quindi proceduto ad analizzare differenti casi, posizionando l'isolante in quattro posizioni differenti:

- isolamento esterno superiore calpestabile, in vetro cellulare con pendenza;
- isolamento esterno inferiore, in pannelli di fibra di cellulosa;
- isolamento interno superiore calpestabile, in vetro cellulare;
- isolamento interno inferiore, in pannelli di fibra di cellulosa.

La prima ipotesi osservata è quella di un completo isolamento della soletta a sbalzo, quindi riguardante solo la parte esterna, che mostra un valore di $\Psi=0,055$.

Togliendo progressivamente l'isolante su entrambi i lati esterni, partendo dall'estremità fino a giungere al nodo, si sono ricavati i valori di trasmittanza termica lineica riportati nel seguente grafico:

*Grafico 06.26
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante esterno, sia superiore che inferiore.*



Si nota, principalmente, come la variazione sia nulla in tutta la seconda parte del grafico, iniziando ad assumere rilievo a partire da una lunghezza di isolante inferiore a 1,1m. Già da questa prima analisi si osserva come possa risultare inutile prolungare l'isolamento su tutta la lunghezza dell'oggetto, essendo l'effetto del ponte termico già minimizzato con un solo metro di isolante su entrambe le facce. Questo risulta visibile anche nell'immagine 06.18, dove si può notare come il flusso di calore si riduce rapidamente, annullandosi già ad una distanza intorno a 1,5m (indicato dal colore viola intenso).

Utilizzando lo stesso metodo, sono state analizzate le quattro configurazioni semplici di isolante, procedendo ad intervalli di 10cm, ricavando i seguenti grafici:

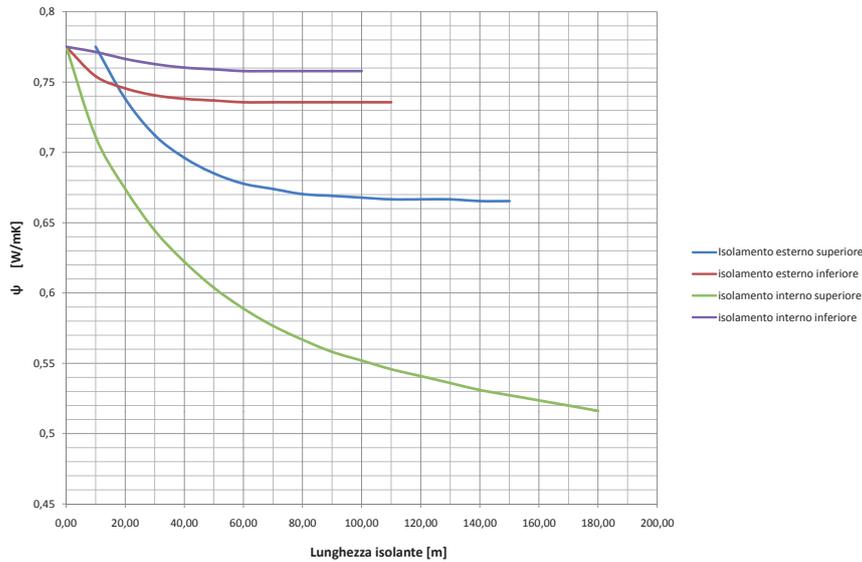


Grafico 06.27
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante nelle quattro diverse configurazioni.

La ripidità delle curve rappresenta quanto l'aggiunta di isolante influisca sul flusso di calore: un'alta pendenza significa che incrementando leggermente l'isolamento si ottiene un'ampia riduzione della trasmittanza, quindi delle dispersioni.

Per tutte le configurazioni si nota come, oltre una certa quantità di isolamento, il grafico raggiunga un plateau, non incidendo più sul flusso di calore. Per determinare il punto oltre il quale risulta inefficace l'aggiunta di ulteriori centimetri di isolante, si è osservato lo scarto tra due steps successivi, prendendo come valore caratteristico della curva il punto in cui questo scarto divenisse inferiore all'1%.

Questo punto si trova alla distanza di 60cm (con un $\Psi = 0,067$ W/mK) per il caso di isolamento superiore esterno, 120cm ($\Psi = 0,054$ W/mK) per l'isolamento superiore interno, mentre nei due casi di isolamento inferiore si riscontra per distanze estremamente ridotte (10-30 cm), donando riduzioni della trasmittanza di scarso impatto.

Si possono quindi fin da ora escludere dall'analisi successiva le configurazioni che comprendano l'applicazione di isolamento sulle faccie inferiori interna ed esterna della soletta, dato l'effetto irrilevante cui si associa anche una difficoltà applicativa.

Da questi presupposti si sono analizzate delle combinazioni di isolamento superiore in vetro cellulare, osservando l'andamento al variare della lunghezza in una direzione, mantenendo l'altra fissa. Si sono studiate quindi le combinazioni basandosi sui due valori caratteristici trovati nella prima analisi e sul valore di 1,1m per l'isolamento esterno, corrispondente alla lunghezza della pendenza per lo scolo dell'acqua sulla terrazza, cambiando quindi materiale in base ad essa, ottenendo i seguenti grafici:

Grafico 06.28
Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza dell'isolante in diverse combinazioni.

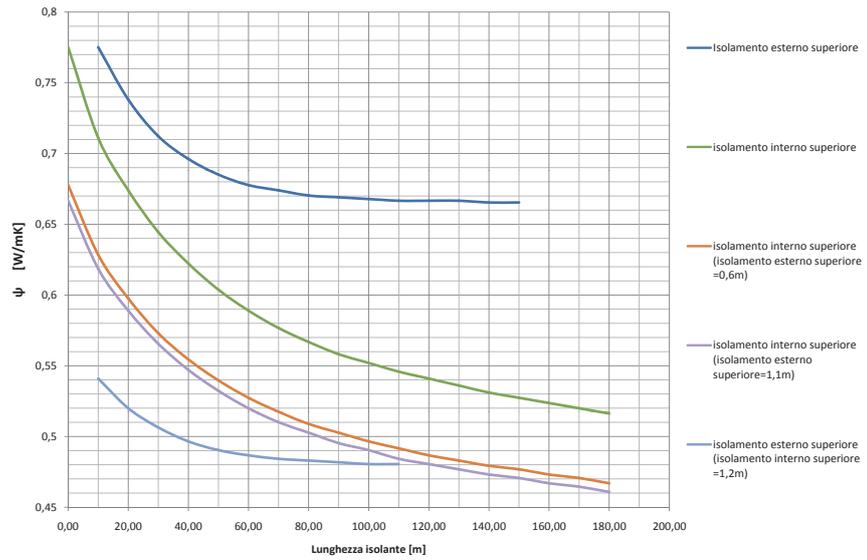
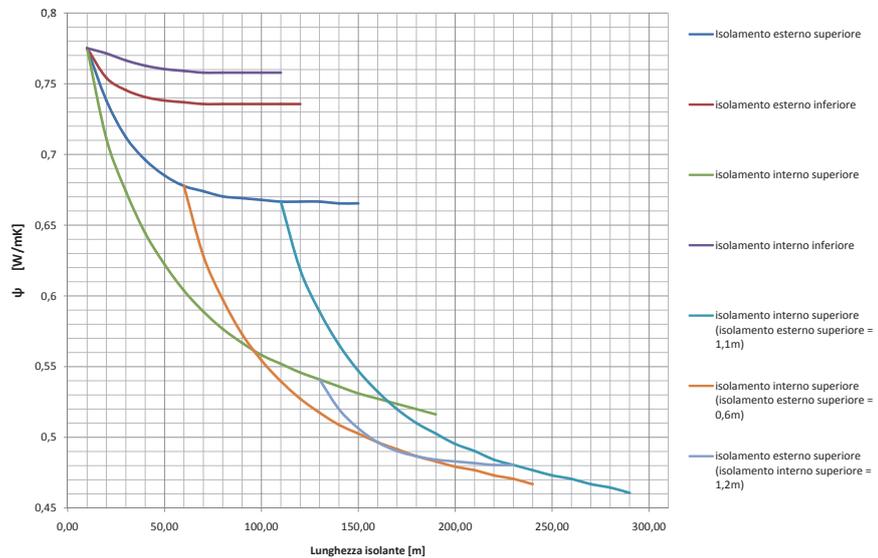


Grafico 06.29 Variazione della trasmittanza termica lineica Ψ in funzione della lunghezza totale di isolante nelle diverse combinazioni.



Si osserva come la curva che più rapidamente porta ad un basso valore della trasmittanza è quella caratterizzata da un isolamento esterno di 60cm fisso, variando la lunghezza del vetro cellulare all'interno dell'ambiente.

Di queste cinque curve ottenute, escludendo come si è detto quelle riguardanti l'isolamento sulla faccia inferiore, si è considerato il valore caratteristico, sempre osservando lo scarto dell' 1%, su cui si è basata l'analisi successiva.

Tabella 06.47
Valori caratteristici della trasmittanza termica lineica delle varie combinazioni.

	Ψ [W/mK]
non isolato	0,78
esterno 60cm + interno 0cm	0,68
esterno 60cm + interno 110cm	0,49
esterno 110cm + interno 0cm	0,67
esterno 110cm + interno 120cm	0,48
esterno 10cm + interno 120cm	0,49

6.4.3 L'analisi costi-benefici

Come già si è accennato, l'analisi dell'opportunità di isolamento del ponte termico non può basarsi esclusivamente sulla scelta della combinazione che porta il maggior beneficio a livello di riduzione della trasmittanza termica lineare, in quanto questo approccio non considera che una minima parte del problema.

Nel bilancio complessivo dell'energia consumata dall'edificio, e di conseguenza delle sue emissioni nocive, vanno considerati i processi di produzione e trasporto dei materiali, espresso come Embodied Energy (energia inglobata dal materiale) ed Embodied Carbon (quantità di CO₂ emessa), la quantità di energia consumata durante il ciclo di vita dell'edificio stesso da confrontarsi con l'abbassamento dei consumi determinato dalla riduzione delle dispersioni di calore.

Non va poi trascurato il fattore economico, determinante, per il costruttore o l'acquirente, al momento delle scelte progettuali.

L'impatto di questi fattori non potrà poi essere valutato limitatamente al momento della costruzione, ma l'analisi dovrà estendersi a tutta la vita utile dell'edificio, adottando un approccio del tipo Life Cycle Costs (LCC).

I costi del ciclo di vita di un bene sono da intendere come i costi totali di quel bene coprensivi della sua durata di funzionamento, dei costi iniziali di acquisizione e dei successivi costi di gestione, considerano tutti i costi rilevanti che influiscono sulla vita del bene.

Il LCC di un edificio è costituito dalla totalità dei costi che incidono sull'edificio o sulla struttura: dalla costruzione alla gestione fino all'eventuale demolizione.

In aggiunta ai costi in fase di utilizzo, il LCC include tutti i costi associati alla costruzione iniziale, i costi iniziali, i costi di manutenzione e i costi finali per il riadattamento del sito, qualora l'edificio o la struttura non abbia più motivo di esistere.

Un'analisi LCC includerebbe, nella cognizione di vita utile dell'elemento edilizio, fattori riguardanti l'eventuale obsolescenza, la riduzione delle prestazioni e la vita economicamente utile (ovvero prima di una inevitabile sostituzione). Trattandosi però in questo caso semplicemente di un materiale isolante, caratterizzato da un'ottima resistenza, la possibilità di obsolescenza e di sostituzione risulta irrilevante, come anche un'eventuale perdita di prestazioni.

Questo tipo di approccio, proprio di analisi economiche, può essere esteso anche ad analisi di tipo ambientale, riferendosi quindi all'Embodied Energy ed all'Embodied Carbon, valutando il bilancio energetico lungo tutta la vita utile dell'edificio.

Il metodo è stato applicato al ponte termico determinato dalle solette sul fronte Sud osservando il suo impatto sulle dispersioni complessive della zona termica dei sei piani di stanze, alimentata da un sistema autonomo di riscaldamento.

Per ogni caso di isolamento si è calcolato inoltre il coefficiente di trasmittanza termica lineare, sempre tramite il procedimento della UNI EN ISO 14683 e l'ausilio del software THERM, in corrispondenza delle porte-finestre, dove il flusso di calore sarà accentuato dalla ridotta resistenza termica offerta dal serramento e dalla vetrocamera.

Tabella 06.48
Valori caratteristici della trasmittanza termica lineica delle varie combinazioni nel caso di presenza di aperture.

	Ψ aperture [W/mK]
non isolato	1,28
esterno 60cm + interno 0cm	1,22
esterno 60cm + interno 110cm	1,00
esterno 110cm + interno 0cm	1,22
esterno 110cm + interno 120cm	1,00
esterno 10cm + interno 120cm	1,03

Sulla base di questi valori si sono calcolate le dispersioni dei ponti termici su tutta la loro lunghezza, rapportandole con le dispersioni complessive della zona termica, valutando l'impatto percentuale sul totale e il miglioramento portato dall'inserimento dell'isolante.

non isolato	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
te	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
ti	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1440,46	1440,46	1213,02	965,58	682,32	530,70	303,25	303,25	530,70	833,95	1213,02	1288,83
parete	W	1423,10	1423,10	1198,40	973,70	674,10	524,30	299,60	299,60	524,30	823,90	1198,40	1273,30
	W	2863,56	2863,56	2411,42	1959,28	1356,42	1055,00	602,86	602,86	1055,00	1657,85	2411,42	2562,13
dispersione totale PT	kWh/giorno	68,73	68,73	57,87	47,02	32,55	25,32	14,47	14,47	25,32	39,79	57,87	61,49
dispersione totale PT	kWh/mese	2130,49	1924,31	1794,10	1410,68	1009,18	759,60	448,52	448,52	759,60	1238,44	1736,22	1908,23
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8898,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	19159,54	18953,36	16384,03	13361,50	9907,85	8032,19	5282,00	5282,00	8032,19	11758,18	16326,16	17309,20
influenza del ponte termico	%	11,12	10,15	10,95	10,40	10,19	9,46	8,49	8,49	9,46	10,49	10,83	11,01

Tabella 06.49
Incidenza del ponte termico sulla somma delle dispersioni e il miglioramento rispetto al caso non isolato

esterno 60cm + interno 0cm	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
te	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
ti	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1372,92	1372,92	1156,14	939,36	650,33	505,81	289,03	289,03	505,81	794,85	1156,14	1228,40
parete	W	1232,55	1232,55	1037,94	843,32	583,84	454,10	259,48	259,48	454,10	713,58	1037,94	1102,81
totale	W	2605,47	2605,47	2194,08	1782,69	1234,17	959,91	548,52	548,52	959,91	1508,43	2194,08	2331,21
dispersione totale PT	kWh/giorno	62,53	62,53	52,66	42,78	29,62	23,04	13,16	13,16	23,04	36,20	52,66	55,95
dispersione totale PT	kWh/mese	1938,47	1750,87	1632,39	1283,54	918,22	691,13	408,10	408,10	691,13	1122,27	1579,74	1734,42
riduzione rispetto al caso non isolato	%	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01	9,01
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8898,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	18967,51	18779,92	16222,33	13434,35	9816,89	7963,73	5241,58	5241,58	7963,73	11647,01	16169,67	17137,39
influenza del ponte termico	%	10,22	9,32	10,06	9,55	9,35	8,68	7,79	7,79	8,68	9,64	9,77	10,12
riduzione dispersioni totali rispetto al caso non	kWh/mese	-192,02	-173,44	-161,70	-127,15	-90,96	-88,46	-40,43	-40,43	-68,46	-111,17	-156,49	-171,81

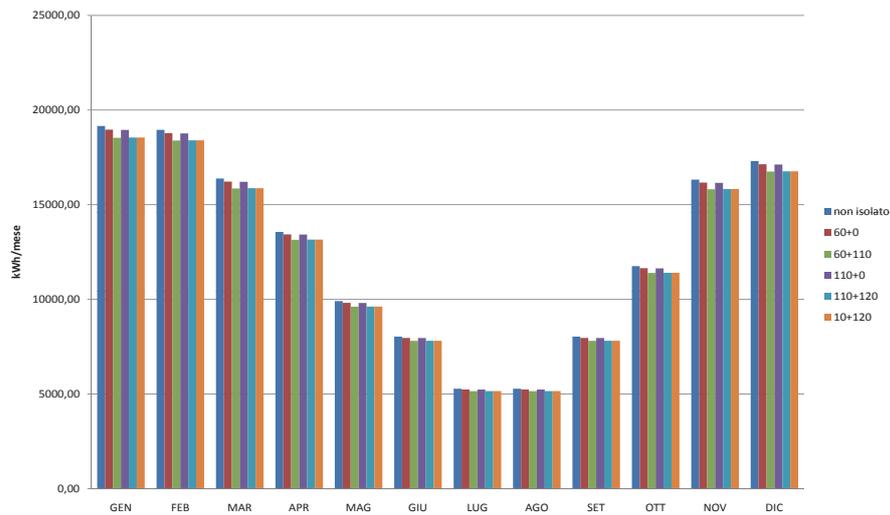
esterno 60cm + interno 110cm	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
te	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
ti	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1131,49	1131,49	952,83	774,18	535,97	416,86	238,21	238,21	416,86	655,07	952,83	1012,38
parete	W	894,04	894,04	752,88	611,71	423,49	329,38	188,22	188,22	329,38	517,60	752,88	799,93
	W	2025,53	2025,53	1705,71	1385,89	959,46	746,25	426,43	426,43	746,25	1172,67	1705,71	1812,31
dispersione totale PT	kWh/giorno	48,61	48,61	40,94	33,26	23,03	17,91	10,23	10,23	17,91	28,14	40,94	43,50
dispersione totale PT	kWh/mese	1506,99	1361,16	1269,06	997,84	713,84	537,30	317,26	317,26	537,30	872,47	1228,11	1348,36
riduzione rispetto al caso non isolato	%	29,27											
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8898,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	18336,04	18390,20	15858,98	13148,66	9612,51	7809,89	5150,74	5150,74	7809,89	11397,21	15818,04	16751,33
influenza del ponte termico	%	8,13	7,40	8,00	7,59	7,43	6,88	6,16	6,16	6,88	7,66	7,76	8,05
riduzione dispersioni totali rispetto al caso non	kWh/mese	-623,50	-563,16	-525,06	-412,84	-295,34	-222,30	-131,26	-131,26	-222,30	-360,97	-508,11	-557,87

esterno 110cm + interno 0cm	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
te	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
ti	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1371,48	1371,48	1154,93	938,38	649,65	505,28	288,73	288,73	505,28	794,01	1154,93	1227,11
parete	W	1212,38	1212,38	1020,95	829,52	574,28	446,66	255,24	255,24	446,66	701,90	1020,95	1084,76
	W	2583,85	2583,85	2175,88	1767,90	1223,93	951,95	543,97	543,97	951,95	1495,92	2175,88	2311,87
dispersione totale PT	kWh/giorno	62,01	62,01	52,22	42,43	29,37	22,85	13,06	13,06	22,85	35,90	52,22	55,48
dispersione totale PT	kWh/mese	1922,39	1736,35	1618,65	1272,89	910,60	685,40	404,71	404,71	685,40	1112,96	1566,63	1720,97
riduzione rispetto al caso non isolato	%	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77	9,77
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8898,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	18951,43	18765,40	16208,78	13423,71	9809,27	7957,99	5238,19	5238,19	7957,99	11637,70	16156,56	17123,00
influenza del ponte termico	%	10,14	9,25	9,99	9,48	9,28	8,61	7,73	7,73	8,61	9,56	9,70	10,05
riduzione dispersioni totali rispetto al caso non	kWh/mese	-208,10	-187,96	-175,24	-137,79	-98,58	-74,20	-43,81	-43,81	-74,20	-120,48	-169,59	-186,20

sistema 110cm + interno 120cm		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
temperatura interna	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
temperatura esterna	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1127,18	1127,18	949,20	771,23	533,93	415,28	237,30	237,30	415,28	652,58	949,20	1068,53
parete	W	873,86	873,86	735,89	597,91	413,94	321,95	183,97	183,97	321,95	505,92	735,89	873,86
	W	2001,04	2001,04	1685,09	1369,13	947,86	737,23	421,27	421,27	737,23	1158,50	1685,09	1942,36
dispersione totale PT	kWh/giorno	48,02	48,02	40,44	32,86	22,75	17,69	10,11	10,11	17,69	27,80	40,44	42,97
dispersione totale PT	kWh/mese	1486,77	1344,70	1253,70	985,76	705,21	530,80	313,43	313,43	530,80	861,92	1213,26	1332,06
riduzione rispetto al caso non isolato	%	30,12											
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8896,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	18517,82	18373,74	15843,64	13136,59	9603,88	7803,39	5146,90	5146,90	7803,39	11386,67	15803,19	16735,03
influenza del ponte termico	%	8,04	7,32	7,81	7,50	7,34	6,80	6,09	6,09	6,80	7,57	7,68	7,96
riduzione dispersioni totali rispetto al caso non isolato	kWh/mese	-641,72	-579,61	-540,39	-424,91	-303,97	-228,80	-135,10	-135,10	-228,80	-371,52	-522,96	-574,17

sistema 10cm + interno 120cm		GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
temperatura interna	°C	3,00	3,00	6,00	9,00	13,00	15,00	18,00	18,00	15,00	11,00	6,00	5,00
temperatura esterna	°C	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00
serramenti	W	1160,23	1160,23	977,04	793,84	549,58	427,45	244,26	244,26	427,45	671,71	977,04	1038,10
parete	W	885,07	885,07	745,33	605,58	419,25	326,08	186,33	186,33	326,08	512,41	745,33	885,07
	W	2045,30	2045,30	1722,36	1399,42	968,83	753,53	430,59	430,59	753,53	1184,12	1722,36	1923,17
dispersione totale PT	kWh/giorno	49,09	49,09	41,34	33,59	23,25	18,08	10,33	10,33	18,08	28,42	41,34	43,92
dispersione totale PT	kWh/mese	1521,71	1374,44	1281,44	1007,58	720,81	542,54	320,36	320,36	542,54	880,99	1240,10	1361,53
riduzione rispetto al caso non isolato	%	28,57											
Dispersioni complessive senza PT	kWh/mese	17029,05	17029,05	14589,93	12150,82	8896,67	7272,59	4833,48	4833,48	7272,59	10524,74	14589,93	15402,97
Dispersioni complessive con PT	kWh/mese	18550,75	18403,49	15871,37	13158,40	9619,48	7815,14	5153,84	5153,84	7815,14	11405,73	15830,03	16764,50
influenza del ponte termico	%	8,20	7,47	8,07	7,66	7,49	6,94	6,22	6,22	6,94	7,72	7,83	8,12
riduzione dispersioni totali rispetto al caso non isolato	kWh/mese	-606,79	-549,87	-512,66	-403,10	-288,37	-217,05	-128,17	-128,17	-217,05	-352,45	-496,12	-544,70

Dispersioni totali



Riduzione delle dispersioni

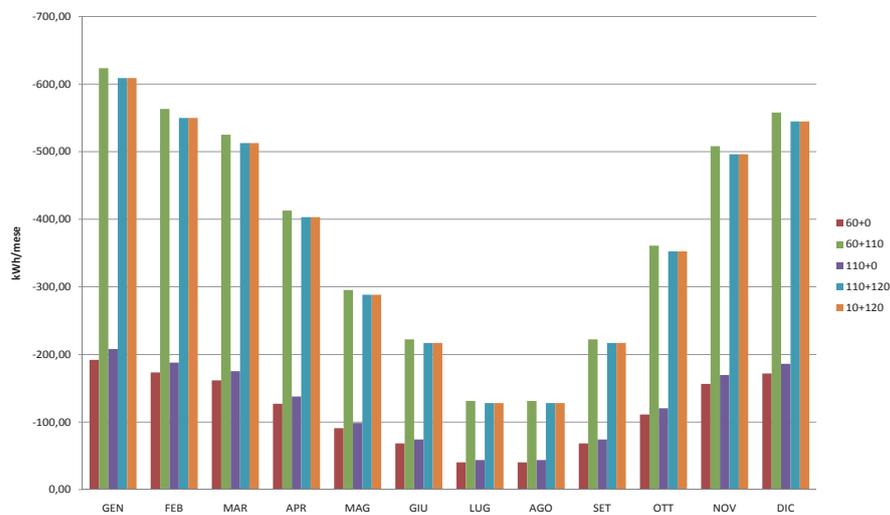


Grafico 06.30
Dispersioni complessive dei sei piani di stanze nei differenti casi.

Grafico 06.31
Riduzione delle dispersioni totali dei sei piani di stanze nei differenti casi.

Partendo dai valori di dispersioni ottenuti, si è calcolata la quantità di energia primaria risparmiata grazie all'adozione dell'isolamento.

Poichè i valori di fabbisogno e di riduzione delle dispersioni si riferiscono all'energia utile, ovvero l'energia termica utilizzabile direttamente all'interno dei locali, è necessario calcolare prima di tutto l'energia effettivamente consumata dall'impianto (Q_s , energia secondaria), considerando un rendimento forfettario di 0,8

$$Q_s = Q_u / 0,8$$

dove

Q_s [kWh] = energia secondaria

Q_u [kWh] = energia utile

Bisogna poi ricondurre questa energia secondaria all'energia primaria, ovvero la quantità di energia proveniente da fonte fossile utilizzata per produrre la fonte d'energia utilizzata dall'impianto. Questo passaggio viene effettuato tramite dei coefficienti di conversione, forniti dagli standard di diverse associazioni di costruzioni passive e produzione d'energia, quali la 'Passivhaus' tedesca e la

Tabella 06.50
Coefficients di conversione in energia primaria delle diverse fonti di energia secondaria.

	Effinergie (FR)	Passivhaus (DE)	Europe Passif (Europa centrale)	Suisse Minergie (CH)	DPE (DK)	Display@-campaign
benzina	1	1,1	1,1	1	1	1,19
Gas naturale	1	1,1	1,1	1	1	1,17
Gas liquido	1	1,1	1,1	1	1	1,16
Carbone	1	1,1	1,1	1	1	1,11
Legno	0,6	0,2	0,2	0,5	1	1,04
Elettricità	2,58	2,7	2,7	2	2,58	3,35
Fotovoltaico	2,58	0,7	0,7	2	-	-
Eliotermico	0	0	0	0	1	1,17

'Effinergie' francese.

Applicando questi coefficienti all'energia secondaria utilizzata (quindi 1 nel caso di gas naturale), si possono ottenere sia il consumo di energia primaria dell'edificio che il risparmio energetico, in termini sempre di energia primaria, ottenuto con l'inserimento dell'isolamento.

$$Q_p = c * Q_s$$

Il miglioramento in termini di energia primaria va quindi confrontato con la quantità di energia primaria inglobata nel materiale utilizzato, calcolabile grazie al database ICE (Inventory of Carbon & Energy), pubblicato dal SERT dell'università di Bath (disponibile sul sito www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/), che fornisce i valori di Embodied Energy, in MJ/kg, per numerosi materiali, non solo nell'ambito delle costruzioni, considerando sia l'energia di produzione che quella di trasporto.

Moltiplicando il valore relativo al vetro cellulare (di densità 120 kg/m³) per la massa effettiva di isolante utilizzato, si ottiene l'energia primaria inglobata nel materiale per i differenti casi di isolamento considerati.

Per ottenere dei termini di confronto tra i cinque casi, si sono osservati il tempo di ritorno dell'energia ed il risparmio complessivo in termini energetici sviluppato

	Embodied Energy kWh	Risparmio annuale kWh	Tempo di ritorno energia anni	Risparmio 50 anni kWh
esterno 60cm + interno 0cm	5859,00	1753,14	3,34	81798,22
esterno 60cm + interno 110cm	21204,00	5692,46	3,72	263418,89
esterno 110cm + interno 0cm	10741,50	1899,96	5,65	84256,26
esterno 110cm + interno 120cm	27481,50	5858,79	4,69	265458,08
esterno 10cm + interno 120cm	18135,00	5558,14	3,26	259771,93

Tabella 06.51
Valori di Embodied Energy e risparmi in termini energetici delle varie soluzioni.

lungo il ciclo di vita minimo dell'edificio, posto a 50 anni.

Secondo lo stesso metodo si sono ricavati i valori riguardanti le emissioni di CO₂ correlate alla produzione del materiale ed al funzionamento dell'edificio durante la sua vita utile.

Si sono utilizzati a questo fine i valori esponenti la produzione di kg equivalenti di CO₂ esposti nel database IBO (Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie) per quanto riguarda il vetro cellulare (EC= 1,26 kgCO₂/kg), mentre per l'inquinante prodotto dalla combustione del gas naturale si è fatto riferimento ai valori presentati dal protocollo ITACA e dal DGR VIII/4916 (Piano d'azione per

	ITACA kg/kWh	DGR VIII/4916 kg/kWh
Gas naturale	0,1997	0,1998
GPL	0,2246	0,2254
Carbone	0,3387	-
Gasolio e Nafta	0,2638	0,2642
Olio residuo	0,2686	0,2704
Legno e combustibile legnoso	0,3406	-
Mix elettrico	0,2	0,4332
RSU	0,113	0,1703

Tabella 06.52
Produzione di CO₂ equivalente per le differenti fonti di energia.

l'energia) della regione Lombardia, che offrono i valori riportati in tabella.

Si è adottato, in mancanza di ulteriori fonti, un valore di 0,2 kgCO₂/kWh per il gas naturale, che trova conferma anche dalla U.S. Environmental protection agency (www.epa.gov), che propone un valore di 0,718 kgCO₂/kWh di produzione elettrica: moltiplicando questo valore per i coefficienti di conversione in energia primaria (quindi dividendo per 2,7 secondo lo standard Passivhaus) si ottiene infatti 0,26 kgCO₂/kWh.

Si ricavano quindi i valori di Embodied Carbon, il tempo di ritorno delle emissioni ed il risparmio annuale lungo tutto il ciclo di vita di produzione di

	Embodied Carbon kg CO ₂	Risparmio annuale kg CO ₂	Tempo di ritorno carbon anni	Risparmio 50 anni kg CO ₂
esterno 60cm + interno 0cm	984,31	350,63	2,81	16547,13
esterno 60cm + interno 110cm	3562,27	1138,49	3,13	53362,31
esterno 110cm + interno 0cm	1804,57	379,99	4,75	17194,98
esterno 110cm + interno 120cm	4616,89	1171,76	3,94	53971,02
esterno 10cm + interno 120cm	3046,68	1111,63	2,74	52534,71

Tabella 06.53
Valori di Embodied Carbon e risparmi in termini di emissioni delle varie soluzioni.

agenti inquinanti.

Si è poi passati ad effettuare un'analisi di tipo economico, basata sul concetto di payback period (PBP): l'investimento di capitale effettuato per la posa di uno strato aggiuntivo di isolante risulterà proficuo nella misura in cui la riduzione dei costi di riscaldamento sia tale da ammortizzare la spesa iniziale in un lasso di tempo inferiore alla vita utile dell'edificio.

Il procedimento si basa sul concetto di capitalizzazione, ovvero sulla

determinazione di un valore futuro (montante M) di una somma di denaro (capitale C) espressa a valori correnti

$$M=C+I$$

dove I rappresenta gli interessi, calcolati moltiplicando il capitale per il tasso d'interesse i, quindi

$$M=C+C*i$$

$$M= C(1+i)$$

Iterando questo calcolo per ogni anno di vita del bene, il valore di M calcolato diverrà il capitale C su cui applicare gli interessi l'anno successivo, ottenendo perciò la formula

$$M=C*(1+i)^n$$

con n= numero di anni

Si può così definire il flusso di cassa di un determinato anno come

$$C=M/(1+i)^n$$

Il tasso d'interesse i reale sarà valutato come combinazione del tasso d'inflazione (posto al 2%) ed il tasso d'interesse di mercato (posto al 4%), ottenendo

$$i=1,49\%$$

In questo modo è possibile calcolare la ricchezza generata dal progetto come Valore attualizzato netto (VAN), individuabile come la somma algebrica dei flussi di cassa lungo la vita del bene

$$VAN =\sum S_0/(1+i)^0+ S_1/(1+i)^1+ S_2/(1+i)^2+...+ S_n/(1+i)^n$$

$$\text{dove } S_n =S_{(n-1)}/(1+i)^{(n-1)}$$

Calcolando quindi il guadagno generato dalla riduzione dei consumi ad ogni anno, attualizzato secondo i tassi di interesse, questo andrà col tempo a ridurre l'impatto della spesa iniziale, raggiungendo un pareggio dopo un determinato numero di anni, oltre il quale l'investimento genererà dei guadagni (dovuti alla minore spesa per il consumo energetico dell'edificio).

Per ottenere i valori di risparmio monetario correlate alla riduzione dei consumi viene solitamente utilizzato il prezzo normalizzato dell'energia elettrica unitaria, pari in Belgio a 0,18 €/kWh (fonte 'Bureau d'Ingénieurs et Architectes Aspen'), che implica perciò la conversione del valore dell'energia primaria consumata in energia elettrica, secondo i coefficienti esposti in Tabella 06.50, utilizzando ora un fattore 2,7

$$Q_e = Q_p / c_f$$

ricavando quindi il valore economico

$$F = Q_s * 0,18 \text{ €/kWh}$$

In questo modo è possibile monetizzare il risparmio annuale di energia e quindi calcolare il Payback period a partire dalla spesa iniziale per l'acquisto e la posa dell'isolante, basandosi su una forchetta di costo del vetro cellulare compresa tra 25€/m² e 40€/m².

Per ogni caso di isolamento studiato si ricavano i seguenti grafici indicanti il flusso di cassa, la cui intercetta con l'asse x rappresenta il numero di anni in cui il capitale speso dovrebbe essere rientrato e di conseguenza nel periodo

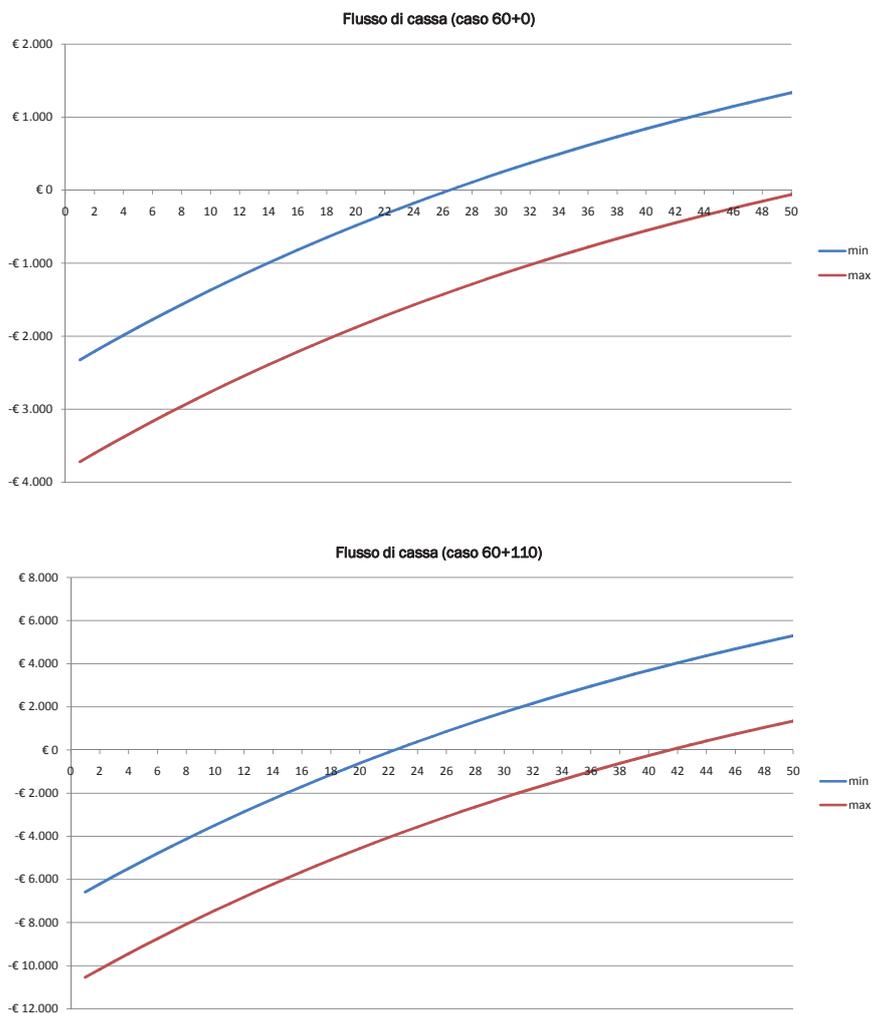
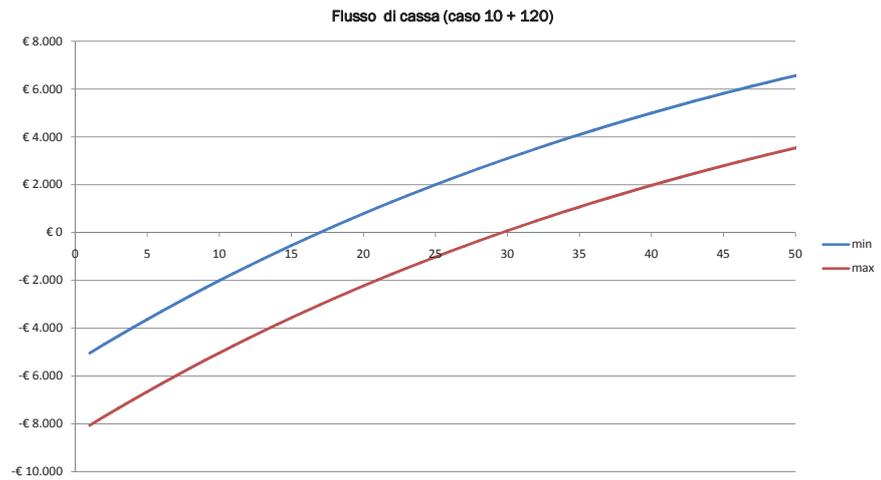
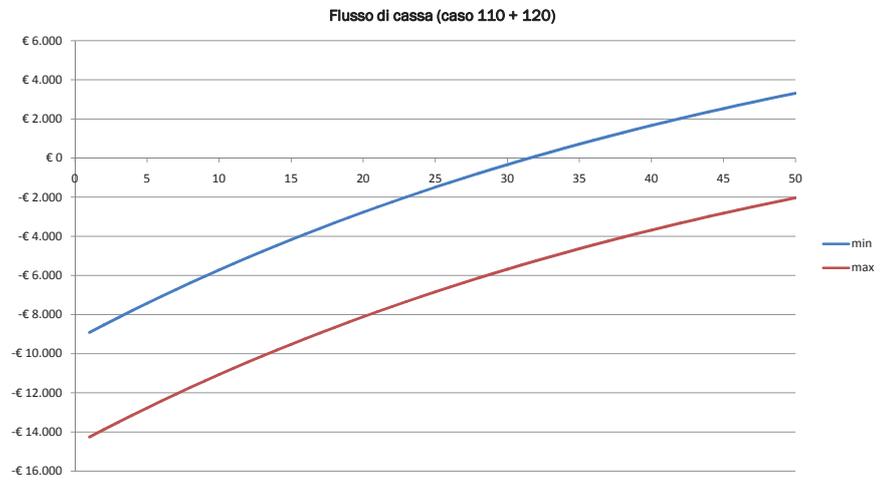
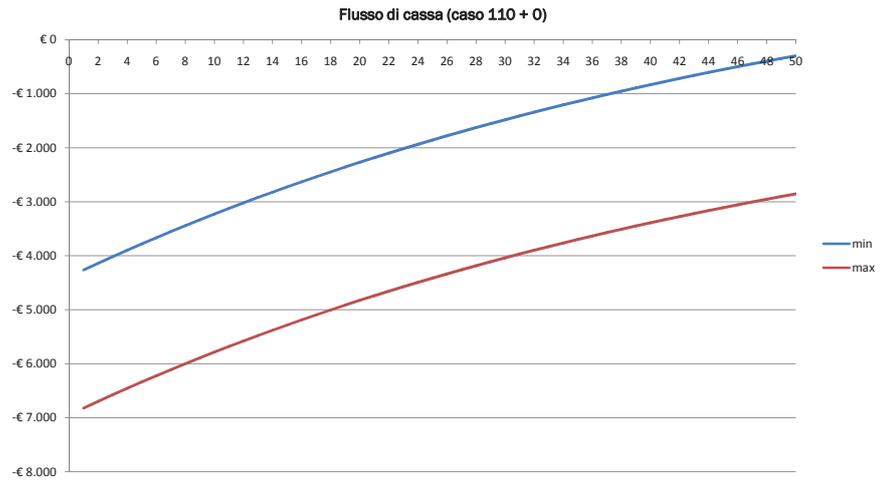


Grafico 06.32
 Flussi di cassa delle differenti soluzioni di isolamento.
 La serie blu indica il rientro di capitale nel caso di prezzo più basso dell'isolante, la serie rossa di quello più alto.
 Il tempo di ritorno sarà compreso tra i due valori dell'intercetta con l'asse X.



successivo il risparmio energetico si trasformerà in un flusso di cassa positivo. Dai grafici esposti si nota una sensibile variazione del PBP in funzione della configurazione dell'isolante.

Sintetizzando in una tabella i risultati, si possono confrontare i vari fattori

	Costi aggiuntivi totali		Risparmio annuale	Tempo di ritorno costi		Risparmio 50 anni	
	€	€		anni	anni	€	€
esterno 60cm + interno 0cm	-2325,00	-3720,00	116,88	26,00	xx	2805,03	-
esterno 60cm + interno 110cm	-6587,50	-10540,00	379,50	22,00	41,00	10625,92	3415,47
esterno 110cm + interno 0cm	-4262,50	-6820,00	126,66	xx	xx	-	-
esterno 110cm + interno 120cm	-8912,50	-14260,00	390,59	31,00	xx	7421,14	-
esterno 10cm + interno 120cm	-5037,50	-8060,00	370,54	16,00	29,00	12598,45	7781,39

Tabella 06.54
Valori economici e tempi di ritorno delle differenti soluzioni.

economici rilevati:

Per avere un riscontro più realistico, si è poi osservato il caso particolare dell'utilizzo di vetro cellulare della FOAMGLAS, adottando i valori del prezzario della ditta, corrispondenti a 29€/m² per l'isolamento in pendenza (1,1%) con

FOAMGLAS	Costi aggiuntivi totali		Risparmio annuale	Tempo di ritorno costi		Risparmio 50 anni	
	€	€		anni	anni	€	€
esterno 60cm + interno 0cm	2697,00		116,88	32,00		2103,77	
esterno 60cm + interno 110cm	9005,50		379,50	33,00		6451,45	
esterno 110cm + interno 0cm	4944,50		126,66	xx		-	
esterno 110cm + interno 120cm	11826,50		390,59	47,00		1171,76	
esterno 10cm + interno 120cm	7331,50		370,54	26,00		8893,02	

Tabella 06.55
Valori economici e tempi di ritorno delle differenti soluzioni utilizzando il listino fornito dall'azienda FOAMGLAS.

spessore medio 7cm e 37€/m² per l'isolamento di spessore 10cm.

Da questi risultati si evince che, a livello economico, la soluzione che offre il maggior risparmio annuale non risulta necessariamente la migliore soluzione sul lungo periodo, offrendo un tempo di ritorno di molto superiore ad altre soluzioni ma soprattutto un risparmio complessivo, lungo il ciclo di vita dell'edificio, di gran lunga inferiore.

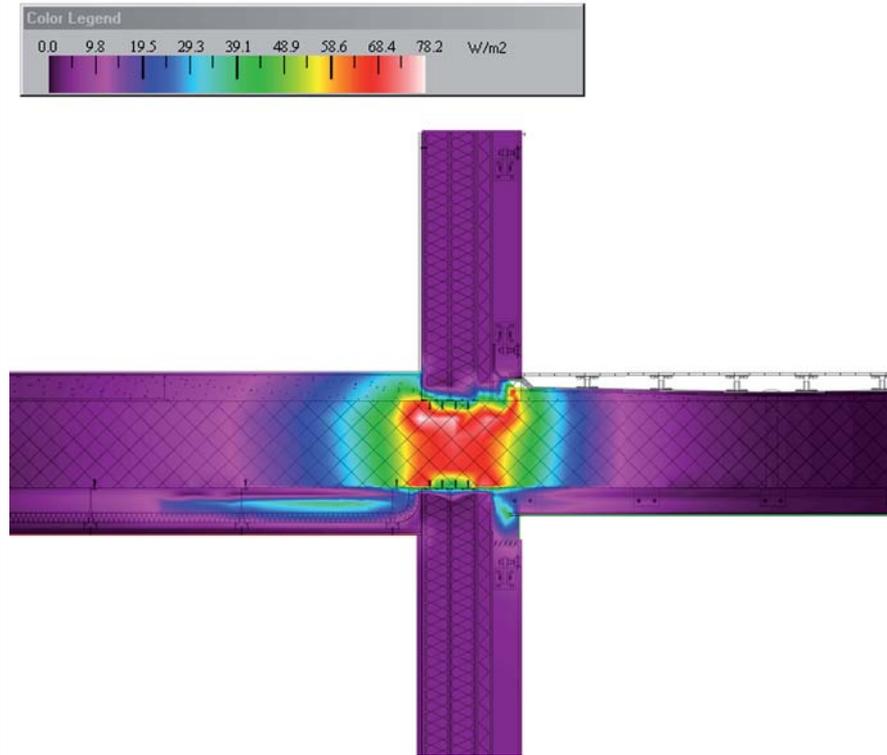
6.4.4 Conclusioni

Osservando i valori riportati nelle tabelle riguardanti i tre fattori valutati, la scelta della soluzione ricade sulla combinazione che prevede il solo isolamento interno con 120cm di vetro cellulare (spessore 10cm) lungo tutta la lunghezza del ponte termico, con il solo inserimento di 10cm, sempre in vetro cellulare di spessore 8cm, su tutto il profilo esterno, con lo scopo di isolare il telaio fisso ed il controtelaio del serramento in coincidenza delle aperture.

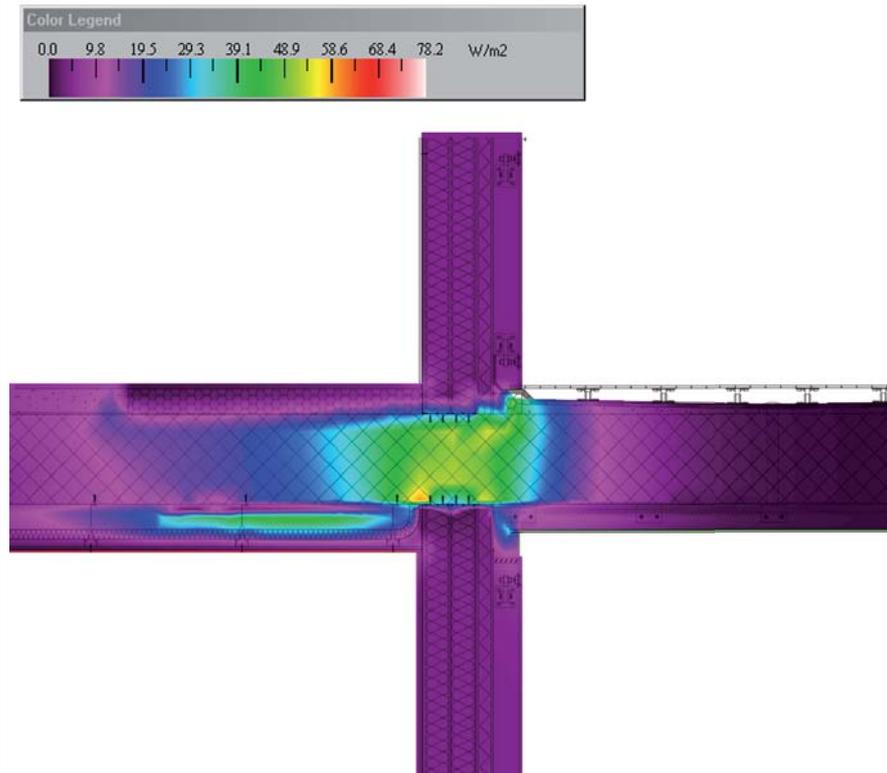
Questa soluzione infatti si presenta indubbiamente come la più conveniente in termini economici complessivi, fornendo un PBP di 26 anni, di gran lunga inferiore rispetto alle altre soluzioni, e massimizzando i guadagni sul lungo periodo, a fronte di un risparmio energetico e di emissioni solo leggermente inferiore rispetto ai casi più isolati.

Il miglioramento delle condizioni risultano visibili grazie alla rappresentazione grafica fornita dal software THERM dell'intensità di flusso e dell'andamento delle temperature all'interno del nodo: si nota, nel caso isolato, un'espansione della sezione interessata dal un flusso termico all'interno della soletta associata però ad una riduzione di intensità (svanisce infatti completamente la colorazione

06..20
Rappresentazione del
flusso termico all'in-
terno della soletta in
caso non isolato.



06..21
Rappresentazione del
flusso termico all'in-
terno della soletta in
caso isolato.

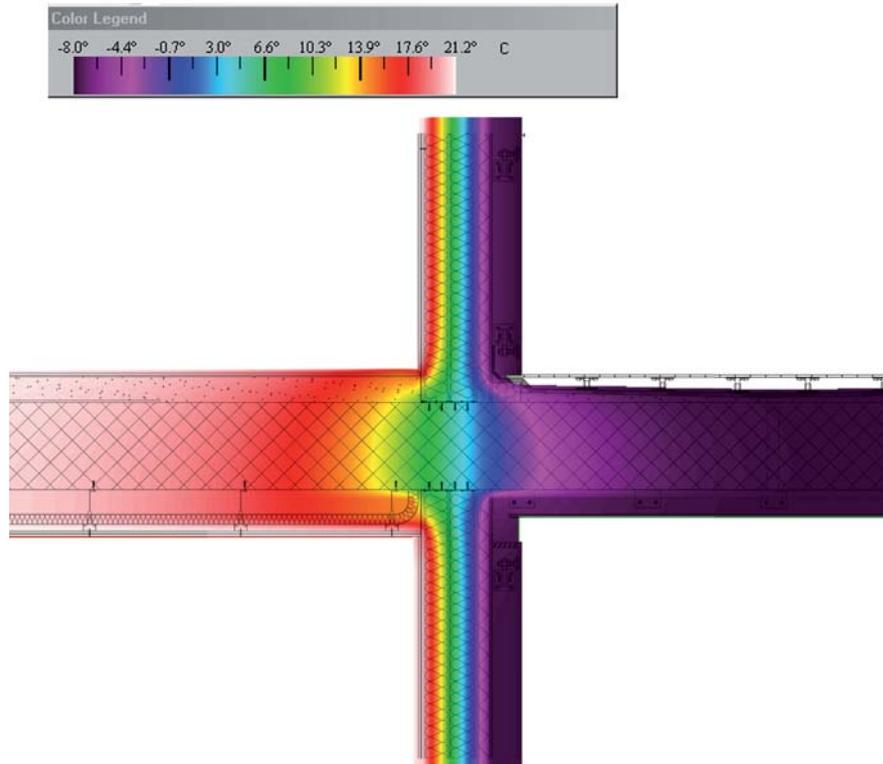


rossa).

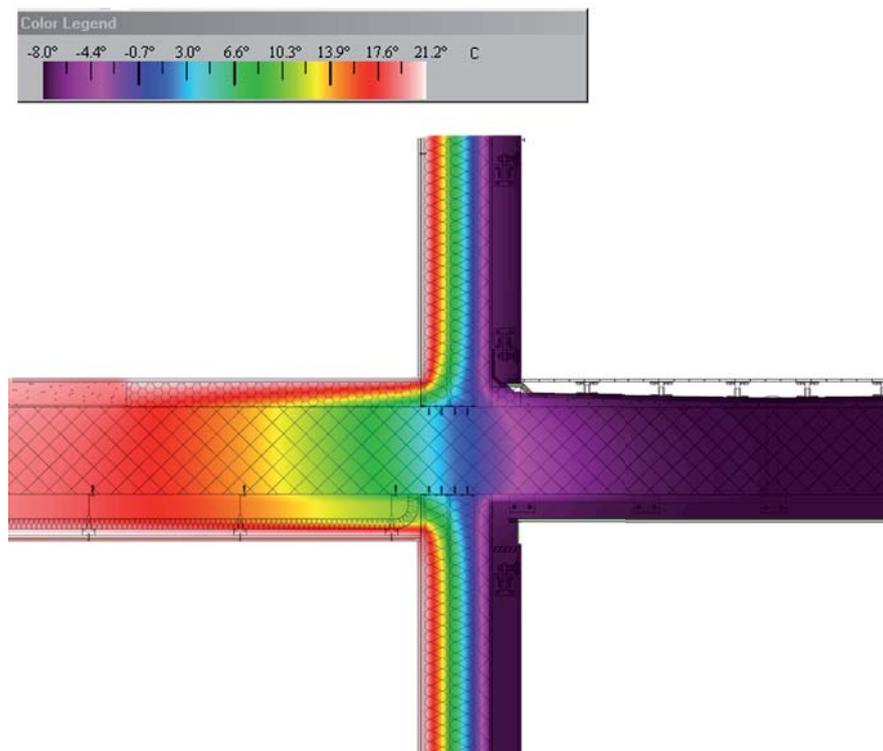
Nella rappresentazione del gradiente di temperatura si nota invece un'innalzamento nella temperatura superficiale interna, in corrispondenza della giunzione del muro superiore con la soletta, che passa da 16,9°C del caso non isolato (tornando ad un valore di 19°C soltanto a 40cm dalla parete)

a 19,8°C una volta aggiunto l'isolante.

In questo modo viene ad essere allontanata ogni possibilità di formazione di



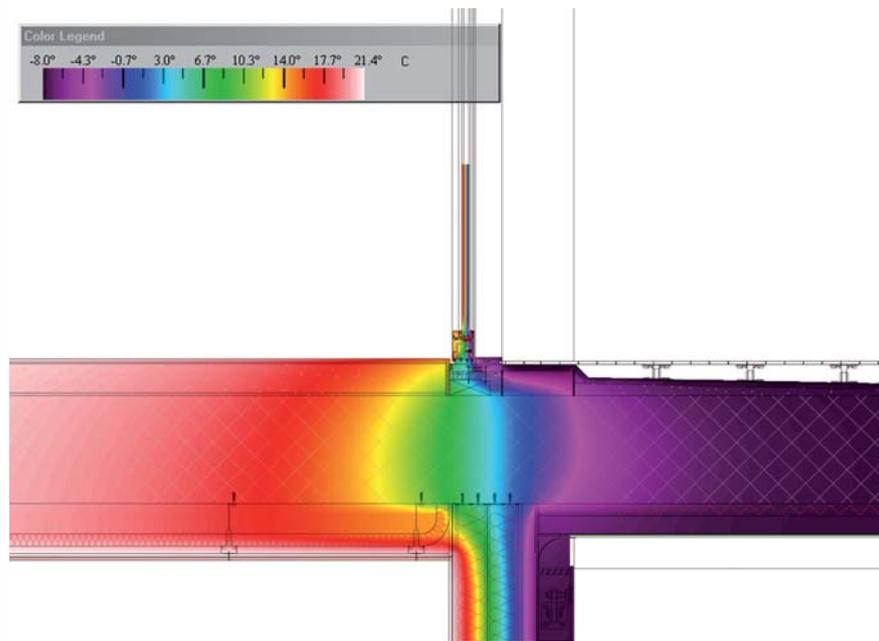
06..22
Rappresentazione del gradiente termico all'interno della soletta in caso non isolato.



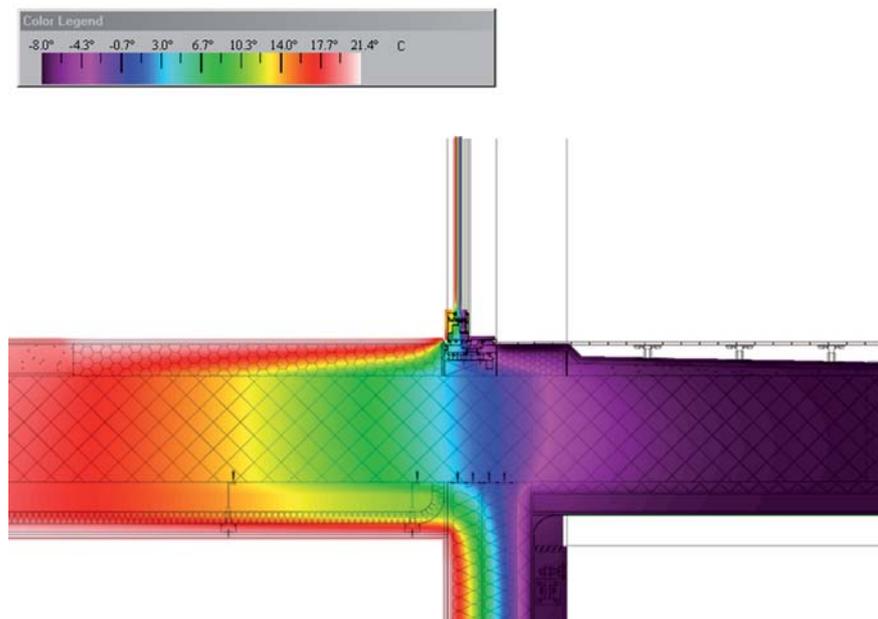
06..23
Rappresentazione del gradiente termico all'interno della soletta in caso isolato.

condensa superficiale in corrispondenza del ponte termico.
 Risulta poi interessante osservare il comportamento della temperatura in corrispondenza del serramento, classicamente un punto critico dell'involucro. In quest'area infatti, a causa della maggior trasmittanza del telaio rispetto alla parete, si avrà una drastica riduzione delle temperature superficiali, possibile causa di condensa e di alto discomfort.
 L'aggiunta dei 120cm di vetro cellulare porta le temperature superficiali della pavimentazione in prossimità del telaio a passare da valori inferiori ai 19°C per i primi 50cm ad un valore di 20°C raggiunto a pochi centimetri dal serramento, eliminando completamente il rischio di condensa e la sensazione di discomfort termico.

06.24
 Rappresentazione del gradiente termico in corrispondenza del serramento nel caso non isolato.



06..25
 Rappresentazione del gradiente termico in corrispondenza del serramento nel caso isolato.



6.5 L'involucro vetrato

6.5.1 Premessa

Il vetro è forse il materiale da costruzione che durante le ultime decadi ha registrato la maggiore evoluzione innovativa, diventando una parte estremamente importante dell'architettura moderna: l'accesso alla luce naturale è ormai uno degli elementi più rilevanti della progettazione, per i suoi benefici sia fisici che psicologici.

L'idea è quella di creare un edificio con un maggior contatto con l'esterno, mostrando una comunicazione ed un'apertura verso la società esterna che un involucro tradizionale opaco fatica a fornire.

La presenza di una facciata vetrata rappresenta però anche un punto critico quando lo si affronta come aspetto tecnologico: una progettazione non attenta può portare a gravi conseguenze sull'efficienza energetica dell'edificio.

Attraverso una chiusura trasparente passa facilmente la luce quanto il calore e il rumore, rischiando quindi fenomeni di surriscaldamento dell'interno, in caso di soleggiamento eccessivo ed assenza di protezione, dispersioni di calore maggiori rispetto a muri di tamponamento opachi e scarso comfort acustico per le attività svolte nell'edificio.

Il vetro: proprietà

Il meccanismo di trasmissione termica all'interno di un sistema vetrato avviene in maniera molto complessa, combinando conduzione, convezione in ragione dei differenti materiali, solidi e fluidi, che compongono il sistema di vetratura, ma anche irraggiamento, data la trasparenza del materiale vetro, che è anche la forma sotto cui riceviamo la maggior parte dell'energia proveniente dal sole.

L'irraggiamento consiste nella trasmissione di energia sotto forma di una radiazione elettromagnetica, emessa da ogni corpo ma che risulta visibile solo quando questo supera i 550 °C, mentre al di sotto di questa soglia risulta nella gamma dell'infrarosso, quindi a frequenze non visibili all'occhio umano.

Nel campo della radiazione visibile differenti materiali hanno differenti proprietà ottiche, quali colore, brillantezza e trasparenza.

Nel campo dell'infrarosso invece quasi tutti i materiali risultano "neri", ovvero si comportano solamente come accumulo, senza riflessione o trasparenza e il vetro non fa differenza.

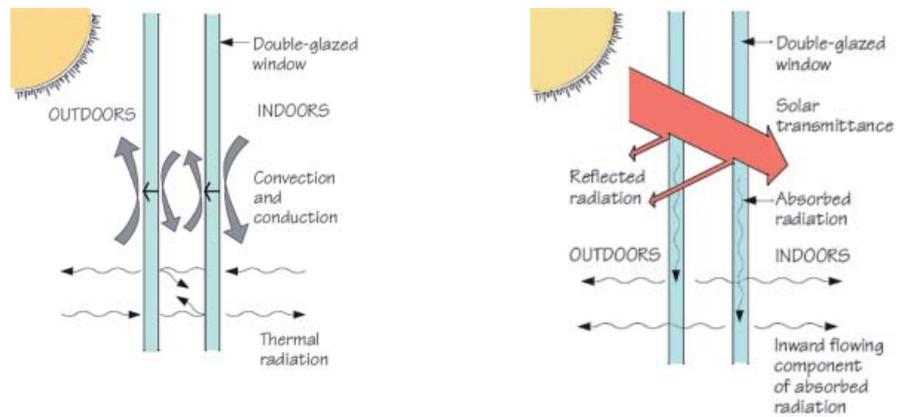
Questa caratteristica consente al vetro di essere estremamente permeabile alla luce visibile, che quindi può penetrare all'interno dell'edificio e riscaldare le superfici opache all'interno, accumulando (e quindi impedendone il passaggio diretto) l'energia trasmessa nell'infrarosso.

Al contempo le superfici riscaldate dalla luce visibile penetrata attraverso il vetro, avendo accumulato calore iniziano ad emettere calore in varie forme, tra cui anche la radiazione infrarossa che resta intrappolata all'interno, non potendo più oltrepassare la barriera posta dal vetro.

Inoltre, l'aggiunta di particolari film a base metallica applicati alla superficie del vetro (vetri basso emissivi, o "Low-E glazing") fanno acquisire al materiale una proprietà riflessiva nei confronti dell'infrarosso, ma non della radiazione visibile,

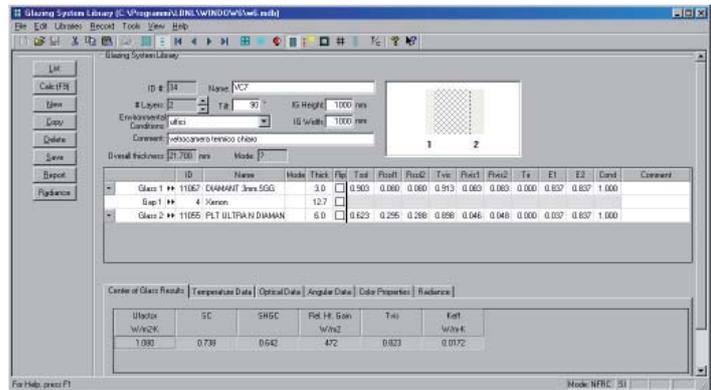
riducendo enormemente la trasmissione di calore per irraggiamento. Un'ulteriore tecnica sviluppata per ridurre la trasmissione attraverso una vetrata è quella della creazione di un vuoto tra due pannelli di vetro, minimizzando quindi la trasmissione di calore per conduzione e convezione attraverso il gas. In aggiunta alle proprietà termiche richieste al vetro, definite dal valore U [W/m²K] di trasmittanza termica, risultano di fondamentale importanza altre sue proprietà, quali la permeabilità alla luce e il guadagno solare. Queste proprietà sono espresse dai valori di τ , fattore di trasmissione della luce visibile, e g (SHGC, Solar Heat Gain Coefficient in notazione americana), fattore di trasmissione dell'energia che include non solo la resistenza diretta alla trasmissione solare, ma anche la trasmissione secondaria, dovuta al surriscaldamento del pannello vetrato stesso. Entrambi questi valori sono espressi come percentuale rispetto al totale dell'energia solare incidente ortogonalmente (mentre il valore SHGC è espresso

06.26
Schematizzazione della trasmissione dell'energia solare attraverso una vetrocamera. (fonte: Lawrence Berkeley National Laboratory, www.lbl.gov)



in proporzione di 0,86). In caso di necessità di protezione dalla radiazione solare, esistono vetri caratterizzati da bassi valori di g che in passato implicavano anche una grossa riduzione della trasmissione visibile e anche una colorazione abbastanza marcata, ma dalla metà degli anni novanta si è arrivati alla creazione di vetri a controllo solare "neutro", in grado di raggiungere bassi valori di g combinati però con un alto grado di trasmissione della luce visibile. Per avere un riferimento realistico, si sono adottati, per l'analisi, vetri della ditta Saint-Gobain, calcolandone le proprietà utilizzando il Software freeware

06.27
Interfaccia del software WINDOWS6.



	sp. [mm]	Tsol	SHGC	Tvis	U [W/m ² K]	
Planitherm Ultra N Diamant	6	0,623	0,635	0,898	3,227	low-E chiarissimo
Planitherm Ultra N Diamant	3	0,631	0,640	0,902	3,265	low-E chiarissimo
Planistar SGG	6	0,391	0,438	0,779	3,227	low-E controllo solare
Planistar SGG	3	0,408	0,441	0,793	3,265	low-E controllo solare
Diamant SGG	6	0,889	0,898	0,909	5,799	chiarissimo
Diamant SGG	3	0,903	0,908	0,913	5,904	chiarissimo
Cool-Lite ST 450-H SGG	4	0,295	0,481	0,450	5,792	controllo solare
Vision Lite SGG Diamant	10	0,864	0,874	0,967	5,755	stratificato chiarissimo antiriflesso
Cool-Lite SKN 165 SGG	10	0,301	0,376	0,659	5,533	stratificato controllo solare

Tabella 06.56
Valori e caratteristiche dei vetri scelti per l'analisi.

WINDOW 6 della LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory, www.lbl.gov).
Si sono quindi calcolati i valori corrispondenti alle diverse possibili combinazioni

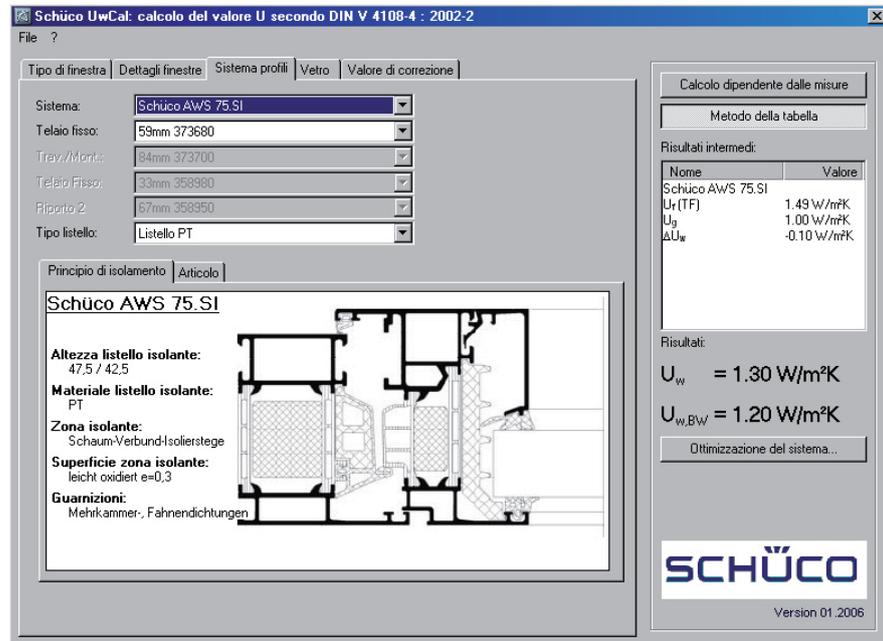
VC1		SC	SHGC	Tvis	U [W/m ² K]	U finestra [W/m ² K]
Planitherm Ultra N Diamant xenon Planitherm Ultra N Diamant	6	0,613	0,527	0,808	1,072	1,210
	13					
	6					
VC2		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Planitherm Ultra N Diamant	3	0,623	0,536	0,542	1,080	1,210
	13					
	3					
VC3		SC	SHGC	Tvis	U	
Planistar SGG xenon Planitherm Ultra N Diamant	6	0,528	0,454	0,701	1,072	1,210
	13					
	6					
VC4		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Planistar SGG	6	0,410	0,353	0,702	1,072	1,210
	13					
	6					
VC5		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Planistar SGG	3	0,410	0,353	0,705	1,076	1,210
	13					
	6					
VC6		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Planistar SGG	3	0,429	0,369	0,717	1,080	1,210
	13					
	3					
VC7		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Diamant SGG	6	0,738	0,635	0,823	1,080	1,210
	13					
	3					
VC8		SC	SHGC	Tvis	U	
Diamant SGG xenon Diamant SGG	3	0,955	0,821	0,840	2,500	2,490
	13					
	3					
VC9		SC	SHGC	Tvis	U	
Diamant SGG xenon Diamant SGG	6	0,941	0,809	0,832	2,462	2,490
	13					
	6					
VC10		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon Cool-Lite ST 450-H SGG	6	0,296	0,255	0,407	1,079	1,210
	13					
	4					
VC11		SC	SHGC	Tvis	U	
Diamant SGG xenon Cool-Lite ST 450-H SGG	6	0,400	0,344	0,414	2,473	2,490
	13					
	4					

Tabella 06.57
Valori e caratteristiche delle vetrocamere utilizzate.

di vetrocamere, ottenendo i valori riportati in tabella

I valori complessivi di termotrasmissione del serramento comprensivo del vetro sono stati ottenuti con l'aiuto del software U_w -calc disponibile sul sito internet dell'azienda Schüco (www.schueco.it).

06.28
Interfaccia del software Schueco U_w -calc.



6.5.2 Lo spazio cuscinetto

Su tutti gli affacci meridionali dell'edificio adibito ad uffici si è creato uno spazio intermedio tra esterno ed interno, che oltre ad avere una funzione architettonica di luogo di relax svolge anche un ruolo importante nella progettazione climatica del complesso.

Questo spazio infatti, essendo caratterizzato da chiusure completamente vetrate, avrà lo stesso comportamento di una serra, accumulando quindi calore grazie all'irraggiamento solare, riducendo al contempo le dispersioni trattandosi di uno spazio intermedio non riscaldato.

La tipologia: la serra bioclimatica

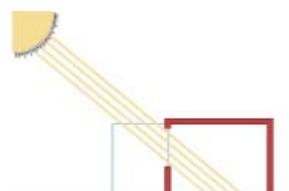
La serra bioclimatica è una tecnologia passiva per il controllo dei flussi termoisolometrici attraverso l'edificio finalizzata al miglioramento del comfort abitativo e alla riduzione dei consumi energetici.

Fisicamente è costituita da uno spazio vetrato, posto in adiacenza all'edificio e abitabile in alcuni periodi dell'anno, che contribuisce al riscaldamento e al raffrescamento dell'edificio.

Le modalità di trasferimento e distribuzione del calore possono essere definite di tre tipi:

- guadagno diretto: attraverso la superficie vetrata posta tra la serra e l'ambiente riscaldato si avrà un apporto di calore direttamente dall'irraggiamento

06.29
Guadagno solare diretto



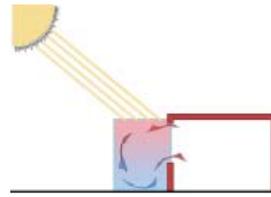
solare.

- scambio convettivo: lo scambio di calore avviene per convezione, sfruttando l'aria calda presente nella serra, attraverso i serramenti posti nella parete di separazione.

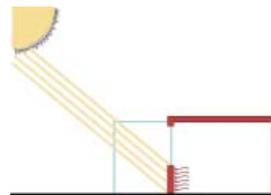
Lo scambio convettivo può essere ottimizzato attraverso aperture regolabili poste alla base e alla sommità della parete di separazione, oppure utilizzando condotti a ventilazione forzata per lo scambio

con locali non adiacenti la serra.

- scambio radiante: i guadagni vengono trasmessi attraverso una parete ad accumulo non isolata che scaldandosi trasmette calore verso l'interno per irraggiamento.



06.30
Guadagno solare per convezione.



06.31
Guadagno solare attraverso muri massicci.

Ciò che si richiede ad una serra bioclimatica durante le giornate invernali è che massimizzi la captazione di energia solare.

Naturalmente l'energia solare che raggiunge la serra dipende dalla latitudine, dalla presenza o meno di nuvole e dalla limpidezza dell'atmosfera.

La serra produce i massimi benefici in presenza di radiazione diretta sulla superficie vetrata chiusa, anche se in presenza di temperature non troppo basse e con una struttura trasparente è sufficientemente isolata, la serra potrà dare un contributo energetico positivo anche in una giornata nuvolosa.

Studio dell'ombreggiamento

Essendo che lo spazio che si vuole creare è esposto a Sud, quindi all'irraggiamento solare più forte, è necessario utilizzare delle strategie di controllo solare.

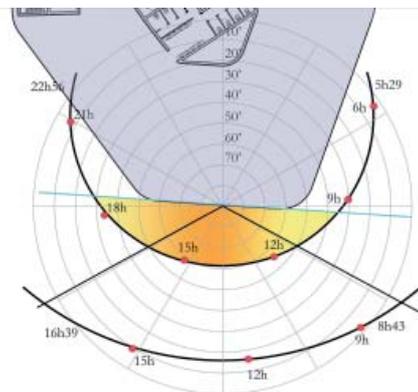
Un utilizzo di schermature in facciata o all'interno della vetrata esterna rischierebbe di compromettere il ruolo architettonico che la facciata è portata a compiere: questa dovrà infatti garantire la massima visibilità, avvolgendo in uno spazio chiuso, ma appartenente all'esterno degli uffici.

Si è quindi scelto di adottare un sistema di schermatura interno, costituito da oggetti generati dagli stessi volumi interni dei piani degli uffici, abbinato alla presenza di arbusti a fusto a foglie caduche.

Ogni piano sarà quindi aggettante rispetto al sottostante in maniera tale da offrire un'ombra portata che copra la vetrata interna inferiore, proteggendola dal sole più alto estivo e quindi da un eccessivo apporto di calore.

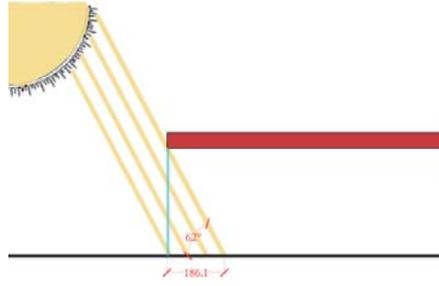
Questi oggetti sono stati studiati in maniera geometrica a questo fine.

Il fronte Sud, nel giorno di sole più alto estivo, riceve irraggiamento dalle



06.32
Percorso solare ed ore di sole sul fronte Sud.

06.33
Irraggiamento sul fronte Sud con sole ortogonale alla facciata.



ore 9.30 alle 18.30, raggiungendo un azimut massimo di 62°.

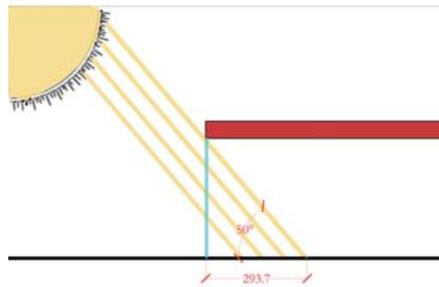
L'obiettivo qui è quello di proteggere la facciata interna nelle ore più calde, coprendola dal sole più alto di 50°, quindi dalle ore 11.15 alle 16.15.

Il sole sarà ortogonale alla facciata Sud alle ore 14.00, con un azimut

di 62°, avendo una profondità di penetrazione, considerato un interpiano di 3,50m, pari a 1,86m.

L'aggetto dovrà quindi avere una profondità di almeno 1,86m per proteggere la facciata dal sole più caldo estivo.

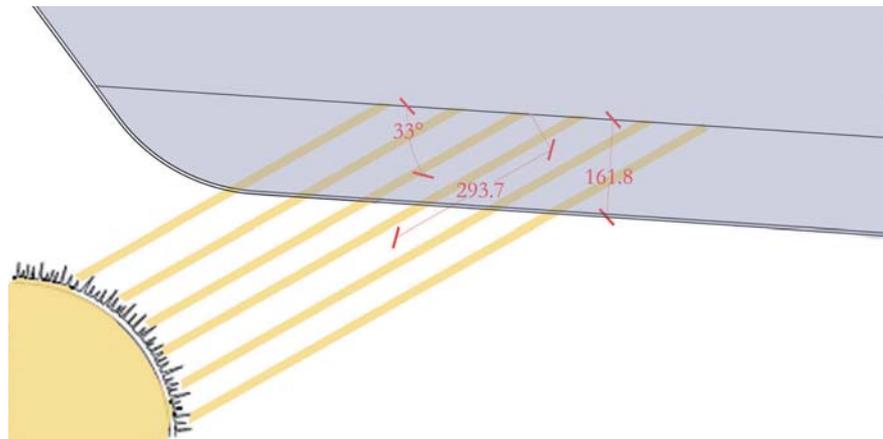
06.34
Irraggiamento sul fronte Sud con sole a 50°.



Volendo però proteggere la facciata da tutto il sole di altezza maggiore di 50°, bisognerà verificare che durante il suo percorso non abbia una profondità di penetrazione maggiore.

Nel caso di sole ad azimut 50°, la profondità è di 2,93m, ma ciò avviene con un angolo d'incidenza

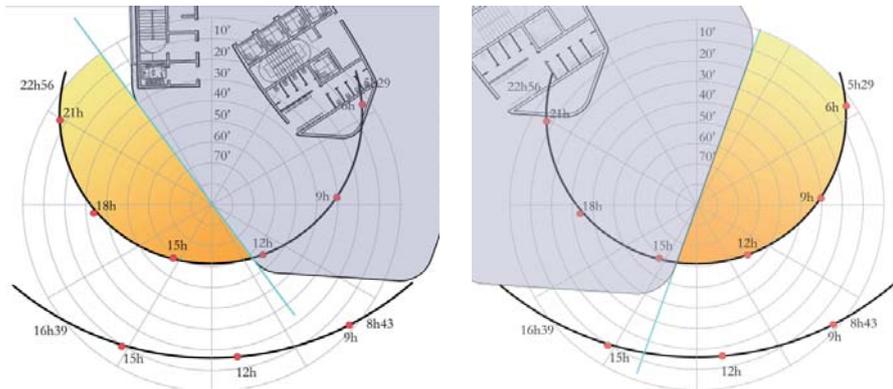
06.35
Profondità di penetrazione con sole a 50°.



sulla facciata di 33°.

La lunghezza dell'aggetto, per proteggere dal sole pomeridiano, dovrà quindi

06.36
Percorso solare ed ore di sole sui fronti Sud-Ovest e Sud-Est



essere di almeno

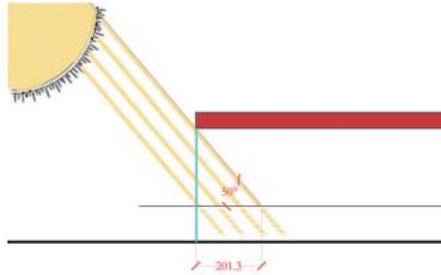
$$L = p \times \sin(33^\circ) = 1,62\text{m}$$

che risulta quindi verificato dal valore di 1,86m calcolato per il sole diretto.

Lo stesso ragionamento viene esteso ai fronti Sud-Ovest e Sud-Est.

Nel secondo caso il sole insisterà sulla facciata dall'alba fino alle 14.30, ponendosi perpendicolare alle ore 10.40 con un azimut di 45°.

Si vorrà ancora oscurare la facciata interna dal sole durante le ore più calde, tralasciando le prime ore del mattino, quando le temperature ed il calore accumulato all'interno degli uffici non sono ancora particolarmente alti, quindi si calcolerà, come per il fronte sud, la distanza da mantenere a partire dal momento in cui il sole raggiunge un'altezza di 50°, ovvero



06.37
Irraggiamento sul fronte Est con sole a 50°.

dalle ore 11.15.

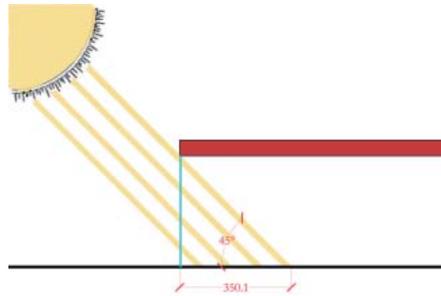
In questa condizione, tenendo conto che il fronte est presenta finestre interne non a tutta altezza, la penetrazione solare sul piano del serramento, a 1,10m da terra, è di 2,01m, con un angolo d'incidenza di 81°, che comporta un oggetto della profondità minima di

$$L = p \times \sin(33^\circ) = 1,98\text{m}$$

La facciata ovest inizia invece ad essere soleggiata dalle ore 12.30 con azimut 58°, ricevendo il sole in direzione ortogonale alle 16.00.

A quell'ora l'azimut sarà di circa 53°, con una profondità di penetrazione di 2,63m.

La situazione problematica su questo fronte però risulta correlata al sole più basso nelle ore del tardo pomeriggio, quando le temperature sono alte e il calore si è accumulato all'interno degli uffici.



06.38
Irraggiamento sul fronte Ovest con sole a 45°.

Si deve quindi porre un oggetto che sia in grado di creare ombreggiamento almeno fino alle ore 15.00, orario dopo il quale l'ombreggiamento sarà affidato esclusivamente a dispositivi d'oscuramento verticali.

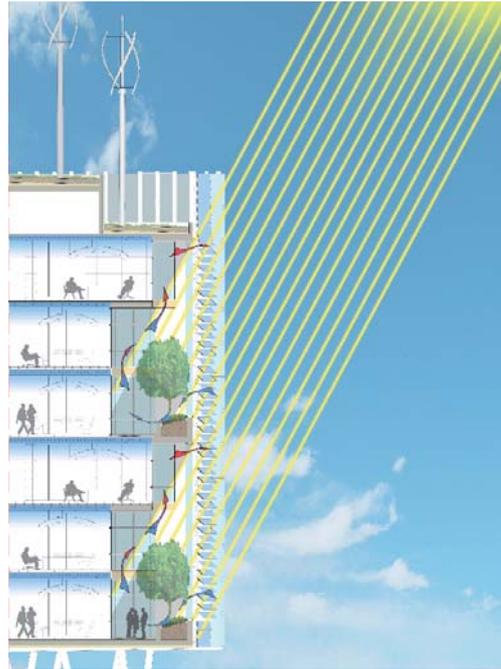
Alle ore 17.00 il sole di azimut 45° inciderà sulla facciata con un'inclinazione di circa 70° e quindi con una profondità di penetrazione di 3,30m.

I valori calcolati saranno applicati come arretramento della facciata interna rispetto a quella esterna al piano secondo ed al piano quinto degli uffici, mentre il piano primo ed il quarto arretreranno della stessa misura rispetto al piano soprastante, che fungerà da oggetto.

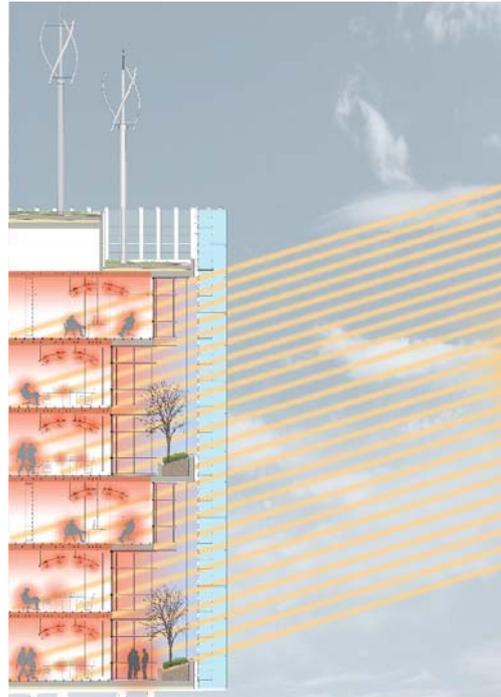
Il primo livello ed il piano terzo, ad esclusione del fronte Est, manterranno la facciata interna alla stessa profondità del piano soprastante, in quanto la funzione di ombreggiamento sarà affidata agli arbusti a foglie caduche presenti nelle fioriere antistanti.

Vedi allegato blow up fronte sud

06.39
Scheme Design della
facciata Sud in stagio-
ne estiva.



06.40
Scheme Design della
facciata Sud in stagio-
ne invernale.



Vedi allegato blow up
est

Sul fronte sud, analizzando quindi un solo elemento buffer di 3 piani, si otterrà una profondità minima al piano terra ed al primo di 3,72m e di 1,86m al piano secondo.

Il fronte est invece, data la presenza delle fioriere sui piani superiori sporgenti rispetto alla facciata interna, sarà caratterizzato da una profondità di 3,75m al piano terra, 2,95m al piano primo e 1,98m (come da calcolo) al piano secondo.

Vedi allegato blow up
ovest

Per quanto riguarda invece lo spazio ad ovest, le misure calcolate sono state utilizzate ai due piani superiori, ottenendo profondità al piano secondo di 6,70m ed al piano terzo di 3,35m, mentre il livello d'ingresso nello spazio buffer non sarà allineato con il piano superiore poiché ospiterà l'area relax esterna,

raggiungendo quindi la profondità di 8,20m e sarà protetto dal soleggiamento dalla vegetazione e dagli elementi di supporto della vetrata strutturale sospesa, consistenti in montanti di vetro stratificato traslucidi.

Analisi

Come si è detto, lo spazio intermedio che si viene a creare tra i due involucri dei piani adibiti ad uffici avrà un comportamento assimilabile a quello di una serra bioclimatica, perciò sarà analizzato con i metodi di calcoli relativi a questo sistema di riscaldamento passivo.

La scelta del metodo di calcolo è ricaduta sul "Metodo 5000", sistema elaborato inizialmente in Francia nel 1982 all'interno dell'attività di ricerca collegata al concorso "5000 Maisons Solaires".

Su questo metodo, che permette di calcolare gli apporti solari in termini energetici attraverso diversi tipi di involucro, si è basata, con alcune semplificazioni, la seguente normativa UNI EN 832 ed è tutt'oggi uno dei metodi migliori per il dimensionamento delle serre solari.

Il Metodo 5000 consente di stimare attraverso l'impiego di specifici moduli di calcolo i guadagni solari dei principali sistemi passivi:

1. la finestra
2. la serra addossata
3. il collettore ad aria a circuito aperto
4. il muro solare
5. il muro Trombe;
6. il muro massiccio.

Il metodo 5000 suddivide l'apporto energetico complessivo della serra addossata in quattro diversi tipi di guadagno solare, ovvero:

- la radiazione termica che penetra direttamente nel locale da riscaldare attraverso la finestra di separazione con la serra;
- la radiazione termica accumulata dal muro di separazione tra la serra e il locale da riscaldare, ceduta a quest'ultimo per conduzione;
- l'effetto cuscinetto, dovuto all'aria calda all'interno della serra, che diminuisce le dispersioni termiche verso l'esterno;
- il preriscaldamento dell'aria di ricambio che transitando nella serra aumenta la temperatura.

Guadagni solari attraverso superfici vetrate - ϕ sdg

Si tratta dell'energia termica solare che penetra direttamente nell'ambiente interno attraverso la finestra che lo separa dalla serra.

La quantità di energia termica che raggiunge l'ambiente interno è funzione

- dell'orientamento e dalla superficie della finestra che divide la serra dallo spazio riscaldato retrostante;
- delle caratteristiche di trasmissione della radiazione solare della superficie vetrata della serra e di quella che compone la finestra;
- della presenza di ostruzioni o schermature che possono ridurre la quantità di radiazione solare che raggiunge la finestra.

La formula di calcolo per una vetrata singola è la seguente:

$$\phi \text{ sdg [kWh/giorno]} = E \times g \times A \times m \times sf$$

Dove:

E [kWh/m² giorno]= irradiazione solare globale incidente sulla superficie vetrata

g= coefficiente trasmissione solare globale del vetro

A = area della finestra tra la serra e lo spazio riscaldato (mq)

m = rapporto tra area vetrata e area totale della finestra tra la serra e lo spazio riscaldato

sf = coefficiente di schermatura

I valori di E sono stati ricavati tramite foglio di calcolo a partire dai valori di irraggiamento diretto e diffuso su una superficie orizzontale, reperibili insieme agli altri dati climatici.

Per i dati delle città italiane si può anche fare riferimento alla norma UNI EN ISO 10349 "Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici." In questo caso per ottenere il valore della radiazione solare, riportato nelle tabelle in base all'orientamento della superficie vetrata, per il coefficiente di trasmissione solare del vetro che compone la finestra di separazione tra la serra e lo spazio riscaldato.

Passando al caso di una serra, alla precedente formula andranno aggiunti alcuni parametri riguardanti le proprietà della vetrata esterna, che influenzano (e riducono) la trasmissione dell'energia solare, ottenendo:

$$\phi \text{ sdg [kWh/giorno]} = E \times g \times A \times m \times sf \times gs \times ms$$

Dove:

gs= coefficiente trasmissione solare globale dell'involucro della serra

ms= rapporto tra area vetrata e area totale del serramento costituente la serra

Guadagni solari da muri massicci all'interno della serra - $\phi \text{ smv}$

Se il muro di separazione tra la serra e il locale interno è coibentato, questo apporto energetico è trascurabile.

Invece se il muro non è fortemente isolato, il guadagno solare può essere significativo. Il guadagno solare è dovuto all'energia termica che penetrando per irraggiamento all'interno della serra viene assorbita dal muro che la separa dallo spazio riscaldato. L'energia accumulata viene poi ceduta per conduzione all'ambiente interno.

La formula di calcolo è la seguente:

$$\phi \text{ smv [kWh/giorno]} = 0,11 \times U \times \alpha \times E_i \times gs \times ms \times A \times sf$$

Dove:

U = trasmittanza termica del muro massiccio (W/mq °C)

α = coefficiente di assorbimento del muro

E [kWh/m² giorno]= irradianza solare globale incidente sulla superficie vetrata

g_s = coefficiente trasmissione solare globale dell'involucro della serra

m_s = rapporto tra area vetrata e area totale del serramento costituente la serra

A = area del muro m_q

s_f = coefficiente di schermatura

Guadagni solari per effetto cuscinetto e preriscaldamento dell'aria di ricambio

L'energia solare che penetra nella serra innalza la temperatura dell'aria che vi è contenuta. Ciò determina una diminuzione delle dispersioni termiche attraverso l'involucro dell'edificio.

Si calcola il fattore E_s per ogni elemento diverso orientato della serra

$$E_s \text{ [kWh/giorno]} = E \times s_f \times A \times m_s \times g_s$$

Dove:

E [kWh/m² giorno]= irradianza solare globale incidente sulla superficie vetrata

s_f = coefficiente di ombreggiamento

A = area complessiva dell'involucro della serra

g_s = coefficiente trasmissione solare globale dell'involucro della serra

m_s = rapporto tra area vetrata e area totale del serramento costituente la serra

Successivamente si calcola l'energia intrappolata nella serra, attraverso la seguente formula:

$$F_s \text{ [kWh/giorno]} = (a_1 \times E_s) - (a_2 \times \phi \text{ sdg}) - \phi \text{ smv}$$

Dove:

E_s = energia penetrata nella serra precedentemente calcolata

a_1, a_2 = coefficienti che tengono conto dell'energia solare dispersa attraverso il pavimento della serra e a causa delle riflessioni multiple al suo interno, reperibili nella seguente tabella:

tipo di serra	serra con pavimento non isolato		serra con pavimento isolato			
	vetro singolo	vetro doppio	Colore chiaro		Colore scuro	
			V.S.	V.D.	V.S.	V.D.
 Serra addossata con 4 superfici captanti (tetto, facciata e pareti laterali)	a1=0,65 a2=0,85	a1=0,69 a2=0,87	a1=0,63 a2=0,85	a1=0,67 a2=0,87	a1=0,59 a2=0,85	a1=0,63 a2=0,87
 Serra addossata con 3 superfici captanti (facciata e pareti laterali)	a1=0,70 a2=0,89	a1=0,74 a2=0,91	a1=0,68 a2=0,89	a1=0,71 a2=0,91	a1=0,65 a2=0,89	a1=0,68 a2=0,91
 Serra addossata con 3 superfici captanti (tetto e pareti laterali)	a1=0,67 a2=0,86	a1=0,71 a2=0,89	a1=0,66 a2=0,86	a1=0,70 a2=0,89	a1=0,62 a2=0,86	a1=0,66 a2=0,89
 Serra addossata con 2 superfici captanti (pareti laterali)	a1=0,64 a2=0,91	a1=0,67 a2=0,92	a1=0,62 a2=0,91	a1=0,66 a2=0,92	a1=0,59 a2=0,91	a1=0,63 a2=0,92
 Serra integrata o addossata con 2 superfici captanti (facciata e tetto)	a1=0,87 a2=0,87	a1=0,90 a2=0,90	a1=0,84 a2=0,87	a1=0,87 a2=0,90	a1=0,80 a2=0,87	a1=0,82 a2=0,90
 Serra integrata con 1 superficie captante (facciata)	a1=0,92 a2=0,92	a1=0,94 a2=0,94	a1=0,90 a2=0,92	a1=0,91 a2=0,94	a1=0,85 a2=0,92	a1=0,87 a2=0,94

Tabella 06.58
Valori dei fattori a_1 ed a_2 in funzione della tipologia di serra di pavimentazione e del vetro di chiusura della serra.

Si sono qui scelti i valori $a_1=0,7$ ed $a_2=0,89$ trovandoci nel caso di una serra addossata con tre affacci (caso B) costituiti da vetro singolo ed una pavimentazione non isolata.

In seguito si stimano le temperature ottenute all'interno dell'elemento serra, senza considerare i guadagni solari:

$$tsng [^{\circ}C] = (tem \times H_{bm}) + (ti \times H_{hm}) / (H_{hm} + H_{bm})$$

Dove:

tem [$^{\circ}C$] = temperatura esterna media mensile

ti [$^{\circ}C$] = temperatura interna da termostato

H_{bm} [W/K] = coefficiente medio di dispersione termica dalla serra verso l'esterno

H_{hm} [W/K] = coefficiente medio di dispersione termica dall'ambiente riscaldato verso la serra

A questa temperatura si aggiungerà un aumento dovuto ai guadagni solari, ottenendo:

$$ts [^{\circ}C] = tsng + Fs / 0,024 \times (H_{hm} + H_{bm})$$

E' ora possibile calcolare i guadagni complessivi dovuti all'effetto dello spazio cuscinetto

$$\phi_{sb} [kWh/giorno] = H_{hm} \times (ts - tsng) \times 0,024$$

e quelli derivanti dal preriscaldamento dell'aria di ricambio

$$\phi_{sa} [kWh/giorno] = 0,34 \times (ts - tsng) \times 0,024 \times q_b$$

Dove:

q_b = portata dell'aria di ricambio dalla serra allo spazio riscaldato

Si può quindi ora ottenere il valore complessivo dei guadagni derivanti dalla serra

$$\phi_{tot} [kWh/giorno] = \phi_{sdg} + \phi_{smv} + \phi_{sb} + \phi_{sa}$$

Applicazione del metodo

Nell'applicazione del procedimento sopra esposto si è considerato lo spazio completamente chiuso, quindi senza ventilazione verso l'esterno, durante i mesi invernali con necessità di riscaldamento, mentre si sono supposti completamente aperti i fronti Sud e Sud-Est, caratterizzati da una vetrata costituita da lamelle vetrate mobili. In questa situazione, la facciata esterna è stata considerata come un ombreggiamento nei confronti di quella interna, utilizzando il valore di g come coefficiente moltiplicativo del fattore di ombreggiamento sf.

Si è scelto di operare mantenendo sempre un vetro stratificato ultrachiario all'esterno, confrontando tra loro 3 tipi di vetrocamera per la facciata interna:

VC6		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon	3	0,429	0,369	0,717	1,080	1,210
	13					
	3					
Planistar SGG	3					
	13					
	3					
VC7		SC	SHGC	Tvis	U	
Planitherm Ultra N Diamant xenon	6	0,738	0,635	0,823	1,080	1,210
	13					
	3					
Diamant SGG	6					
	13					
	3					
VC8		SC	SHGC	Tvis	U	
Diamant SGG	3	0,955	0,821	0,840	2,500	2,490
	13					
	3					
xenon	3					
	13					
	3					
Diamant SGG	3					
	13					
	3					

Tabella 06.59
Valori e caratteristiche delle vetrocamere utilizzate nello studio dello spazio buffer sul fronte Sud.

La vetrocamera con vetro low-e a protezione solare è stata inserita nell'analisi solo come termine di confronto: una sua applicazione infatti limiterebbe eccessivamente la trasmissione di luce visibile durante i mesi invernali, pregiudicando quindi la qualità dell'ambiente interno e di conseguenza la salute, sia fisica che psicologica, e la produttività.

Si è inoltre calcolato, per ottenere un giudizio sui miglioramenti energetici apportati dalla scelta della costruzione di uno spazio tampone, il caso di assenza dell'elemento serra e dei relativi ombreggiamenti interni, considerando quindi un solo involucro costituito da un semplice curtain wall dotato di una vetrocamera che accoppia un vetro basso emissivo ad uno a protezione solare. Si ottengono quindi i seguenti grafici dei diversi guadagni ottenibili:

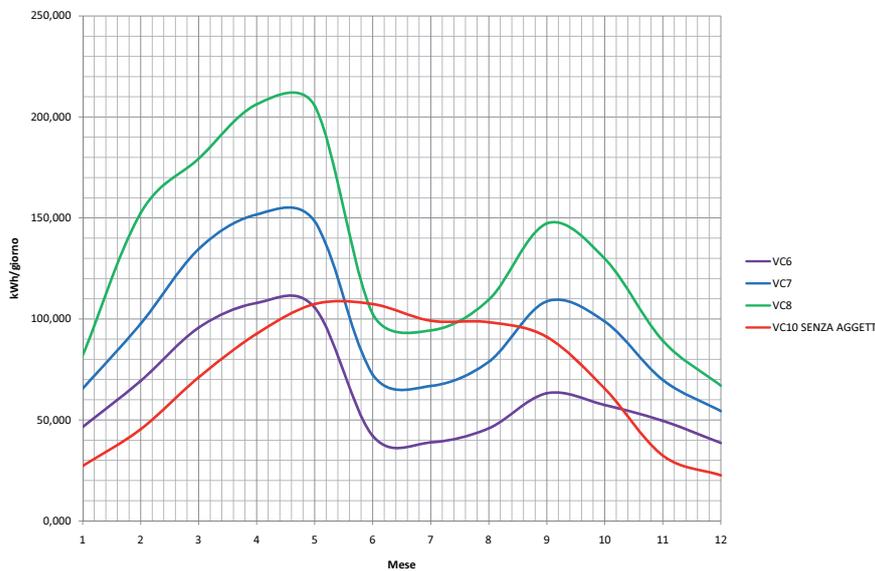


Grafico 06.33
Grafico dei guadagni solari totali delle diverse ipotesi di vetratura.

Osservando l'andamento delle curve si nota che con tutte le tre tipologie di vetrocamera si ottiene un comportamento nettamente migliorativo rispetto al caso senza spazio tampone ed aggetti.

In particolare, si osserva che la curva più efficiente è quella rappresentata dalla combinazione con vetrocamera VC8, che è anche quella che offre le migliori proprietà ottiche, essendo estremamente trasparente, massimizzando i guadagni solari gratuiti nel periodo invernale, riducendoli in estate.

Grafico 06.34
Grafico dei guadagni solari diretti delle diverse ipotesi di vetratura.

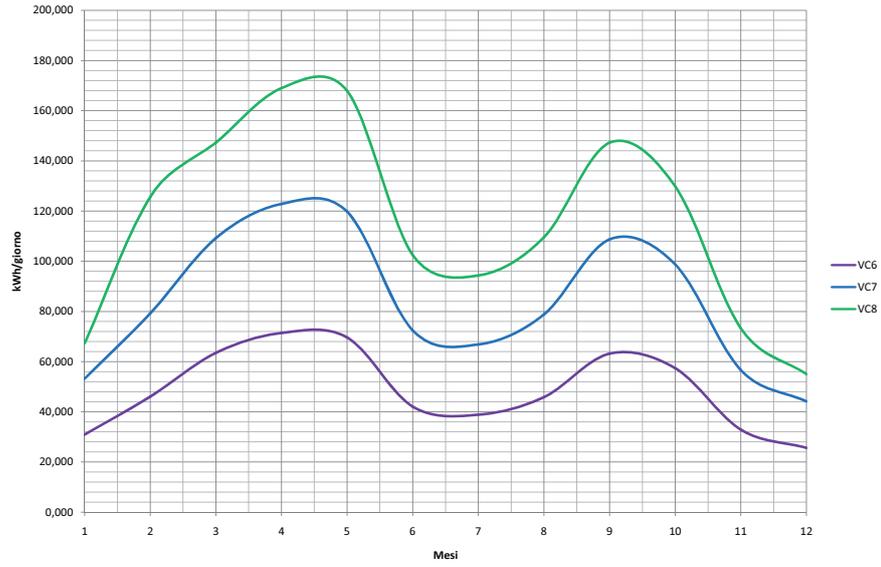


Grafico 06.35
Grafico dei guadagni solari per effetto buffer delle diverse ipotesi di vetratura.

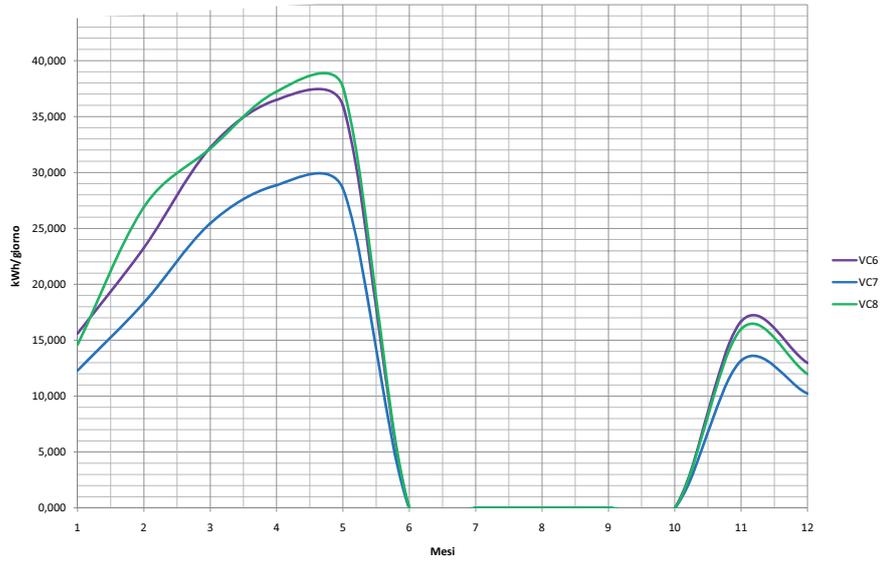
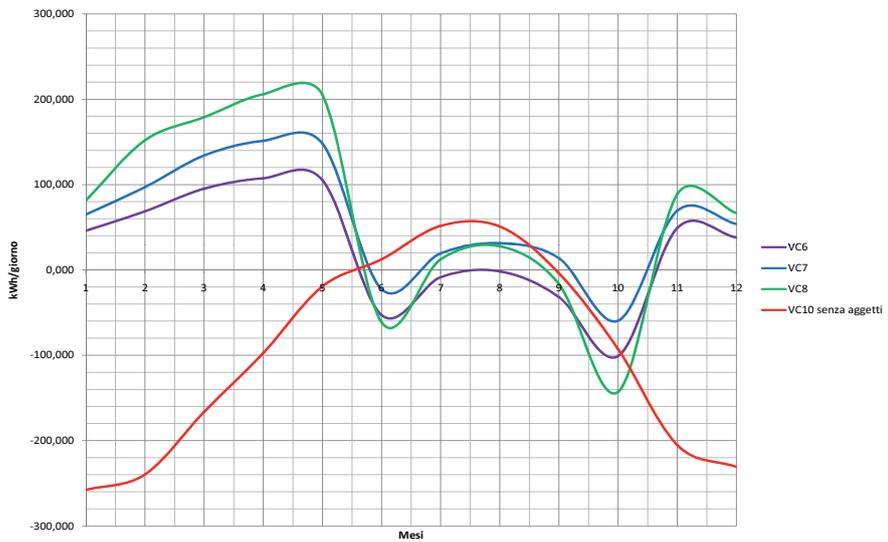


Grafico 06.36
Grafico dei guadagni solari totali al netto delle dispersioni.



Si osserva dal grafico dei guadagni al netto delle dispersioni, quale grossa influenza abbia in questo caso la riduzione delle dispersioni determinata dall'aggiunta di uno spazio intermedio non riscaldato.

Fattore molto importante, oltre a i valori di guadagno energetico, risulta anche la temperatura interna all'elemento serra, fondamentale per la vivibilità invernale dell'ambiente.

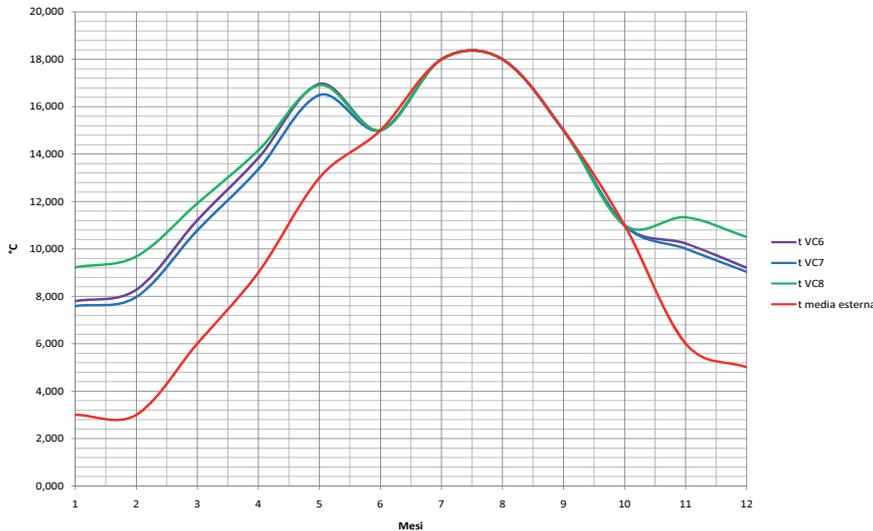


Grafico 06.37
Grafico delle temperature medie mensili interne allo spazio buffer nei diversi casi e confronto con la temperatura media mensile esterna.

Anche in questo caso osserviamo che il comportamento migliore, ovvero quello che massimizza le temperature invernali, è offerto dal caso di vetrocamera VC8, che, nei mesi più freddi, offre una temperatura di 8°C a fronte di una temperatura media mensile esterna di 3°C.

Si sono inoltre calcolate le dispersioni di questo ambiente secondo il metodo descritto dalle norme UNI7357 e UNI 10344:

$$Q [W] = s \times H_e / (H_e + H_i) \times (T_e - T_i)$$

I valori di guadagno energetico complessivi, per un singolo elemento di spazio tampone, dell'altezza di 3 piani, sono quindi i seguenti

Risultati

L'aggiunta di questo spazio intermedio avrà quindi un'influenza sui valori energetici di tutto l'edificio per uffici.

I valori complessivi sui sei piani del buffer sono:

GUADAGNO PER EFFETTO CUSCINETTO												
φsb [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	14,596	26,902	32,123	37,230	37,637	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	15,983	11,970
GUADAGNI DIRETTI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	67,286	125,562	147,251	168,991	167,871	102,472	94,328	109,562	147,270	129,887	73,260	54,982
GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	81,881	152,464	179,374	206,221	205,507	102,472	94,328	109,562	147,270	129,887	89,243	66,952
DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,591	-0,591	-0,492	-0,394	-0,263	-163,775	-81,887	-81,887	-163,775	-272,958	-0,492	-0,525
GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	81,291	151,873	178,882	205,827	205,245	-61,303	12,441	27,674	-16,505	-143,071	88,751	66,427

Tabella 06.60
Valori medi giornalieri dei diversi tipi di guadagni solari e delle dispersioni.
Un valore negativo significa che il flusso energetico è diretto verso l'esterno dell'involucro.

che aggiunti ai carichi interni, prodotti dall'attività e dai macchinari, ed alle dispersioni degli altri elementi dell'involucro forniscono

Tabella 06.61
Guadagni e dispersioni spazi buffer

Guadagni e dispersioni spazi buffer												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	5076,65	8537,97	11121,18	12373,24	12741,46	6148,30	5848,35	6792,82	8836,18	8052,99	5354,59	4151,02
dispersioni kWh/mese	-6352,17	-5737,44	-5293,47	-4098,17	-2823,19	-17196,82	-8985,02	-8985,02	-17196,82	-20616,74	-5122,72	-5646,37

Si nota che il contributo energetico apportato dagli affacci rivolti a sud risulta dunque molto elevato, perciò ogni intervento progettuale su questo fronte avrà ripercussioni importanti su tutto il sistema dell'edificio.

Tabella 06.62
Guadagni e dispersioni complessivi

Guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	48211,18	51672,50	54255,71	55507,77	55875,99	49282,83	44755,54	49927,35	51970,72	51187,53	48489,12	47285,58
dispersioni kWh/mese	-65507,27	-60016,99	-55050,61	-59681,96	-94966,05	-93341,16	-61031,58	-61031,58	-58701,82	-63710,60	-52294,33	-58536,16

Tabella 06.63
Percentuali rispetto a guadagni e dispersioni complessivi

Percentuali rispetto a guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	10,53	16,52	20,50	22,29	22,80	12,48	13,07	13,61	17,00	15,73	11,04	8,78
% dispersioni	9,70	9,56	9,62	6,87	2,97	18,42	14,56	14,56	29,30	46,49	9,80	9,55

Un sistema a facciata singola con vetro a protezione solare otterrebbe i seguenti valori complessivi di guadagni e dispersioni:

Osserviamo quindi che i miglioramenti apportati dall'inserimento di questo spazio vetrato a tripla altezza appaiono particolarmente rilevanti ed il risultato è ben visibile nel rapporto percentuale tra guadagni e dispersioni nei due casi:

Tabella 06.64
Guadagni e dispersioni totali

Guadagni e dispersioni totali												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	1685,06	2541,51	4407,65	5560,58	6656,73	6442,43	6145,07	6099,30	5468,95	4062,00	1943,24	1397,82
dispersioni kWh/mese	-70252,59	-63453,95	-58543,83	-45324,25	-31223,37	-28662,13	-11708,77	-11708,77	-28662,13	-39029,22	-56655,32	-62446,75

Tabella 06.65
Guadagni e dispersioni complessivi

Guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	44819,59	45676,04	47542,19	48695,11	49791,26	49576,96	45052,27	49233,83	48603,49	47196,53	45077,77	44532,36
dispersioni kWh/mese	-129407,69	-117733,50	-108300,96	-100908,04	-123366,24	-98806,47	-63855,32	-63855,32	-64167,13	-73123,08	-103826,93	-115336,54

I valori dei guadagni solari provenienti dai fronti a sud durante l'inverno risultano anche più raddoppiati (235% in febbraio) e ridotti, anche se in scarsa misura, durante l'estate.

Tabella 06.66
Percentuali del fronte del Sud in rapporto al caso senza spazio buffer

Percentuali del fronte Sud in rapporto al caso senza spazio buffer												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	201,27	235,94	152,32	122,52	91,41	-4,57	-4,83	11,37	61,57	98,25	175,55	196,96
% dispersioni	-99,79	-99,79	-99,79	-99,79	-99,79	-99,79	72,34	72,34	72,34	72,34	-99,79	-99,79

Le prestazioni dell'involucro migliorano soprattutto per quanto riguarda le dispersioni di calore, che vengono ridotte del 90% durante i mesi freddi ed aumentate del 60% per disperdere più calore durante l'estate.

Si avrà quindi una variazione percentuale sul complesso dei flussi energetici dell'intero edificio, che evidenzia un'importante riduzione delle dispersioni durante l'inverno, accompagnato da un aumento dei guadagni ed un loro aumento durante i mesi estivi.

Tabella 06.67
Percentuali totali in rapporto al caso senza spazio buffer

Percentuali totali in rapporto al caso senza spazio buffer												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	7,57	13,13	14,12	13,99	12,22	-0,59	-0,66	1,41	6,83	8,46	7,57	6,18
% dispersioni	-22,96	-22,68	-22,79	-16,99	-7,84	5,04	3,87	3,87	8,74	16,18	-23,16	-22,86

6.5.3 Doppia pelle

Lo scopo dell'applicazione di una facciata a doppia pelle ventilata, definibile come una tradizionale facciata singola raddoppiata da una seconda facciata essenzialmente vetrata interna o esterna, è quello appunto di ridurre le alte temperature di facciata in estate e ridurre le dispersioni di calore durante l'inverno rispetto ad una facciata a pelle singola, offrendo al contempo una protezione nei confronti del rumore esterno e dell'azione del vento sulle finestre.

La presenza infatti di un ulteriore strato esterno, consente di creare uno spazio intermedio in grado di fornire effetto di buffer termico, ventilazione della facciata indotta dal riscaldamento dell'aria per opera dell'irraggiamento solare, protezione al fuoco e resistenza acustica (grazie al meccanismo massa-molla-massa).

Esistono diverse tipologie di facciate a doppia pelle, distinte principalmente dalla suddivisione della cavità interposta e dal tipo di ventilazione, che può essere meccanica o naturale, interna o esterna.

-Box-Windows Façade

Si tratta di una facciata basata sul principio classico della box-window, ovvero una finestra con doppio serramento, esteso ad elementi dell'altezza di un piano. La finestra interna solitamente può essere aperta per creare ventilazione. La facciata esterna comprende aperture per il ricambio dell'aria esausta.

La suddivisione sia orizzontale che verticale tra elementi adiacenti assicura un ottimo isolamento acustico, non solo dai rumori esterni, ma anche dagli ambienti vicini. Odori poco piacevoli possono essere prevenuti facilmente grazie ad una corretta compartimentazione in fase di progetto.

Si ottiene quindi una suddivisione della facciata in elementi singoli, non in comunicazione tra loro e quindi dotati ciascuno di una bocchetta d'ingresso dell'aria ed una d'uscita.

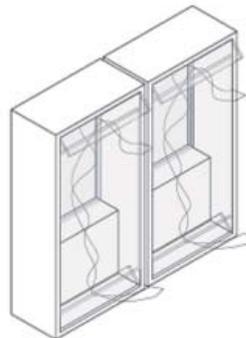
-Shaft-Box Façade

Si tratta di un derivato dello stesso principio costruttivo di una facciata Box-windows. Si alternano infatti elementi di Box-Windows con elementi a condotta (shaft, appunto) che percorrono più piani.

Grazie all'effetto di stratificazione dell'aria, l'aria calda fluisce dalla cavità della facciata, attraverso delle aperture poste lateralmente in sommità, verso l'elemento di camino, per



06.38
Schema di ventilazione
in una facciata a Box-
Windows.

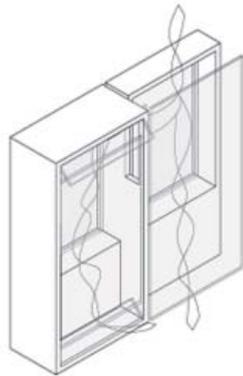


06.39
Schema di ventilazione
all'interno dell'elemen-
to Box-Window.



06.40
Schema di ventila-
zione in una facciata
Shaft-Box

06.41
Schema di ventilazione negli elementi Shaft-Box



poi essere scaricata all'esterno.
L'operazione di estrazione dell'aria esausta può essere effettuata anche per ventilazione meccanica, ma ciò richiede una potenza delle ventole molto elevata, cosa che rende il metodo poco economico.
Durante l'inverno la scarsa ventilazione naturale incrementa l'effetto buffer, portando però facilmente a fenomeni di condensazione sulla faccia interna della seconda pelle, in caso la finestra interna sia aperta.

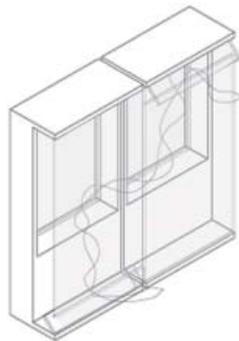
06.42
Schema di ventilazione in una facciata a corridoio.



-Corridor Façade
La facciata a corridoio gestisce la ventilazione piano per piano. In alcuni casi i divisori verticali sono inseriti come protezione dal fuoco e dalla propagazione del rumore agli ambienti vicini.

Le entrate dell'aria sono situate vicino al pavimento e al soffitto, disposte ad una certa distanza tra loro per evitare che l'aria esausta in uscita si mischi con quella fresca in entrata.

06.43
Schema di ventilazione in un corridoio di facciata.



Separando un piano dall'altro si previene l'effetto di surriscaldamento dell'aria nell'intercapedine che può verificarsi nei piani superiori nel caso l'aria possa fluire per più piani.

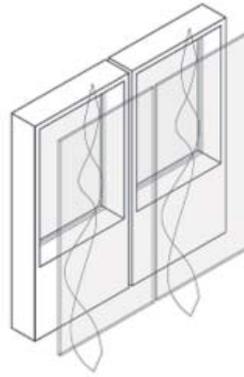
Nel sistema a corridoio si viene ad instaurare una ventilazione incrociata secondo la direzione orizzontale ed è possibile sfruttare anche piccole differenze di pressione per instaurare una ventilazione naturale, prestando però attenzione agli angoli dell'edificio, dove grosse differenze di pressione possono generare effetti turbolenti. Inoltre questo tipo di facciata può creare problemi acustici di trasmissione di rumore da un ambiente ad un altro attraverso la cavità.

06.44
Schema di ventilazione in una facciata multipiano.



-Multistorey Façade
Le facciate continue a doppia pelle non compartimentalizzano lo spazio tra i due strati della facciata, coinvolgendo quindi uno strato d'aria che avvolge l'intero edificio creando un buffer di fronte alla facciata.
In questo caso gli ambienti interni sono ventilati meccanicamente, mentre lo spazio tra le facciate viene utilizzato solo come uscita per l'aria esausta.

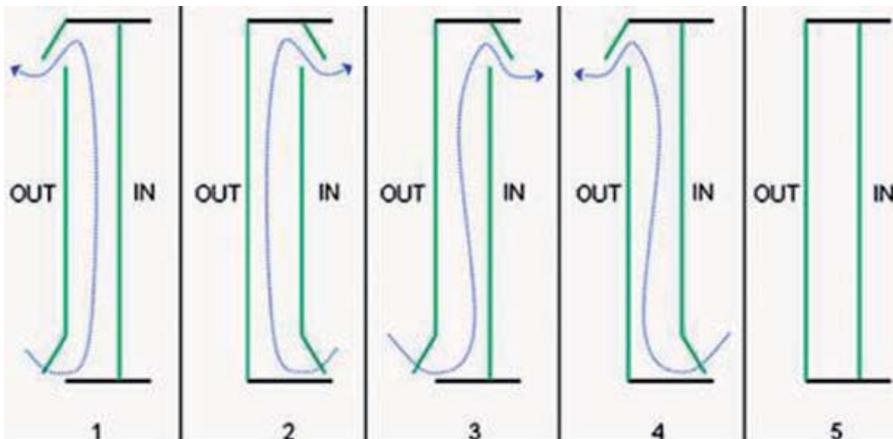
La facciata esterna è ventilata grazie all'inserimento di aperture all'altezza del suolo e della copertura. Le bocchette possono essere chiuse durante il periodo invernale per creare un effetto serra per incrementare la resistenza termica. Durante l'estate le bocchette possono essere aperte per prevenire il fenomeno di surriscaldamento. La presenza limitata di aperture assicura un ottimo isolamento acustico dal rumore proveniente dall'esterno ma il rischio di propagazione del rumore da un ambiente interno all'altro attraverso l'intercapedine è molto elevato.



06.45
Schema di ventilazione all'interno di una porzione di facciata ventilata.

La protezione al fuoco è un altro punto critico poiché, in caso di incendio, il fumo e le fiamme possono spargersi velocemente attraverso lo spazio intermedio. Negli edifici alti tradizionali, la seconda facciata è utilizzata per creare un buffer con una piccola intercapedine e come involucro distinto dall'edificio interno. Durante l'inverno, quando la ventilazione è ridotta, l'effetto tampone cresce, ma risulta elevato il rischio di condensazione sul lato interno della seconda pelle. Inoltre la qualità dell'aria si riduce in quanto aria esausta e fresca si mischiano nell'intercapedine.

Questi schemi costruttivi possono poi essere distinti sulla base del tipo di ventilazione della cavità, che può essere interna o esterna oppure incrociata.



06.46
Schemi di ventilazione dell'intercapedine.
(fonte www.bestfacade.com)

Sulla base della scelta del tipo di ventilazione bisogna quindi posizionare i diversi tipi di vetratura: nel caso di una ventilazione esterna, ad esempio, la pelle isolante sarà quella interna, mentre in caso di ventilazione interna sarà posizionata all'esterno.

La Luce

L'accesso alla luce naturale esterna risulta, nell'architettura odierna, uno dei requisiti più importante dato il suo impatto sugli utenti in quanto crea un

ambiente salubre e produttivo.

La progettazione di un edificio è quindi focalizzata sulla massimizzazione della disponibilità di luce naturale, cercando di fornire un buon livello di illuminamento in tutte le zone degli ambienti interni.

Il comportamento di una facciata doppia pelle, in termini di luce naturale, non è diverso da quello di una facciata singola, se non per una leggera riduzione della quantità di luce entrante, che però nel caso di giustapposizione di un vetro ad alta trasparenza risulta solo del 7-8%. Anche adottando dei vetri stratificati di sicurezza si ha una perdita di trasparenza che difficilmente oltrepassa il 10%.

Considerando la grande variabilità della luce durante il giorno, viene ammesso, per quanto riguarda il vetro costituente la seconda pelle, un valore minimo di T_{vis} , fattore di visibilità, pari a 0,9.

Essendo che con la distanza dall'elemento trasparente diminuisce la visibilità del cielo, si riduce anche la quantità di luce all'interno della stanza: questo effetto viene leggermente accentuato dalla presenza di una doppia pelle, in quanto l'ambiente viene allontanato in misura dello spessore della facciata, dall'esterno.

Per ovviare a questa diminuzione della luce con la profondità, si possono inserire, all'interno dell'intercapedine e quindi in posizione protetta, dei deflettori di luce, che hanno il compito di riflettere la luce entrante sul soffitto, aumentando quindi la quantità di luce diffusa anche nelle zone più lontane, fungendo anche da ombreggiamento per l'area adiacente alla finestra.

Isolamento acustico

Date le destinazioni d'uso dell'edificio, la situazione di comfort acustico diventa particolarmente rilevante, facendo sì che il primo parametro di osservazione per la scelta della tipologia di facciata sia appunto la capacità di creare delle isole di tranquillità negli ambienti interni, sia nei confronti del mondo esterno, sia nei confronti degli ambienti adiacenti.

La presenza di uno strato aggiuntivo all'esterno, consente un maggiore isolamento rispetto ai rumori esterni, consentendo un adeguato comfort acustico anche nel caso di finestre aperte.

Considerato che tutte le tipologie forniscono un'adeguata riduzione dei rumori provenienti dall'esterno, il problema della scelta si sposta all'ambito della trasmissione dei rumori interni attraverso lo spazio intermedio, in quanto la possibilità che il suono sia percepito come un disturbo, non dipende esclusivamente dal volume, ma anche dalla tipologia ed eventualmente dal contenuto: il rumore proveniente dalla strada o il ronzio di un impianto di ventilazione possono risultare meno fastidiosi rispetto al rumore determinato da una conversazione o da rumori tipicamente da lavoro dello stesso volume.

Nel caso in cui più ambienti siano collegati tra loro da uno spazio intermedio continuo, l'isolamento acustico tra i due può risultare radicalmente ridotto in quanto il suono può prendere una via alternativa: lo spazio tampone di una facciata può rischiare di trasformarsi in una condotta diretta per la trasmissione del suono. L'applicazione di uno strato di protezione dai suoni esterni può portare quindi ad un peggioramento delle condizioni acustiche all'interno dell'edificio stesso.

Isolamento Termico

L'argomento che maggiormente viene portato a favore delle facciate a doppia pelle è il maggiore isolamento che la seconda pelle offre sia in estate che in inverno: l'effetto tampone può significare infatti un considerevole risparmio energetico. Inoltre, la cavità interposta offre un alloggio ideale per i sistemi di schermatura solare, garantendo con la ventilazione l'asportazione del calore accumulato da questi elementi.

Che in inverno una doppia pelle implichi una maggiore resistenza termica è un fatto assodato, ma questo può comportare solo un leggero effetto sul consumo complessivo di energia per il riscaldamento, soprattutto se i serramenti interni sono ad alte prestazioni termiche, come prevedono le normative europee. Questo perché la pelle vetrata esterna non funziona perfettamente come un secondo strato isolante.

In estate il problema diventa poi più complesso, in quanto la facciata esterna risulta utile prevalentemente come semplice protezione per i sistemi di schermatura dal vento e dal maltempo: il livello di isolamento termico è infatti comparabile a quello di una facciata vetrata singola.

Considerando però che una facciata interna completamente vetrata è caratterizzata da carichi solari estremamente elevati, dovuti alla grande area trasparente, l'aggiunta di un ulteriore strato esterno ha l'effetto di ridurre l'energia solare che passa attraverso la facciata.

Un altro effetto a favore della giustapposizione di una seconda facciata esterna, le cui aperture sono molto limitate, è il miglioramento della qualità ermetica dei giunti di facciata dell'edificio, condizione particolarmente utile negli edifici alti.

Isolamento invernale

La presenza di un ulteriore pannello vetrato all'esterno della facciata ha per effetto un modesto aumento della resistenza termica (R) della facciata, riducendo però il fattore complessivo g della vetrata e quindi gli apporti solari all'interno dell'ambiente.

Complessivamente però, a fronte di una variazione del valore di termotrasmittanza U poco significativa, il miglioramento del sistema, riferendosi alla sua U_{eq} , ovvero la termotrasmittanza equivalente, grazie ai guadagni solari ed all'effetto serra che viene a crearsi nell'intercapedine, nel caso in cui le bocchette di ventilazione restino chiuse.

Nel caso di un'aggiunta di un singolo pannello vetrato all'esterno, si raggiunge un miglioramento dell' U_{eq} del 30% (fonte: Oesterle, «Double-Skin Façade, integrated planning»).

Gli autori Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler, per operare un confronto, hanno simulato la trasmissione termica su delle facciate a doppia pelle in differenti condizioni: << The simulations showed that the specification of a higher heat-transfer resistance R_{sa} is justified even for permanently ventilated saccade spaces. Calculations yield a value of $R_{sa}=0,10$ m²K/W for a façade outer skin with a permanently ventilated space to the rear, with a 10% opening area (5% air-intake; 5% air-extract) and a storey-for-storey division in the intermediate space. If the proportion of the opening area is increased to 25%, the improved thermal-insulation values will be lost.>> (Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler, "Double-Skin Facade", Prestel). Ovvero, la dimensione delle aperture risulta critica nel

miglioramento del fattore U_{eq} .

Una ricerca svolta a Losanna (André P.Faist, "La Façade Double-Peau") mostra come su diversi sistemi di vetraggio della facciata interna e diverse altezze di libera circolazione d'aria nell'intercapedine, in caso di intercapedine ventilata

si possano ottenere dei miglioramenti della resistenza termica di 0,10-0,13 m²K/W, mentre in caso di intercapedine chiusa (assumendo l'area di estrazione ridotta del 90%) si possono ottenere aumenti tra 0,09 m²K/W e 0,16 m²K/W. Inoltre, dagli standard normativi, si osserva che per un'intercapedine d'aria di profondità compresa tra 20

e 500mm si ha un miglioramento costante della resistenza termica di 0,17 m²K/W, considerando che la profondità di aria ferma influenza in maniera poco significativa lo scambio termico per convezione e irraggiamento.

Grafico 06.38
Differenti trasmittanze equivalenti per un sistema a pelle singola, doppia pelle a bocchette chiuse, doppia pelle a bocchette apribili

Fonte:
Double Skin Facade

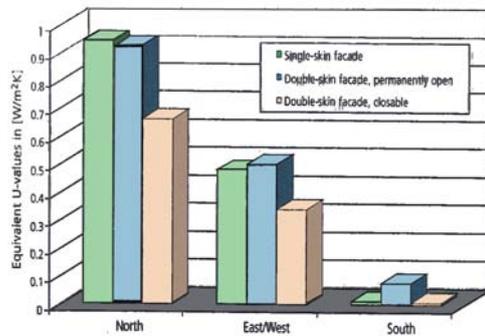
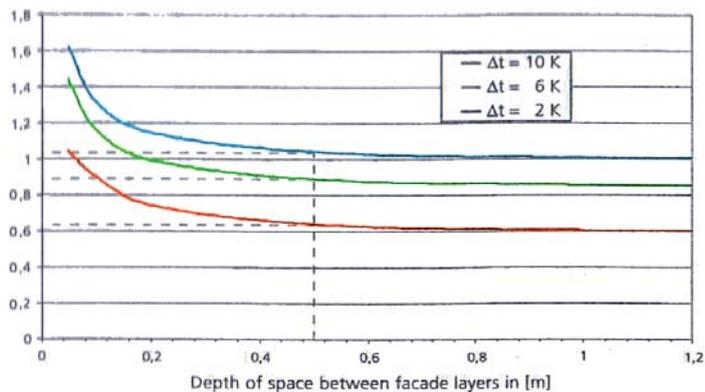


Grafico 06.39
Riduzione dell'effetto convettivo

Fonte:
Double Skin Facade



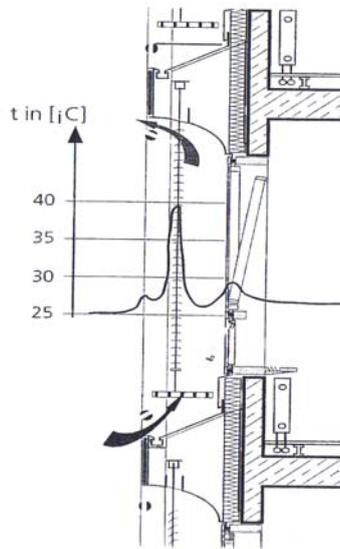
Nel periodo estivo le facciate completamente vetrate presentano la problematica degli eccessivi guadagni apportati dal sole, in particolare negli edifici adibiti ad uffici, dove i carichi interni dovuti all'attività lavorativa e alle apparecchiature elettriche sono estremamente alti.

Si presenta quindi la necessità di inserire dei sistemi di oscuramento in facciata per ridurre gli apporti solari.

L'aggiunta di un secondo strato vetrato all'esterno della facciata aiuta anche in questo caso, soprattutto per quanto riguarda gli edifici alti, dove le finestre sono più esposte alle intemperie e soprattutto alla forza del vento, crescente con l'altezza, consentendo di porre il sistema di oscuramento nell'intercapedine in uno spazio protetto.

I dispositivi frangisole però hanno un alto potere di assorbimento della radiazione solare, rilasciando quindi poi il calore verso la facciata interna, per irraggiamento e conduzione, e riscaldando l'aria a diretto contatto.

Si rivela quindi necessario, primariamente, allontanare gli elementi di ombreggiamento dalla facciata interna, ponendoli ad al massimo 1/3 della profondità dell'intercapedine e garantire una buona ventilazione per asportare l'aria surriscaldata. Inoltre in estate, le alte temperature esterne causano un aumento delle temperature interne dell'aria come degli elementi massivi quali muri, soffitti e arredamento. Può essere quindi estremamente utile, dopo l'orario lavorativo, durante la notte, attivare una ventilazione in grado di asportare l'eccesso di calore dagli ambienti interni, approfittando delle più basse temperature presenti all'esterno.



06.47
Calore accumulato dai dispositivi di oscuramento.

Nel caso di facciata singola una ventilazione naturale, indotta dall'apertura delle finestre, potrebbe non essere consentita per motivi di sicurezza o di maltempo, trattenendo quindi il calore negli ambienti.

La presenza della seconda facciata elimina questa problematica, consentendo l'apertura delle finestre durante la notte in tutta sicurezza.

In aggiunta a questi due fattori, la presenza dell'ulteriore pannello vetrato induce una riduzione del fattore g complessivo della facciata, riducendo quindi gli apporti solari durante l'estate.

Scelte progettuali

La progettazione di un sistema di facciata andrà quindi sviluppata a seguito di un'attenta analisi di tutte le proprietà che ne condizionano il funzionamento.

Per quanto riguarda la scelta della tipologia, il problema più rilevante risulta quello acustico.

Ad esempio, una facciata multipiano, seppur più efficace contro la trasmissione del suono proveniente dall'esterno, data la modesta presenza di aperture, risulta la più problematica per la trasmissione dei rumori interni, in quanto ne consente la trasmissione da piano a piano. Questa condizione risulta poco auspicabile, soprattutto nel caso in cui a piani differenti corrispondano diverse società o ambienti, situazione facilmente riscontrabile nel T.I.N.-Tin Building, poiché nella parte adibita ad albergo, la trasmissione del suono da una stanza ad un'altra tramite la facciata risulterebbe particolarmente fastidiosa, come anche negli uffici, in cui il rumore prodotto da colleghi potrebbe disturbare l'attività lavorativa riducendo drasticamente la produttività, senza contare la possibile trasmissione di informazioni private.

La stessa problematica si pone poi anche nella diffusione del suono in direzione orizzontale, in quanto all'interno dell'intercapedine il rumore di un colloquio può risultare percepibile e fastidioso fino a distanze di alcuni metri, condizione sicuramente dannosa nell'albergo e poco piacevole negli uffici, dove due ambienti diversi adiacenti rischierebbero di recarsi disturbo a vicenda.

Questo porta quindi all'esclusione anche della tipologia di facciata a corridoio per entrambe le funzioni.

La soluzione parsa ottimale è quindi quella di un sistema a Box-windows, in cui ogni ambiente risulta completamente separato, anche nell'intercapedine,

da quelli adiacenti, sia in orizzontale che in verticale, garantendo quindi un ottimo isolamento acustico.

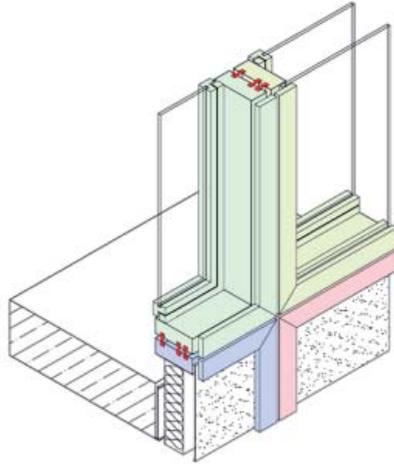
Inoltre, la struttura a Box-window, essendo ogni finestra completamente indipendente, è caratterizzata da una modularità che consente una maggior possibilità di prefabbricazione degli elementi, accelerando significativamente le operazioni di montaggio.

Si può infatti applicare il principio delle unit system façades, sistema che consiste in elementi prefabbricati

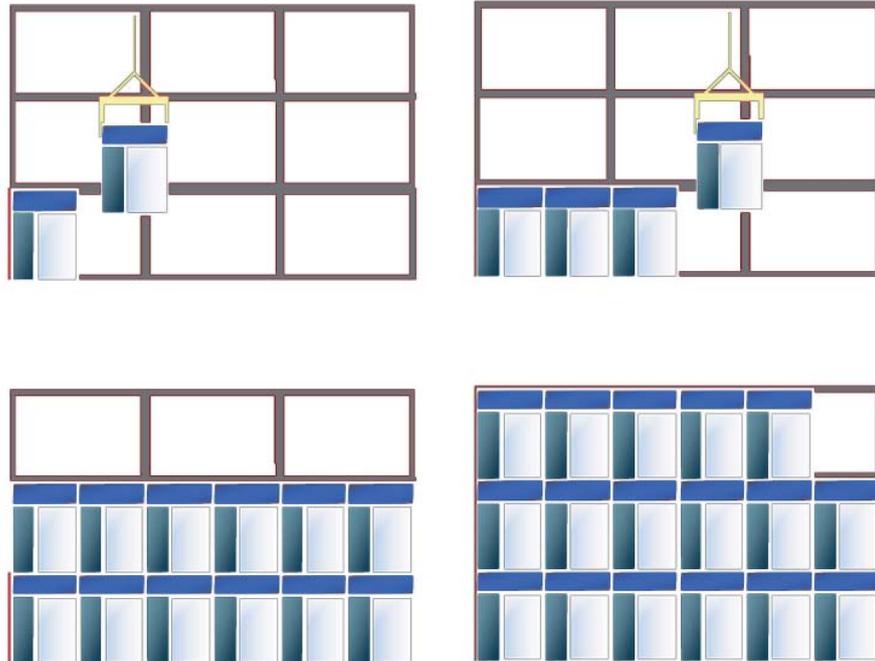
di facciata che possono essere semplicemente posizionati in situ. Si tratta di elementi generalmente di altezza di un piano, costituiti da una cornice portante, in cui vengono posizionati i vetri o i pannelli di rivestimento. Ogni elemento viene connesso alla struttura dell'edificio tramite elementi di supporto in acciaio, sospeso dalla sommità contrastando gli spostamenti laterali alla base inserendosi sull'elemento sottostante ed agli elementi adiacenti grazie a un giunto scorrevole munito di guarnizioni.

Il montaggio generalmente avviene in sequenza orizzontale, dal basso verso l'alto.

06.48
Spaccato assonometrico di un giunto tra quattro elementi (di diverso colore) di tipo unit system.
In evidenza in rosso le guarnizioni a tenuta all'aria ed all'acqua tra gli elementi.



06.49
Schema di montaggio di una facciata unitaria: i singoli elementi vengono montati per semplice giustapposizione. (fonte: Hansen)



Questo tipo di sistema risulta particolarmente adatto per gli edifici di elevata altezza ove non è possibile montare i ponteggi, in quanto le cellule escono già

finite dallo stabilimento e, pertanto, non richiedono necessariamente che il montaggio in loco venga eseguito da personale altamente specializzato.

Nel caso si rendano necessarie delle sostituzioni, inoltre, la facciata del tipo a cellule offre la possibilità di sostituire i volumi smontando il solo telaio



06.50
Montaggio di una facciata di tipo Hansen UnitAl.
(fonte: www.hansengroup.biz)

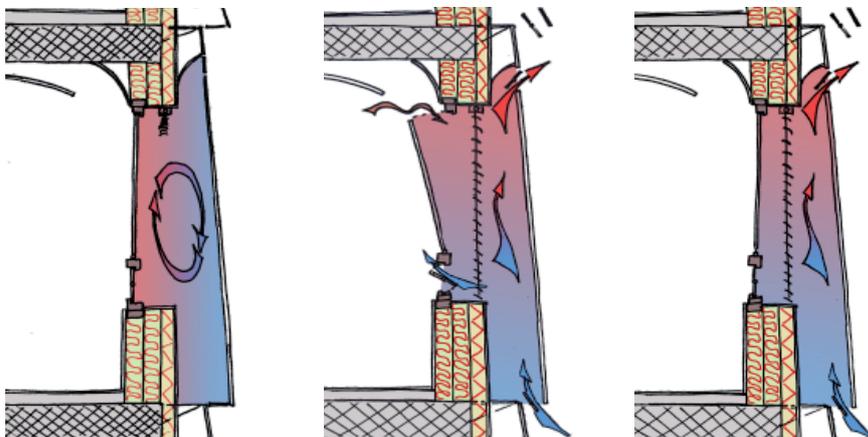
interessato, senza dover intervenire in quelli circostanti.

Alla scelta delle Box-windows modulari si è associata la scelta di un sistema con vetrocamera interna e vetro stratificato di protezione esterno: questa combinazione consente di ottenere buoni risultati di isolamento termico e acustico degli ambienti interni in ogni periodo dell'anno.

La scelta implica la necessità di una ventilazione esterna, per evitare fenomeni di condensa sulla faccia interna della seconda pelle, che può essere completamente chiusa d'inverno, creando un intercapedine dal comportamento assimilabile a quello delle serre, aumentando considerevolmente i guadagni provenienti dall'irradiazione solare e riducendo le dispersioni dell'edificio (aumentandone la resistenza termica).

Durante l'estate le bocchette di ventilazione saranno totalmente aperte attivando la ventilazione dell'intercapedine annullando l'effetto buffer dell'intercapedine e facilitando l'asportazione di calore dalla facciata interna, che essendo la più isolante, manterrà il calore estivo in eccesso all'esterno degli ambienti abitati.

Il comportamento nelle mezze stagioni sarà invece misto in base alle necessità termo-igrometriche, consentendo la ventilazione esterna, in caso di giornate particolarmente calde.



06.51
Schema di funzionamento di un elemento di doppia pelle nelle diverse stagioni: inverno, estate e mezze stagioni.

La cellula

Ogni cellula del sistema modulare progettato si basa su un elemento orizzontale di supporto contenente le bocchette di ventilazione d'ingresso della cella superiore e di uscita di quella inferiore, appeso direttamente alla soletta interpiano in CA tramite delle connessioni in acciaio.

Il sistema è stato disegnato come variante al sistema Schüco IFV, originariamente ideato per la ventilazione meccanica interna decentralizzata.

06.52
Elemento per la climatizzazione decentralizzata Schüco IFV.
(fonte : www.schueco.de)



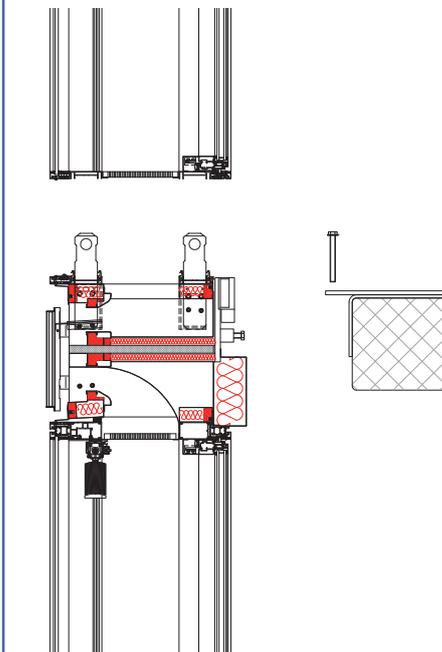
Particolari accorgimenti pratici si sono dovuti adottare per la sicurezza in caso di incendio: in primo luogo si è evitato che le bocchette di estrazione e di immissione non fossero in diretta comunicazione l'una con l'altra, per evitare la propagazione delle fiamme e del fumo da un'intercapedine a quella superiore.

Si sono inoltre inseriti dei pannelli divisorii orizzontali in fibrocemento come resistenza al fuoco ed un carter

in alluminio curvo per facilitare la fluidodinamica dell'aria in uscita, come elemento sacrificabile alle fiamme.

Esternamente, questo elemento risulta chiuso da un pannello di vetro stratificato.

06.53
Esplosione bidimensionale del sistema di facciata a cellule.

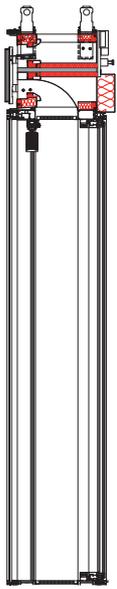


Al supporto vengono fissate le cornici delle finestre della pelle interna ed esterna, ad una distanza di circa 60cm sufficiente ad innescare la convezione naturale ed a consentire l'ispezione e la pulizia dell'intercapedine.

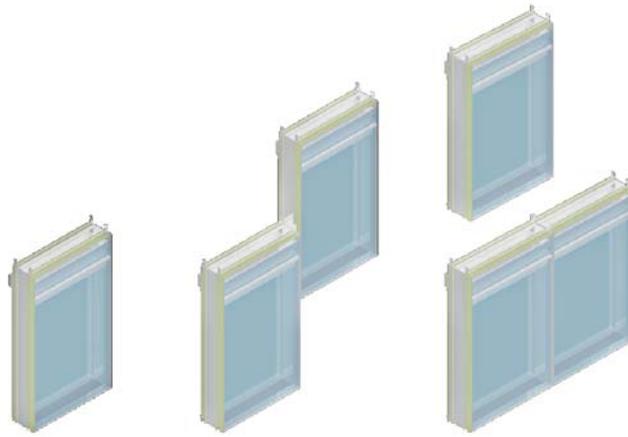
I serramenti risultano "appesi" al supporto tramite un classico profilo di facciata "curtain wall" per quanto riguarda il traverso superiore, mentre il resto della cornice, ovvero i montanti laterali e il traverso inferiore, è costituita da profili del sistema di facciata "Unitised System", sempre tipo Schüco, che consente ad ogni cellula di adagiarsi sulla sottostante e inserirsi lateralmente a fianco delle altre cellule, garantendo la tenuta all'aria ed all'acqua dei giunti grazie

alle guarnizioni già presenti all'interno dei profili stessi.

Si ottiene quindi un modulo di facciata finito, interamente prefabbricabile, che richiede come uniche operazioni di cantiere la posa dei supporti in acciaio sulla struttura e, dopo la posa della cellula, l'inserimento dell'isolante sfuso, in fiocchi di cellulosa, all'interno del giunto, per eliminare la possibilità di ponte termico.



06.54 (a sinistra)
Cellula di facciata
completa.



06.55 (a destra)
Assemblaggio delle
diverse cellule di facciata.

Scelta dei vetri

L'ultima scelta progettuale riguarda le caratteristiche dei vetri da applicare sulle diverse facciate, di fondamentale importanza per determinare l'apporto delle cellule all'efficienza dell'edificio, incidendo questi in maniera più o meno sostanziosa sui guadagni solari, la trasmittanza termica dell'involucro e la quantità di luce naturale trasmessa.

Si sono considerate quindi diverse combinazioni, scegliendo tra vetri basso emissivi, vetri a protezione solare e vetri ultrachiaro combinati in diverse posizioni.

Data la scelta di applicare una facciata a ventilazione esterna, si rivela necessario adottare un sistema con vetrocamera interna e vetro singolo stratificato all'esterno, per evitare una condensazione di vapore eccessiva sulla faccia interna del secondo vetro e per massimizzare l'effetto di spazio cuscinetto dell'intercapedine.

Inoltre, durante il periodo estivo, l'unico elemento di resistenza termica nei confronti del calore esterno risulta la facciata interna, che quindi dovrà essere dotata di una scarsa termotrasmissione complessiva.

Nella valutazione comparativa dei sistemi doppia pelle, sono state considerate combinazioni di vetrocamere sia con vetro esterno stratificato ultrachiaro, sia con vetro esterno a protezione solare.

Il secondo caso è solitamente trascurato nella comune pratica costruttiva in quanto determina una scarsa penetrazione di luce visibile, una condizione poco adatta in particolare all'attività lavorativa, ma si è deciso di prenderlo comunque in esame nel caso i guadagni solari del primo caso fossero troppo elevati durante il periodo estivo e quindi problematici per il consumo energetico in fase di raffrescamento.

Utilizzando i valori di queste vetrocamere si è passati all'analisi delle singole cellule di facciata ipotizzando le bocchette totalmente chiuse per tutto il periodo invernale e parte delle mezze stagioni, considerando di conseguenza lo spazio

tampone effettivamente come una serra solare.

Nel periodo estivo invece si è supposta la ventilazione attiva, eliminando quindi ogni apporto determinato dall'effetto buffer e considerando il vetro esterno come semplice elemento di ombreggiamento nei confronti della finestra interna.

Lo studio si limita quindi solo ad uno schema statico del meccanismo di una doppia pelle, trascurando tutti gli effetti fluidodinamici che si vengono a creare nell'intercapedine, in particolare in periodo estivo, per cui sarebbero necessarie simulazioni con softwares specifici e conoscenze di meccanica dei fluidi approfondite che esulano dalle competenze dei progettisti.

Applicazione del metodo 5000

Come si è già detto, il comportamento invernale delle cellule è assimilabile a quello di una piccola serra bioclimatica, perciò si è deciso di analizzare gli effetti che la doppia pelle può indurre nell'energetica dell'edificio secondo il metodo di calcolo relativo agli elementi di serra, seguendo quindi ancora il metodo 5000. Nell'applicazione del metodo di calcolo si è considerata nulla la ventilazione invernale sia all'interno dell'intercapedine (condizione di bocchette chiuse), per massimizzare i guadagni, sia tra spazio buffer e spazio riscaldato, in quanto il serramento risulta apribile esclusivamente per manutenzione, ottenendo quindi dei disperdimenti e dei guadagni per ventilazione ed infiltrazione nulli.

Durante il periodo estivo si è considerata la situazione di intercapedine ventilata, con le bocchette completamente aperte, annullando quindi l'effetto serra e i relativi guadagni in termini di calore.

Il vetro esterno viene interpretato quindi come semplice elemento di oscuramento, utilizzando il suo coefficiente solare g come fattore d'ombreggiamento sf sulla facciata interna, mantenendo ancora nulla la ventilazione tra ambiente interno e intercapedine.

Non compare, inoltre, il guadagno derivato dall'apporto tramite muri massicci, in quanto la tipologia di facciata non presenta elementi di questo tipo.

Essendo il blocco uffici il sistema più delicato dal punto di vista del comfort termico interno, si è analizzato primariamente l'effetto su questa funzione. I risultati riguardanti le facciate dell'hotel saranno esposti in seguito.

Come primo passo si è affrontato il calcolo dei guadagni nel caso di diverse combinazioni di pannelli vetrati per una facciata singola, scegliendone la tipologia ottimale da usare come termine di confronto per la valutazione della convenienza nell'applicazione di una doppia pelle.

Si ottengono i seguenti grafici dei guadagni per una singola cella con diversi orientamenti:

Osservando il fronte più critico, ovvero l'affaccio ad Ovest e quello a Sud-Ovest, i guadagni solari estivi, determinate dal sole basso nelle tarde ore pomeridiane difficilmente riducibile tramite oscuramenti, possono risultare eccessivi, soprattutto se rapportati ad una condizione di carichi interni elevati come quelli determinati da una destinazione d'uso ad uffici.

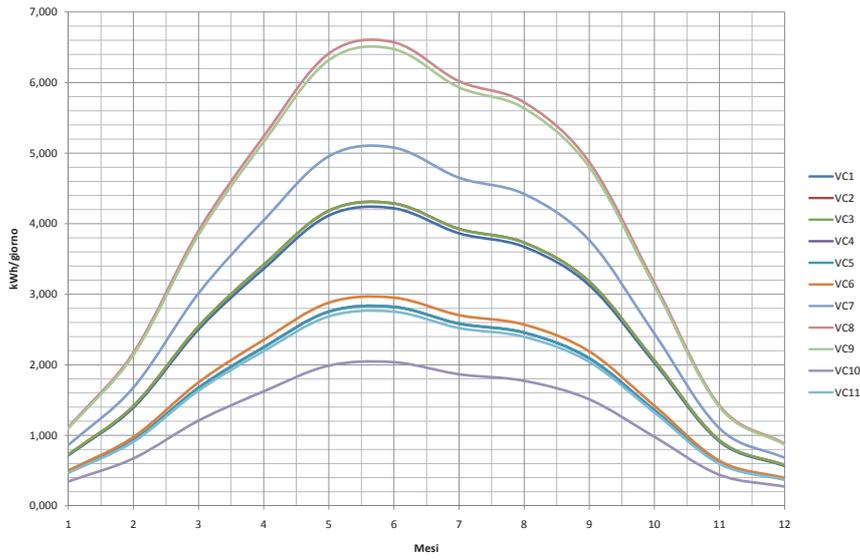


Grafico 06.40
Guadagni solari totali
di una cellula a vetro-
camera esposta ad
Ovest.

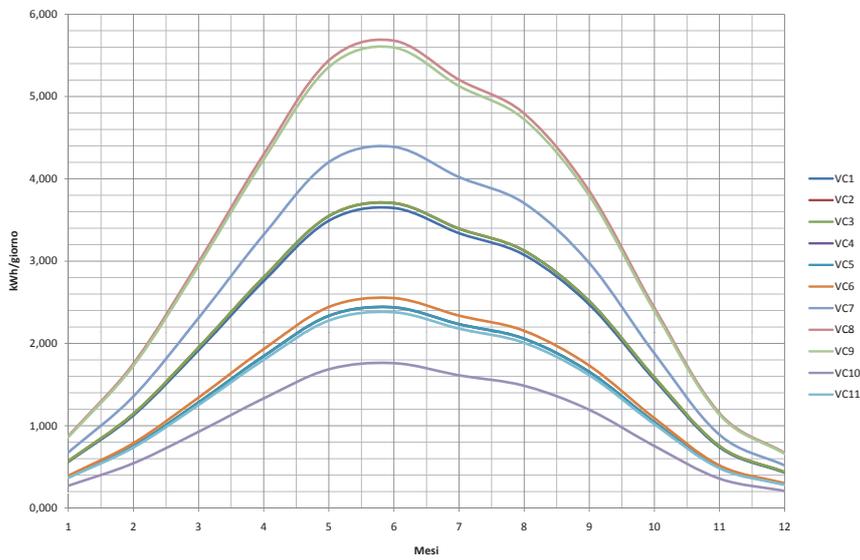


Grafico 06.341
Guadagni solari totali
di una cellula a vetro-
camera esposta a
Nord-Ovest.

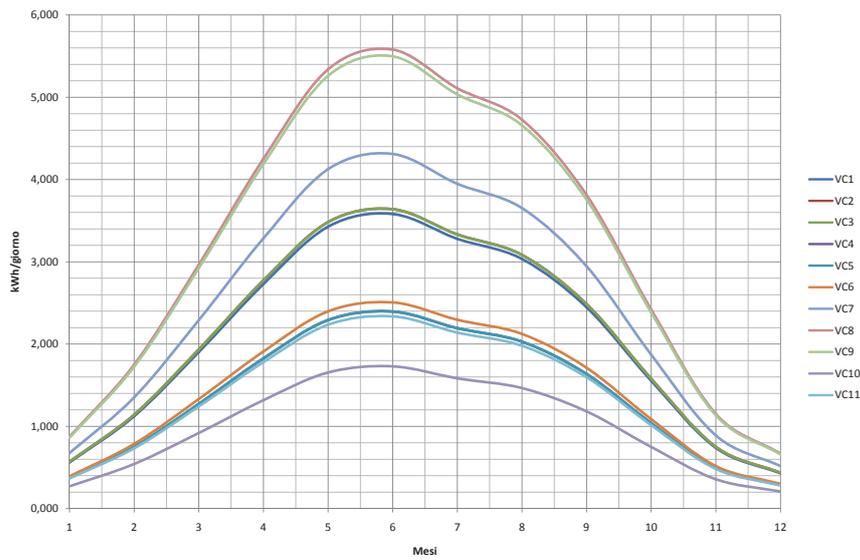


Grafico 06.42
Guadagni solari totali
di una cellula a vetro-
camera esposta a
Nord-Est.

Grafico 06.43
Guadagni solari totali
di una cellula a vetro-
camera esposta a Sud-
Est.

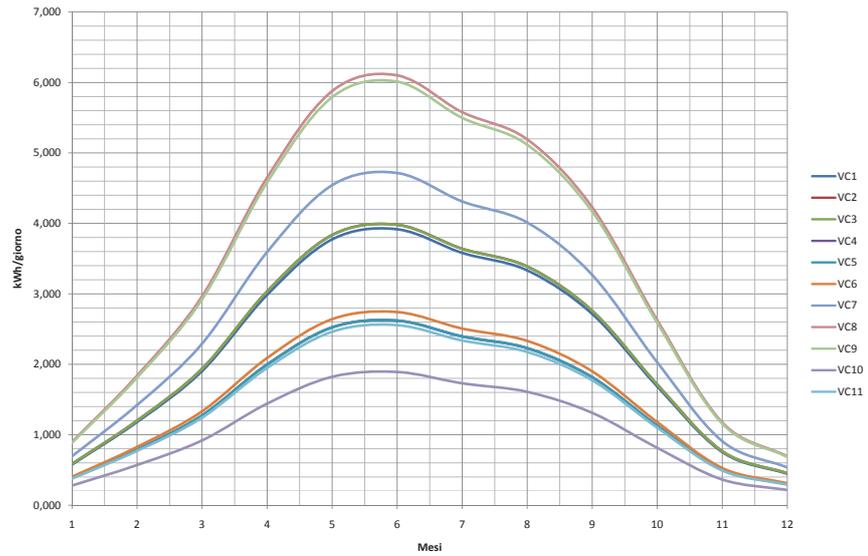
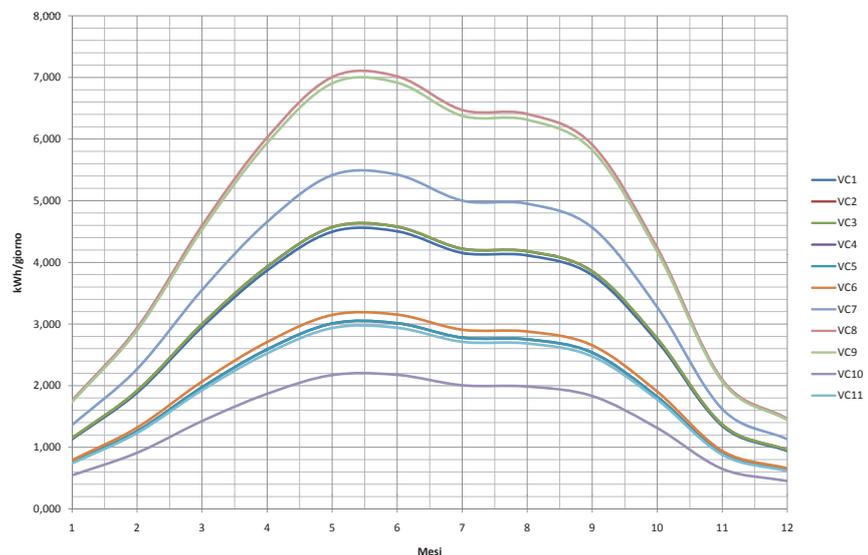


Grafico 06.44
Guadagni solari totali
di una cellula a vetro-
camera esposta a Sud-
Ovest



Il fronte Sud-Est dovrà invece essere protetto dal forte sole del tardo mattino. Lo scopo dell'analisi su questi versanti sarà quindi quella di determinare la combinazione di vetri che consenta di ridurre i guadagni solari eccessivi, per mantenere il comfort estivo, ma che al contempo non riduca eccessivamente l'apporto di luce, necessaria per lo svolgimento delle attività lavorative, e che conservi delle buone prestazioni termiche anche durante il periodo invernale. Si osserva che la soluzione ideale in questo caso è quella fornita dalla VC10, ovvero una vetrocamera con vetro basso emissivo sp. 6mm interno accoppiato a un vetro a protezione solare sp. 4mm esterno, che fornisce un adeguato isolamento invernale ($U=1,2W/m^2K$), fornendo al contempo un'ottima protezione solare estiva. Perifronti Nord-Oveste Nord-Est invece, essendo il problema del surriscaldamento estivo molto limitato, si è optato per la scelta della combinazione VC7, che accoppia vetro basso emissivo interno ad uno ultrachiaro sp. 3mm all'esterno, che consente una maggiore trasmissione della luce visibile. Si ottengono quindi i valori dei guadagni e delle dispersioni per ogni singola

cellula:

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,346	0,673	0,663	1,624	1,966	2,037	1,866	1,773	1,511	0,979	0,440	0,273

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,609	-3,609	-3,007	-2,406	-1,604	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-3,007	-3,208

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,263	-2,935	-2,345	-0,782	0,384	0,834	1,264	1,171	0,308	-1,026	-2,567	-2,935

Tabella 06.68
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta ad Ovest.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,676	1,357	2,310	3,322	4,202	4,388	4,021	3,703	2,977	1,879	0,889	0,517

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,609	-3,609	-3,007	-2,406	-1,604	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-3,007	-3,208

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-2,932	-2,252	-0,697	0,916	2,598	3,185	3,419	3,102	1,774	-0,126	-2,118	-2,690

Tabella 06.69
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Ovest.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,676	1,352	2,292	3,286	4,125	4,311	3,948	3,653	2,945	1,870	0,889	0,517

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,609	-3,609	-3,007	-2,406	-1,604	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-3,007	-3,208

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-2,932	-2,256	-0,715	0,880	2,521	3,108	3,347	3,052	1,742	-0,135	-2,118	-2,690

Tabella 06.70
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Nord-Est.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,694	1,420	2,292	3,594	4,543	4,715	4,311	4,012	3,267	2,029	0,908	0,535

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,609	-3,609	-3,007	-2,406	-1,604	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-3,007	-3,208

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-2,914	-2,188	-0,715	1,188	2,939	3,512	3,710	3,410	2,065	0,024	-2,099	-2,672

Tabella 06.71
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Sud-Est.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,546	0,910	1,425	1,867	2,171	2,175	2,006	1,986	1,831	1,312	0,650	0,453

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,609	-3,609	-3,007	-2,406	-1,604	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-3,007	-3,208

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-3,062	-2,698	-1,582	-0,538	0,568	0,972	1,404	1,384	0,628	-0,692	-2,357	-2,754

Tabella 06.72
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula a vetrocamera esposta a Sud-Ovest

Calcolando quindi la presenza di 6 cellule sul fronte Nord-Ovest, 6 sul fronte Nord-Est, 6 sul fronte Ovest e 7 e 5 rispettivamente sui fronti Sud-Ovest e Sud-Est, si calcolano i valori totali dei guadagni e delle dispersioni delle superfici vetrate sull'intero blocco degli uffici, osservando l'incidenza che questi hanno sul bilancio energetico complessivo.

Tabella 06.73
Valori di guadagni totali di tutte le cellule di facciata sui vari fronti e percentuale di influenza sui valori totali dei sei piani adibiti a uffici.

Guadagni e dispersioni totali												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	3029,47	6118,65	10093,99	14584,77	18889,93	18948,53	17929,07	16732,66	13296,54	8676,12	3831,54	2344,83
dispersioni kWh/mese	-4027,11	-3637,30	-3355,83	-2598,14	-1789,83	-1299,07	-671,19	-671,19	-1299,07	-2237,28	-3247,67	-3579,86
Guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	46164,00	49253,18	53228,52	57719,31	62024,46	62083,07	56836,26	59867,18	56433,07	51810,65	46966,07	45479,36
dispersioni kWh/mese	-63182,21	-57916,94	-53113,06	-58181,92	-93932,70	-77443,41	-52817,74	-52817,74	-42804,07	-36331,15	-50419,29	-56469,45
Percentuali rispetto a guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	6,56	12,42	18,96	25,27	30,46	30,52	31,55	27,95	23,57	16,75	8,16	5,16
% dispersioni	6,37	6,28	6,32	4,47	1,91	1,68	1,27	1,27	3,03	6,16	6,44	6,34

Lo stesso procedimento è stato svolto in seguito con l'adozione della seconda pelle esterna.

Grafico 06.45
Guadagni solari diretti di una cellula con esposizione Ovest.

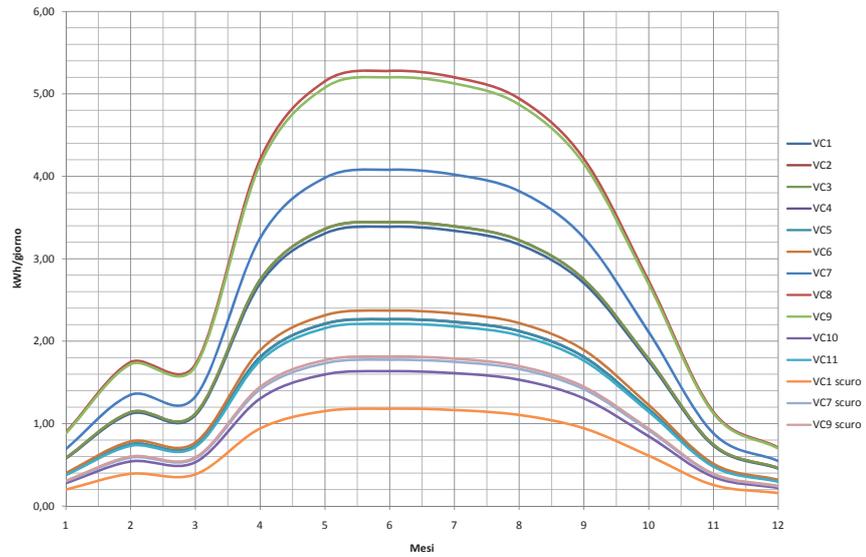
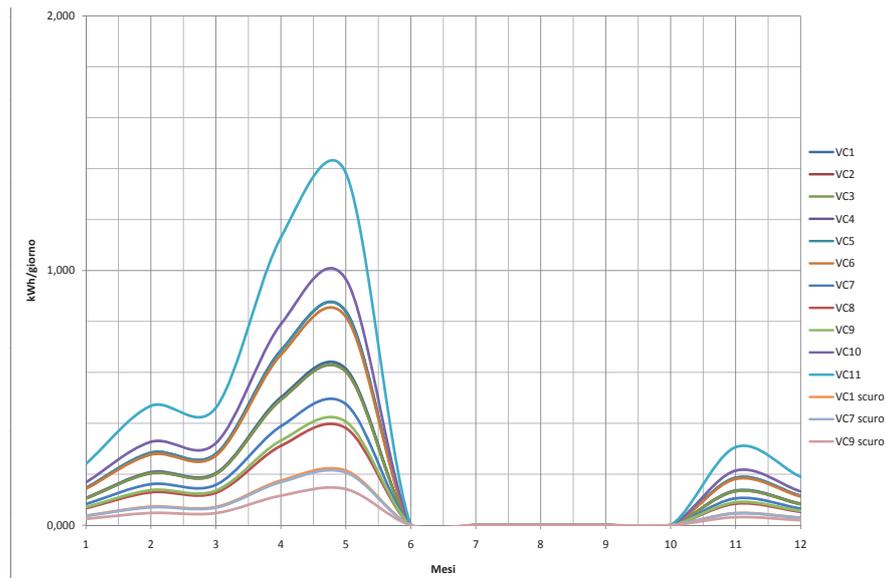


Grafico 06.46
Guadagni solari per effetto buffer di una cellula con esposizione Ovest.



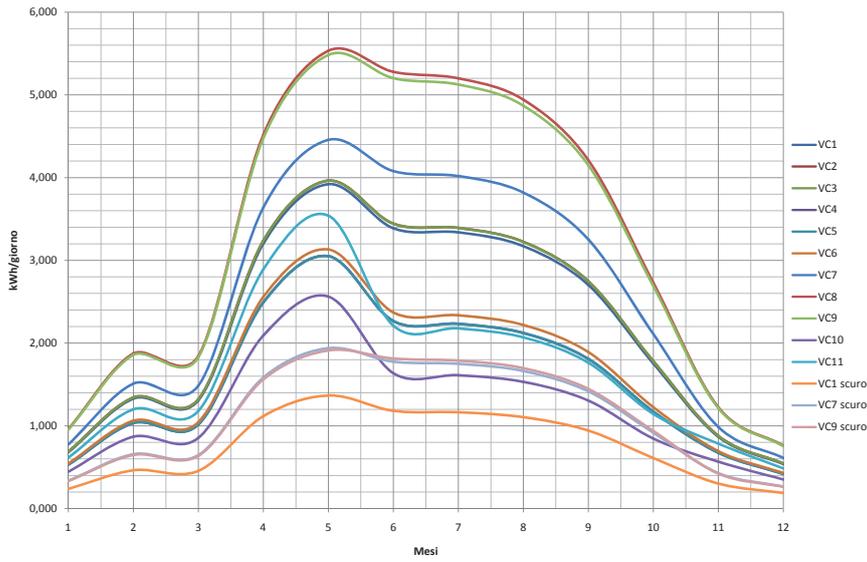


Grafico 06.47
Guadagni solari totali
di una cellula con
esposizione Ovest.

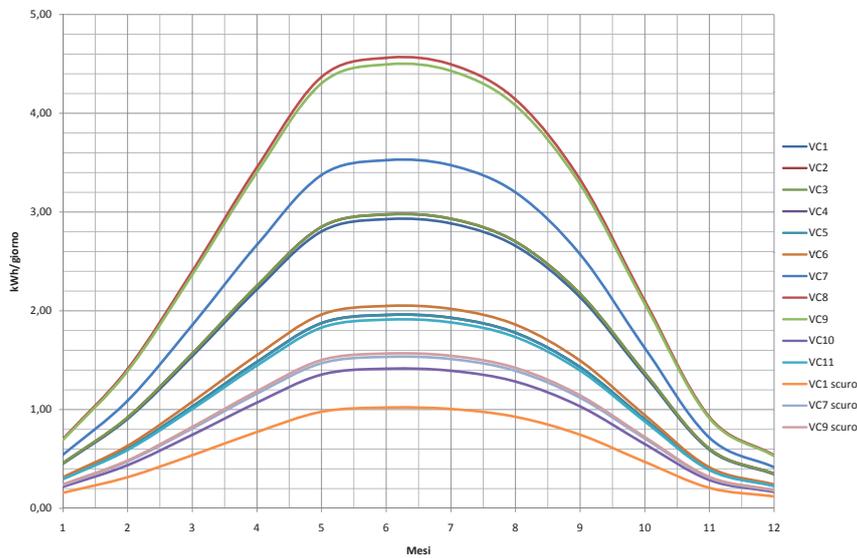


Grafico 06.48
Guadagni solari diretti
di una cellula con es-
posizione Nord-Ovest.

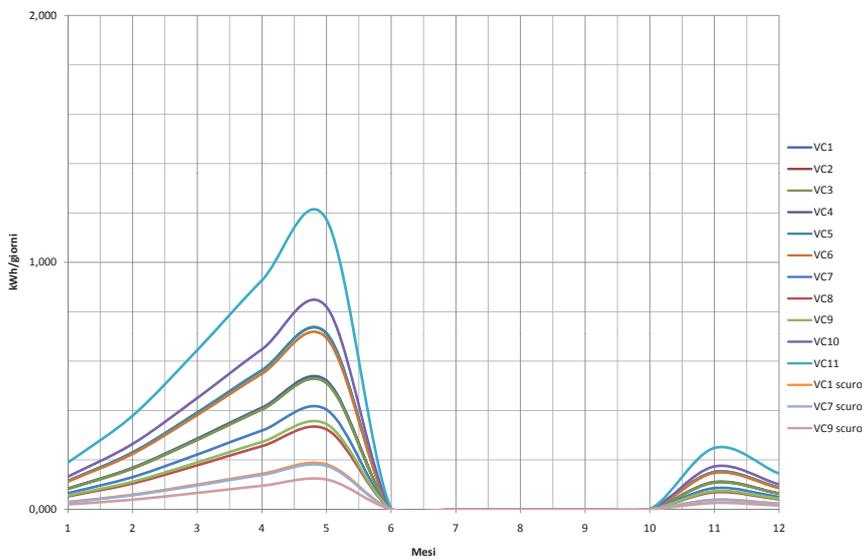


Grafico 06.49
Guadagni solari per ef-
fetto buffer di una cel-
lula con esposizione
Nord-Ovest.

Grafico 06.50
Guadagni solari totali
di una cellula con es-
posizione Nord-Ovest.

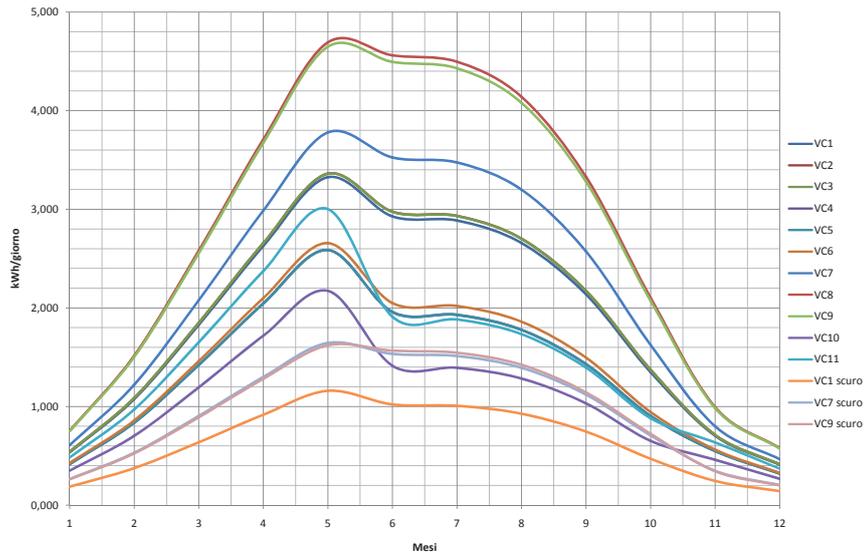


Grafico 06.51
Guadagni solari diretti
di una cellula con es-
posizione Nord-Est

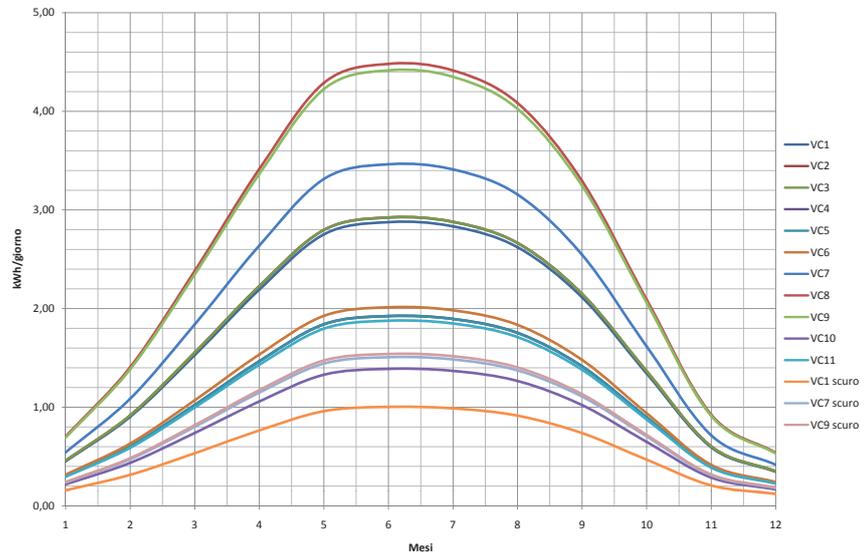
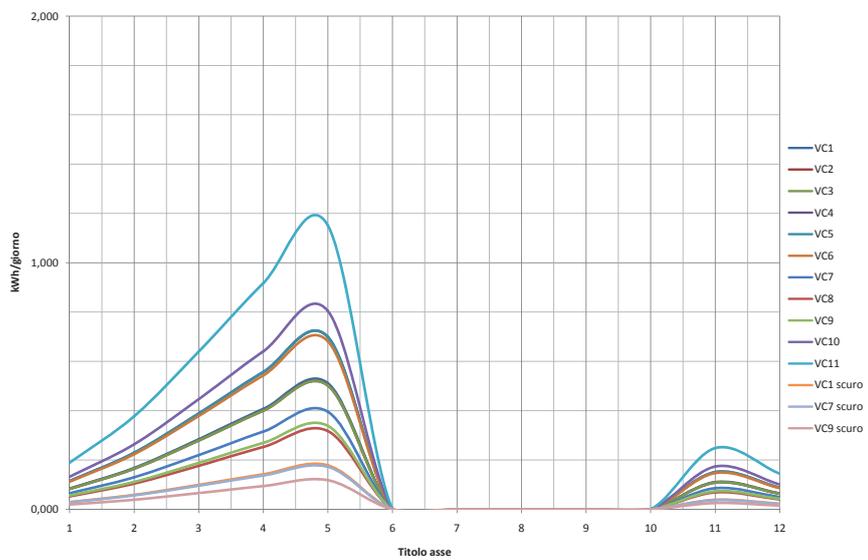


Grafico 06.52
Guadagni solari per ef-
fetto buffer di una cel-
lula con esposizione
Nord-Est



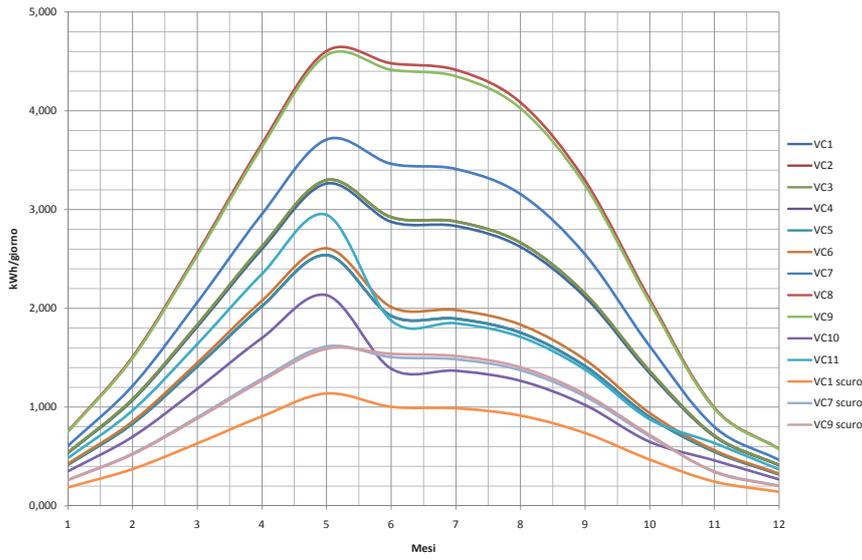


Grafico 06.53
Guadagni solari totali
di una cellula con es-
posizione Nord-Est

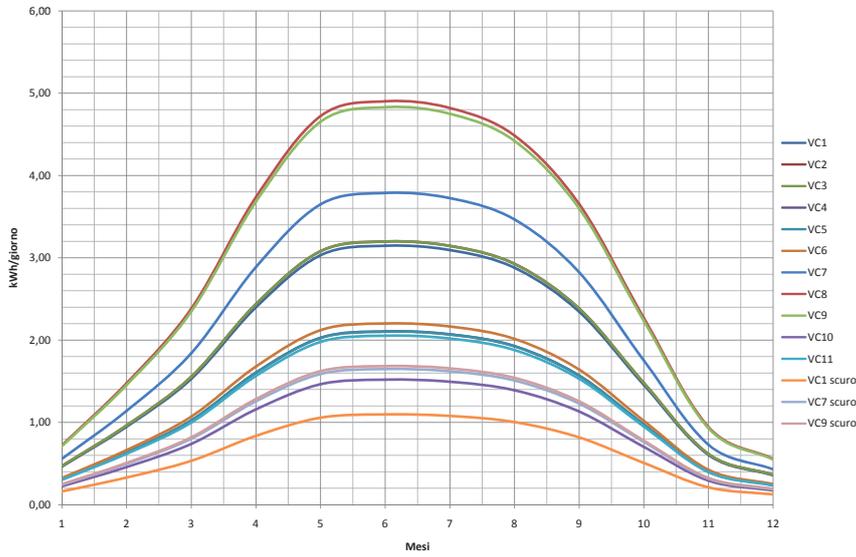


Grafico 06.54
Guadagni solari diretti
di una cellula con es-
posizione Sud-Est.

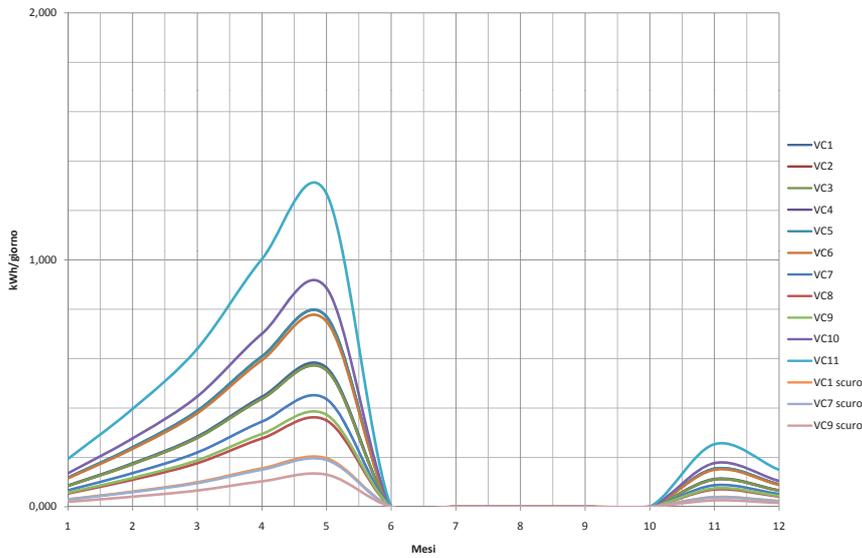


Grafico 06.55
Guadagni solari per ef-
fetto buffer di una cel-
lula con esposizione
Sud-Est.

Grafico 06.56
Guadagni solari totali
di una cellula con es-
posizione Sud-Est.

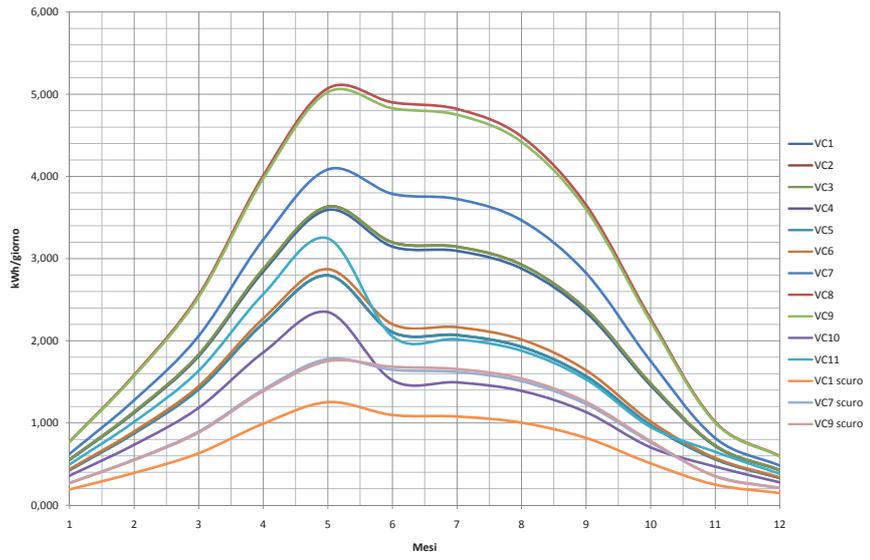


Grafico 06.57
Guadagni solari diretti
di una cellula con es-
posizione Sud-Ovest.

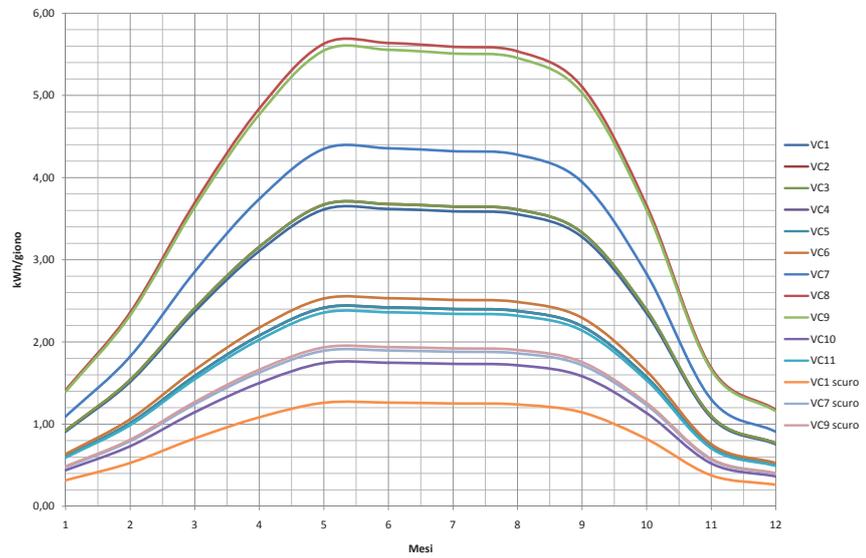
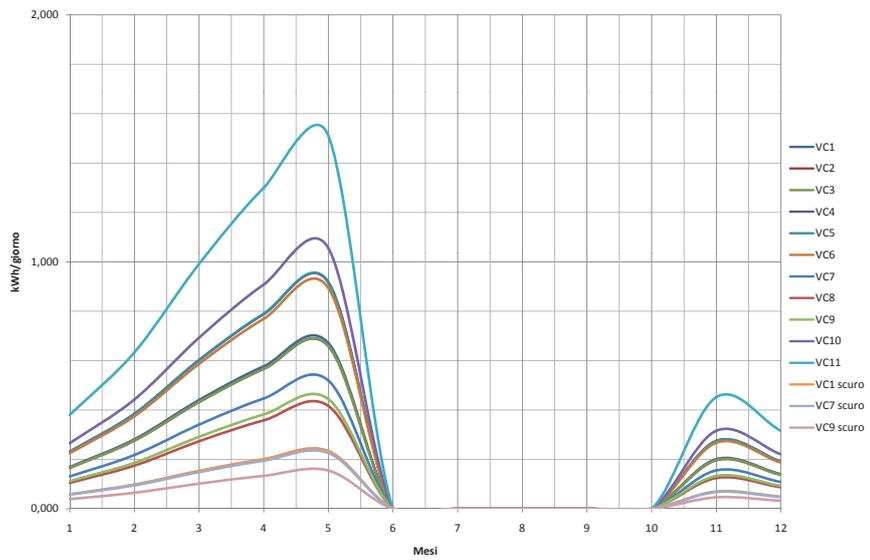


Grafico 06.58
Guadagni solari per ef-
fetto buffer di una cel-
lula con esposizione
Sud-Ovest.



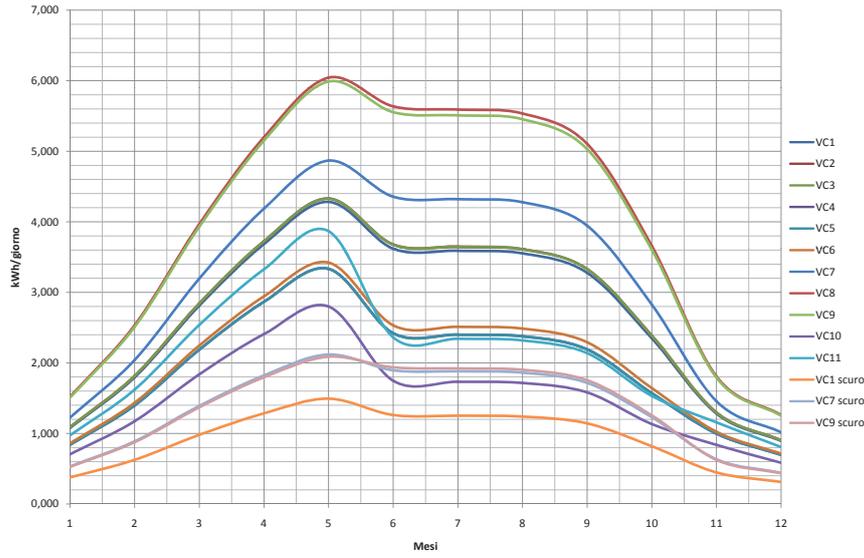


Grafico 06.59
Guadagni solari totali
di una cellula con es-
posizione Sud-Ovest

I guadagni al netto delle dispersioni sono rappresentati, per i diversi fronti, dai seguenti grafici:

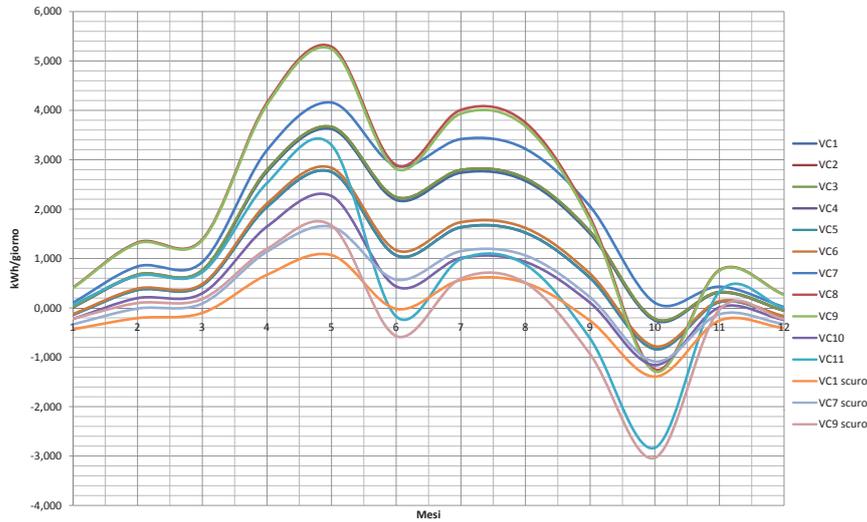


Grafico 06.60
Guadagni solari al
netto delle dispersioni
di una cellula orientata
ad Ovest.

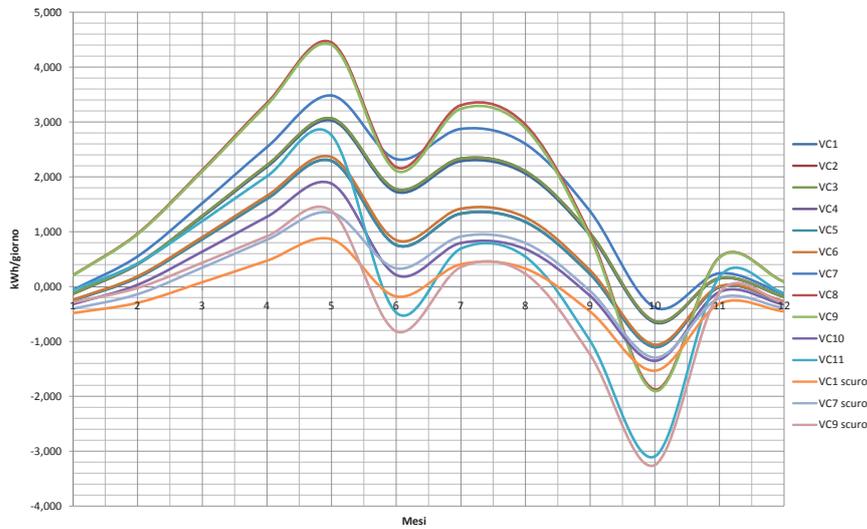


Grafico 06.61
Guadagni solari al
netto delle dispersioni
di una cellula orientata
a Nord-Ovest.

Grafico 06.62
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Nord-Est.

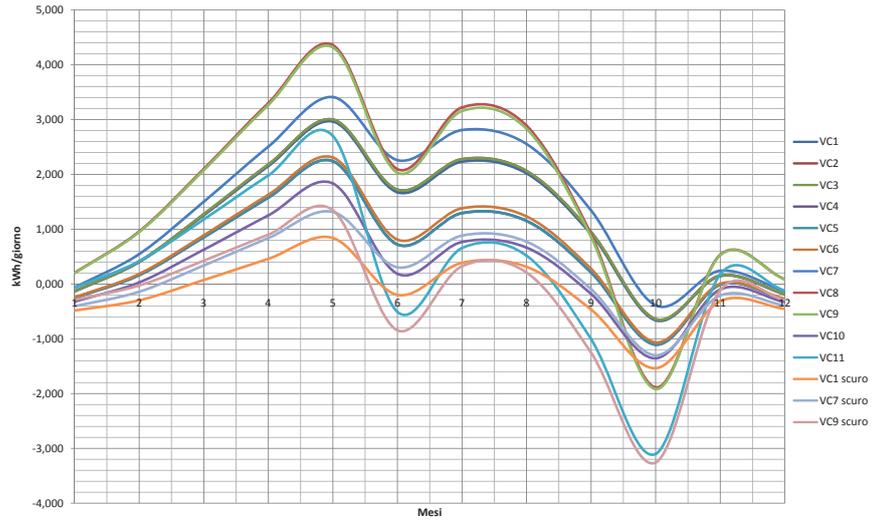


Grafico 06.63
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Sud-Est.

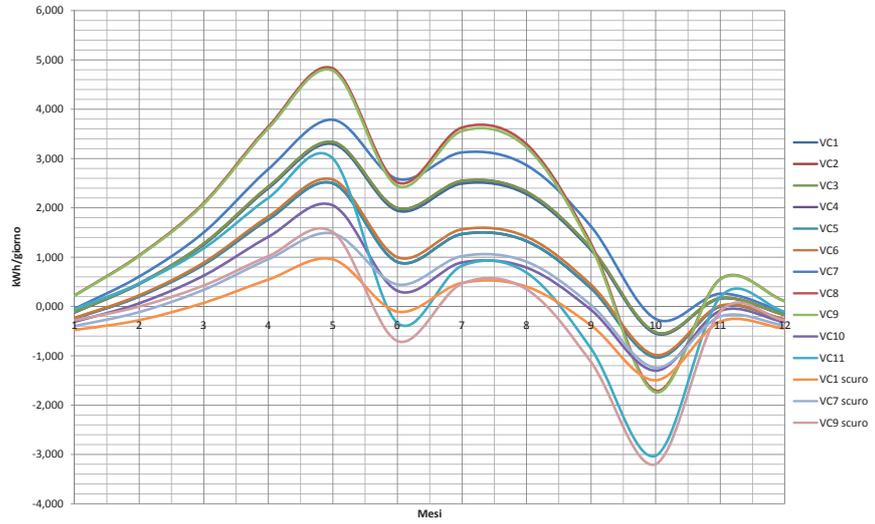
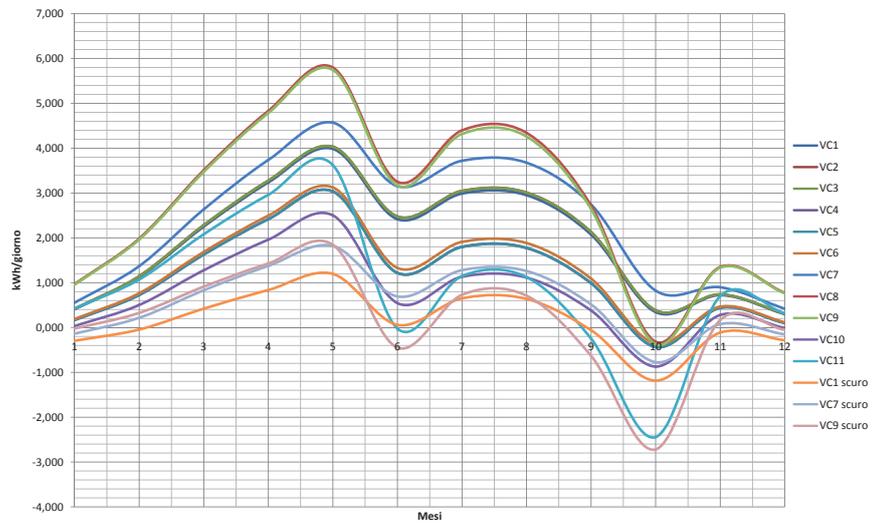


Grafico 06.64
Guadagni solari al netto delle dispersioni di una cellula orientata a Sud-Ovest.



Osservando l'andamento delle curve annuali, si riscontra che il comportamento più indicato, nel caso delle facciate rivolte ad Ovest, Sud-Ovest e Sud-Est, viene fornito dalla combinazione VC10 accoppiata ad un vetro stratificato ultrachiaro antiriflesso, ovvero quella che massimizza i guadagni per effetto buffer e mantenendo comportamento intermedio nell'ambito dei guadagni totali durante l'inverno, riducendo però sostanzialmente i guadagni solari diretti durante il periodo estivo, mantenendoli al di sotto della soglia dei 3kWh/giorno (potenzialmente ancora riducibili grazie all'eventuale inserimento di dispositivi d'oscuramento in intercapedine, quali veneziane e frangisole verticali).

Si ottengono i seguenti guadagni mensili per ogni cellula:

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,446	0,868	0,854	2,093	2,563	1,636	1,612	1,532	1,305	0,846	0,568	0,352

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,671	-0,671	-0,559	-0,447	-0,298	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-0,559	-0,596

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,225	0,198	0,295	1,646	2,265	0,433	1,010	0,930	0,102	-1,159	0,009	-0,244

Tabella 06.73
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta ad Ovest.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,359	0,735	1,185	1,859	2,349	1,519	1,494	1,390	1,132	0,703	0,469	0,277

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,671	-0,671	-0,559	-0,447	-0,298	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-0,559	-0,596

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,312	0,064	0,626	1,411	2,051	0,316	0,893	0,789	-0,071	-1,302	-0,090	-0,319

Tabella 06.74
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Sud-Est.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,704	1,173	1,837	2,408	2,800	1,747	1,733	1,716	1,582	1,134	0,838	0,584

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,671	-0,671	-0,559	-0,447	-0,298	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-0,559	-0,596

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,033	0,503	1,279	1,961	2,502	0,544	1,132	1,114	0,379	-0,871	0,279	-0,012

Tabella 06.75
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Sud-Ovest

Per quanto riguarda invece i fronti Nord-Ovest e Nord-Est, il problema maggiore che si riscontra è sempre determinato dalla quantità di luce naturale penetrante nell'edificio, mentre la questione dei guadagni solari risulta trascurabile, perciò la scelta ricade ancora, come nel caso di pelle singola, sulla vetrocamera VC7, accoppiata sempre ad un vetro esterno stratificato ultrachiaro, che fornisce i seguenti valori:

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,608	1,220	2,077	2,987	3,779	3,525	3,474	3,199	2,572	1,623	0,800	0,465

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,671	-0,671	-0,559	-0,447	-0,298	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-0,559	-0,596

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,063	0,549	1,518	2,540	3,481	2,322	2,872	2,598	1,369	-0,381	0,241	-0,131

Tabella 06.76
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Nord-Ovest.

GUADAGNI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	0,608	1,216	2,061	2,954	3,709	3,463	3,411	3,156	2,545	1,615	0,800	0,465

DISPERSIONI TOTALI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,671	-0,671	-0,559	-0,447	-0,298	-1,203	-0,601	-0,601	-1,203	-2,005	-0,559	-0,596

GUADAGNI NETTI												
TOT [kWh/giorno]	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
	-0,063	0,545	1,502	2,507	3,411	2,260	2,810	2,555	1,342	-0,389	0,241	-0,131

Tabella 06.77
Valori di guadagni e dispersioni per una cellula esposta a Nord-Est.

dove si può osservare che anche mantenendo una vetrocamera interna senza deposito a protezione solare (VC7), i guadagni complessivi estivi per ogni cellula superano di poco, per il fronte Nord-Est, i 3kWh/giorno, non raggiungendo sul fronte Nord-Ovest il valore di 2 kWh/giorno.

In tutte queste casistiche, dall'osservazione dei grafici dei guadagni netti, anche la combinazione con VC11, ovvero vetrocamera che accoppia un vetro ultrachiaro ad uno a protezione solare, fornisce risultati interessanti.

Trattandosi però di un'analisi basata su valori medi mensili di temperature ed irraggiamento, l'assenza di un vetro basso emissivo ha indotto a trascurare questa possibilità in quanto non si avrebbe garanzia di un'adeguata resistenza termica in caso di temperature inferiori alla media o a condizioni prolungate di maltempo (non rare in Belgio).

Per quanto riguarda invece le camere d'albergo, gli apporti di calore interni, per attività ed attrezzature, sono molto ridotti. Si sceglie perciò di non adottare vetri con caratteristiche di protezione solare nemmeno sul fronte Ovest, utilizzando una vetrocamera con vetro low-E accoppiato ad un vetro ultrachiaro (VC7), con vetro esterno stratificato ultrachiaro, per mantenere il massimo di luminosità delle finestre.

L'ombreggiamento estivo viene lasciato quindi completamente ai dispositivi d'oscuramento posti nell'intercapedine della doppia pelle, consistenti in veneziane orizzontali.

Risultati

Sulla base delle scelte effettuate si ottengono i guadagni complessivi mensili, per i sei piani adibiti ad uffici, illustrati in tabella:

Tabella 06.75
Valori di guadagni e dispersioni totali delle facciate a doppia pelle.

Guadagni e dispersioni totali												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	2831,02	5513,63	9054,59	12727,73	16292,84	13595,07	13779,28	12949,90	10448,42	6952,24	3519,03	2222,82
dispersioni kWh/mese	-3176,08	-2868,72	-3646,74	-2049,09	-1411,39	-8596,41	-4442,51	-4442,51	-8596,41	-14808,37	-2561,36	-2623,19

Guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	45965,55	48646,16	52189,13	55962,26	59427,37	56729,60	52686,47	50084,43	53583,96	50086,77	46653,56	45357,35
dispersioni kWh/mese	-62331,18	-57148,27	-52403,87	-57632,87	-63554,46	-84742,75	-56589,07	-56589,07	-50103,41	-48902,24	-49732,97	-55712,98

Tabella 06.76
Valori di guadagni e dispersioni totali dell'edificio considerata la facciata a doppia pelle.

Questi valori, se confrontati con i valori precedentemente calcolati per una facciata vetrata semplice, risultano migliorativi delle condizioni generali dell'involucro dell'edificio, riducendo le dispersioni dell'80% durante i mesi più freddi, a discapito di un lieve peggioramento dei guadagni solari (-6%), ed aumentandole notevolmente nei mesi più caldi estivi, con un'associata alta riduzione dei guadagni.

Percentuali rispetto al caso di semplice vetrocamera												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	-6,55	-9,89	-10,36	-12,73	-13,75	-28,25	-23,15	-22,81	-21,42	-19,87	-8,16	-5,20
% dispersioni	-81,80	-81,80	-81,80	-81,80	-81,80	-81,80	52,74	52,74	52,74	52,74	52,74	-81,80

Tabella 06.77
Percentuali di incidenza della facciata a doppia pelle su guadagni e dispersioni complessivi dell'edificio per uffici.

Sui valori totali dei guadagni della funzione uffici, gli affacci vetrati a doppia pelle contribuiscono con valori che vanno dal minimo del 4,9% in dicembre, ad un massimo del 26% estivo a giugno.

Percentuali rispetto a guadagni e dispersioni complessivi												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	6,16	11,33	17,35	22,78	27,42	23,96	26,15	23,09	19,50	13,88	7,54	4,90
% dispersioni	5,10	5,02	5,05	3,55	1,51	10,15	7,85	7,85	17,16	30,28	5,15	5,07

Per quanto riguarda le dispersioni, durante i mesi invernali si avrà un'influenza ridotta sui valori totali dell'edificio (circa il 5%), che significa che le dispersioni tramite la facciata vetrata saranno estremamente ridotte, mentre durante il

periodo estivo le dispersioni tramite la facciata vetrata costituiranno il 25% circa del totale delle dispersioni di tutto l'edificio per uffici.
 Sui valori complessivi dell'edificio, si avranno quindi le seguenti variazioni percentuali da cui si evince una buona riduzione dei guadagni durante la fase estiva, associata ad un incremento delle dispersioni e una grande riduzione (circa -18%) delle dispersioni invernali.

Percentuali dei valori totali rispetto al caso di semplice vetrocamera												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	-0,43	-1,23	-1,05	-3,22	-4,19	-8,62	-7,30	-6,32	-5,05	-3,33	-0,67	-0,27
% dispersioni	-18,63	-18,41	-18,50	-13,78	-6,35	3,63	2,79	2,79	6,30	11,68	-18,80	-18,55

6.5.4 Conclusioni

L'adozione di entrambe le strategie studiate per il miglioramento dell'involucro edilizio si rivela nel complesso fortemente vincente, portando ad una riduzione rilevante dei consumi complessivi dell'edificio per uffici.
 L'impatto dei guadagni dello spazio buffer sommato a quello della doppia pelle, contribuisce in maniera sostanziale ai guadagni complessivi, incidendo fino al 40% nei mesi estivi.

Incidenza dell'adozione di doppia pelle e buffer su guadagni e dispersioni totali												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	15,49	24,57	31,87	36,79	40,23	31,40	33,53	31,40	30,90	25,81	17,06	12,87
% dispersioni	5,15	5,07	5,11	3,59	1,53	19,48	15,44	15,44	30,74	48,21	5,21	5,12

Comportando dei significativi miglioramenti rispetto ad una soluzione costruttiva più tradizionale come un semplice curtain wall, secondo le percentuali in tabella:

Variazione dell'incidenza rispetto al caso con vetrocamera semplice												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
% guadagni	6,67	10,41	9,84	7,83	5,08	-8,24	-7,06	-4,68	0,84	4,06	6,34	5,61
% dispersioni	-22,87	-22,68	-22,71	-17,14	-8,07	13,74	10,58	10,58	23,55	42,63	-23,06	-22,77

Si possono inoltre osservare i grafici di confronto tra i valori mensili di guadagni e dispersioni del solo involucro vetrato, per notare il netto miglioramento apportato all'involucro.

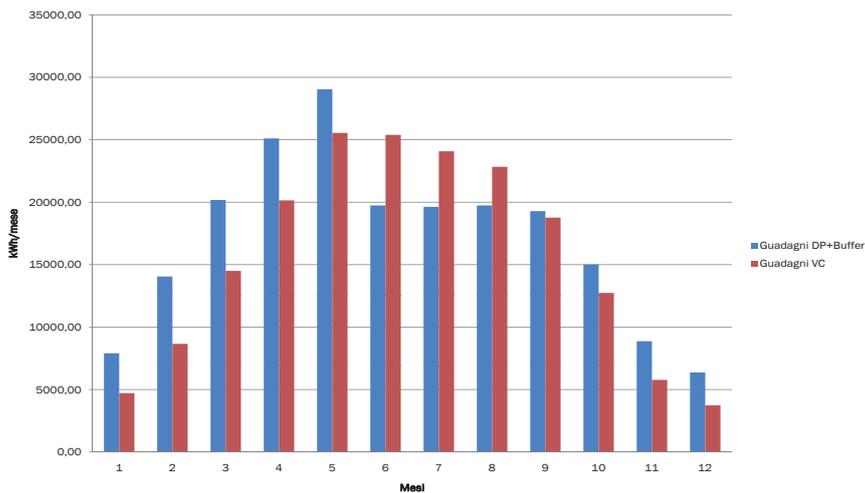


Tabella 06.78
 Variazione dell'incidenza della facciata su guadagni e dispersioni complessivi dell'edificio per uffici

Tabella 06.79
 Percentuali d'incidenza di doppia pelle e buffer su guadagni e dispersioni dell'edificio per uffici.

Tabella 06.80
 Variazioni percentuali di guadagni e dispersioni dell'edificio per uffici in rapporto alla situazione di facciata con vetrocamera.

Grafico 06.65
 Confronto tra i guadagni del sistema adottato e i guadagni di un involucro a curtain wall con vetrocamera semplice.

Grafico 06.66
Confronto tra le dispersioni del sistema adottato e i guadagni di un involucro a curtain wall con vetrocamera semplice.

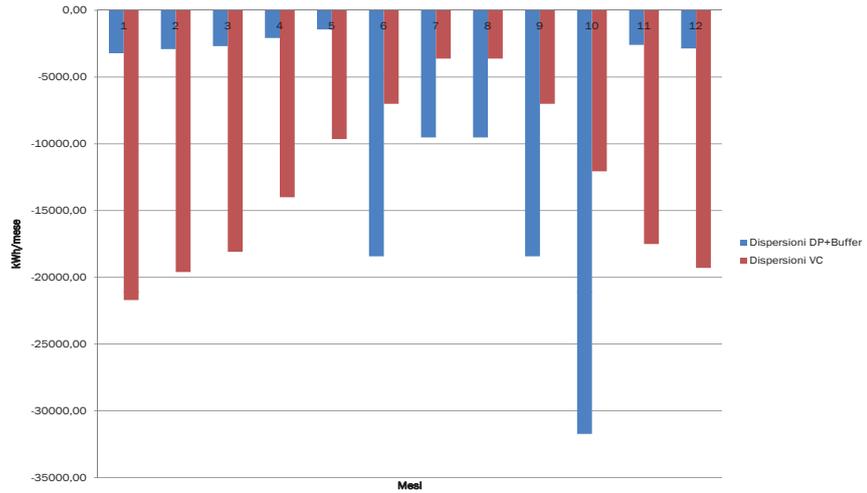


Tabella 06.81
Variazione di guadagni e dispersioni nell'edificio per uffici.

I guadagni e le dispersioni complessive dell'edificio subiranno di conseguenza una variazione rilevante derivante dai vantaggi apportati dalle due soluzioni adottate, arrivando ai seguenti valori:

Guadagni e dispersioni TOTALI												
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC
guadagni kWh/mese	51842,20	57186,13	63310,30	68235,50	72168,83	62877,91	58534,82	62877,25	62420,14	58139,77	52008,15	48588,38
dispersioni kWh/mese	-62367,80	-57181,34	-52434,30	-57656,50	-63570,74	-84569,23	-61666,88	-61666,88	-59929,88	-65825,61	-49762,51	-55745,53

Grafico 06.67
Guadagni complessivi dell'edificio ad uffici rapportati alla soluzione con vetrocamera semplice.

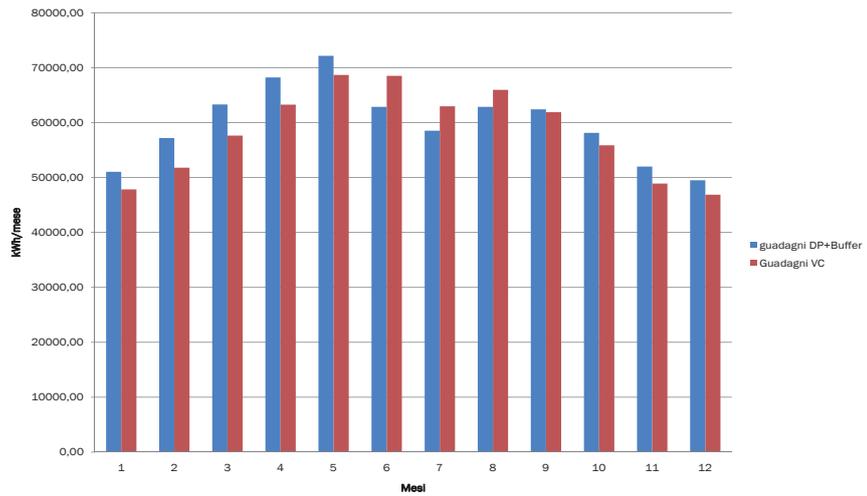
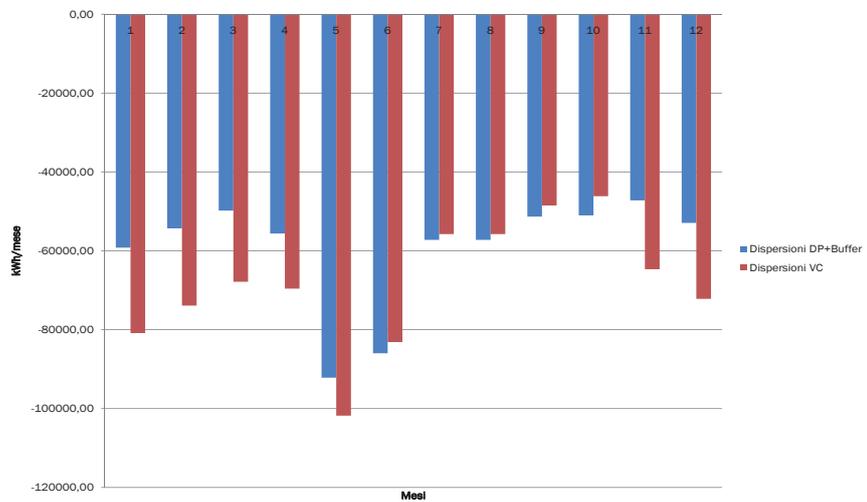
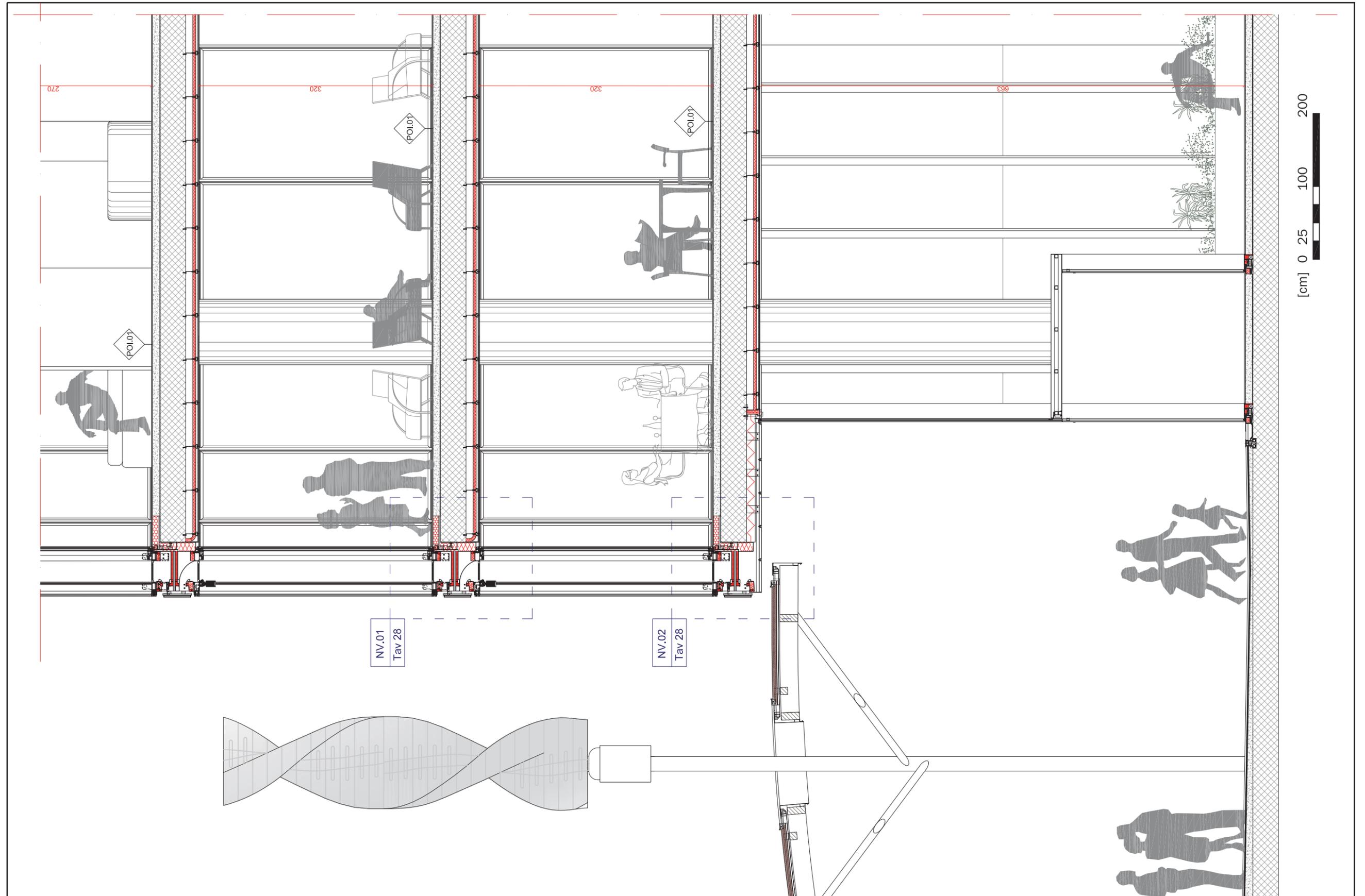


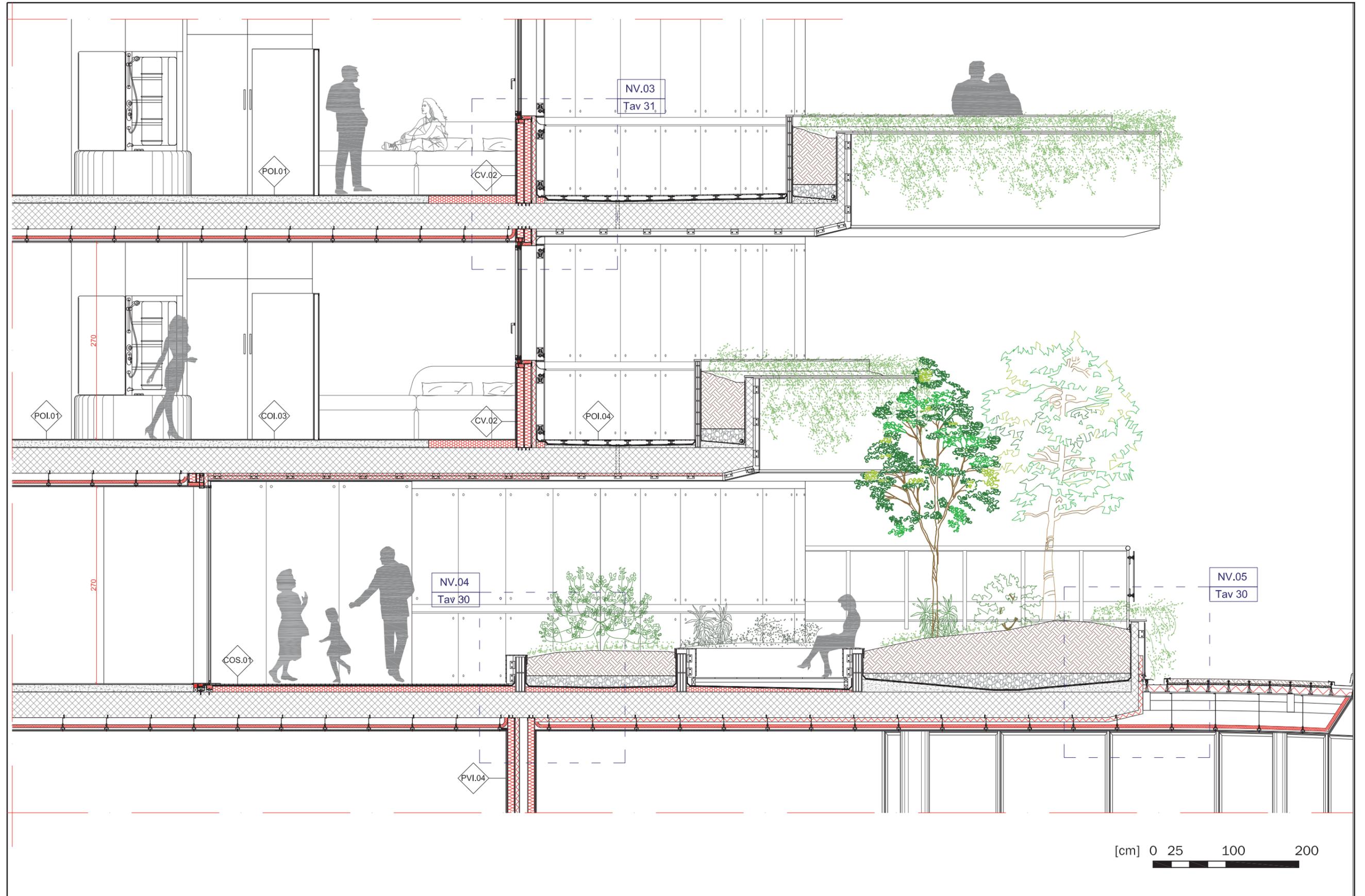
Grafico 06.68
Dispersioni complessive dell'edificio ad uffici rapportati alla soluzione con vetrocamera semplice.

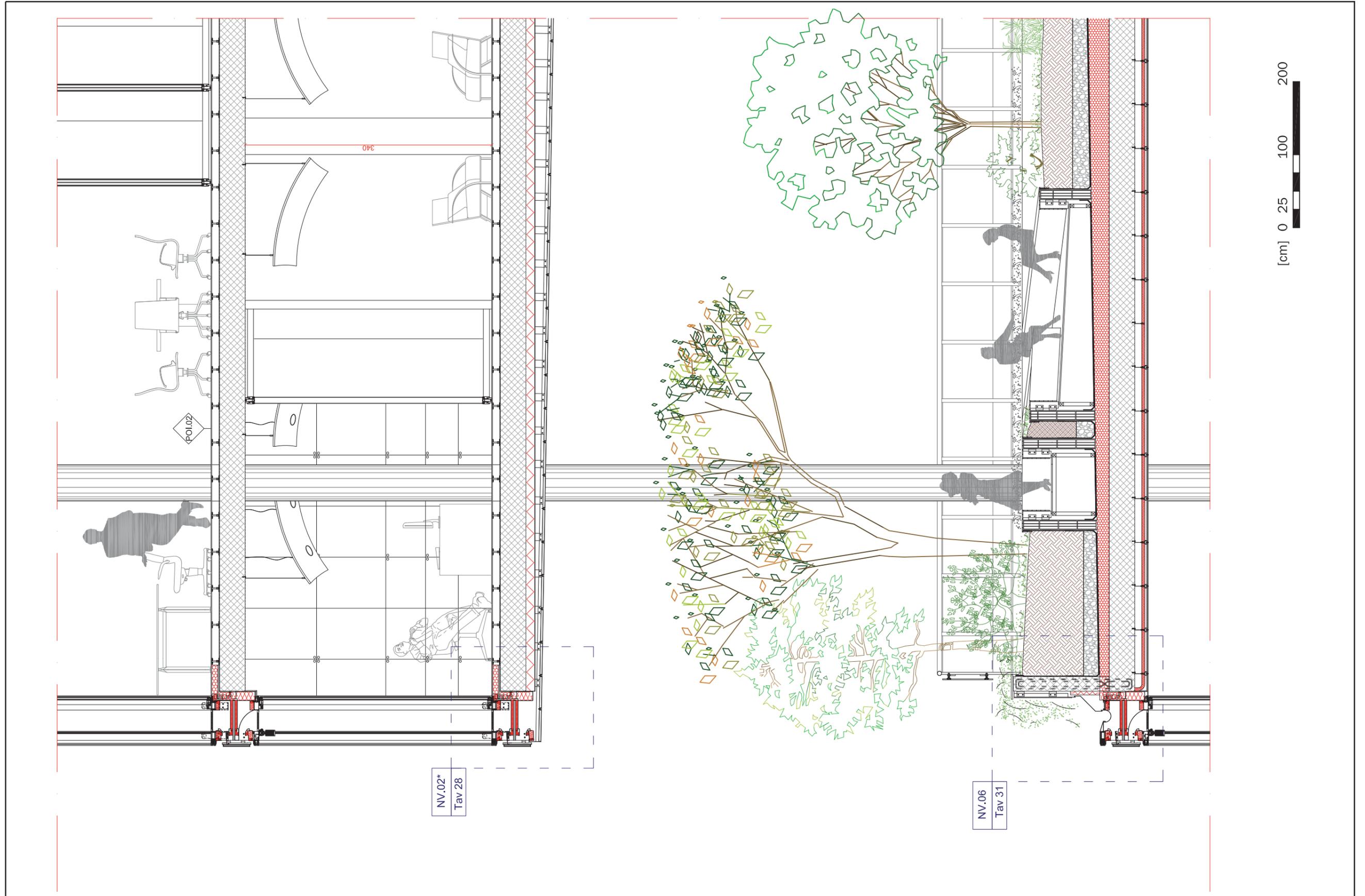


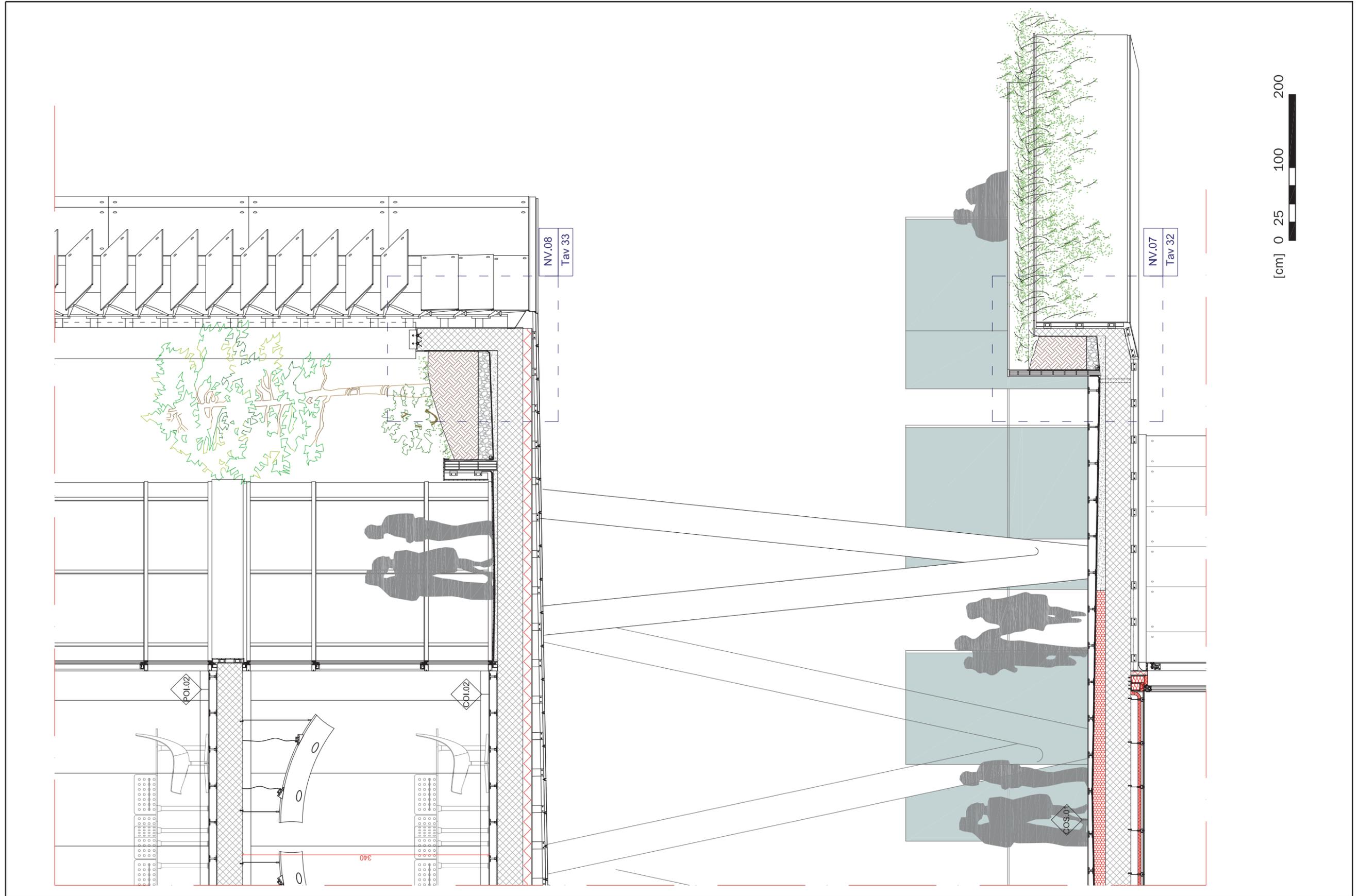
ALLEGATI

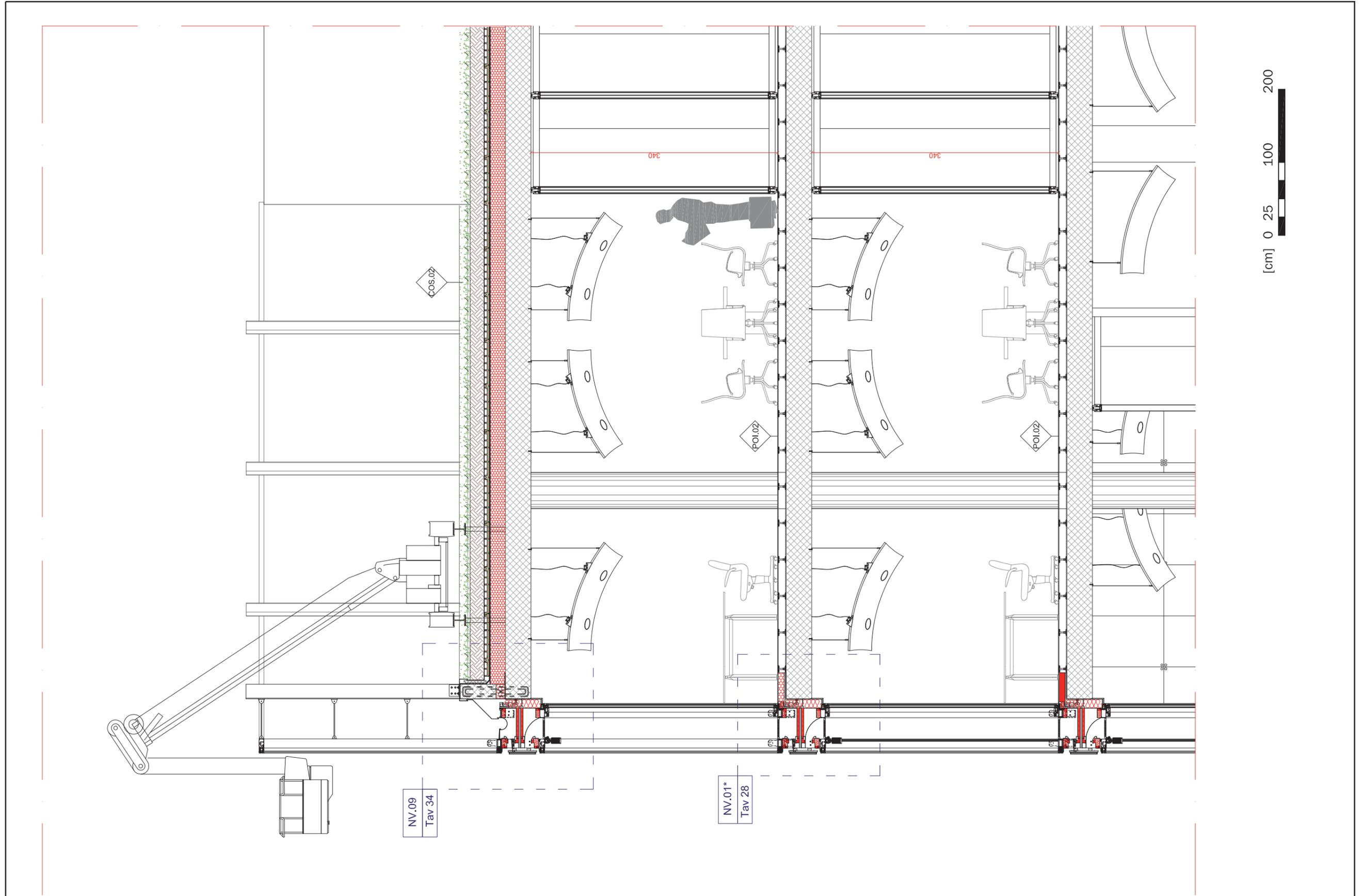
- Il Progetto Tecnologico -

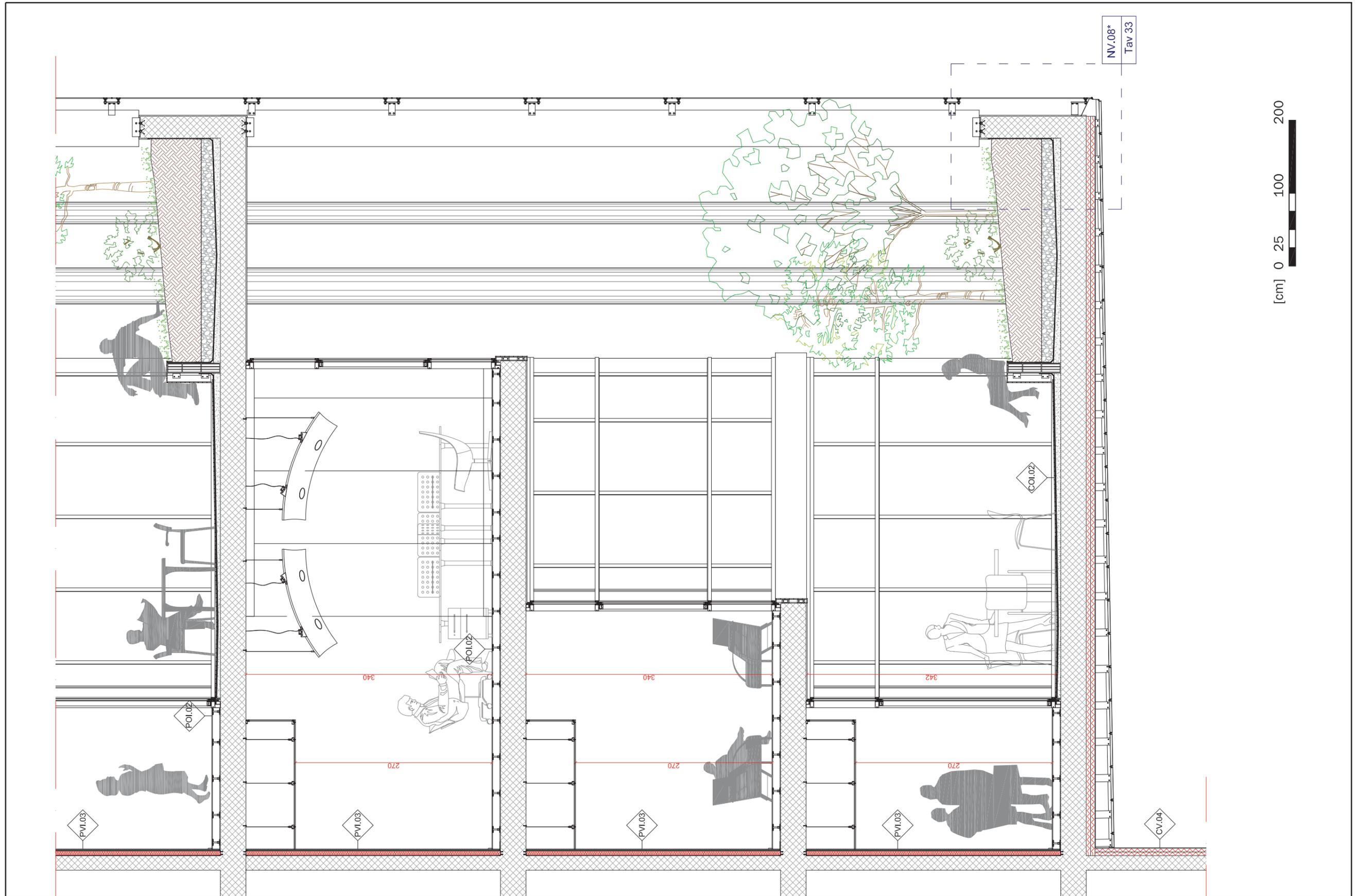






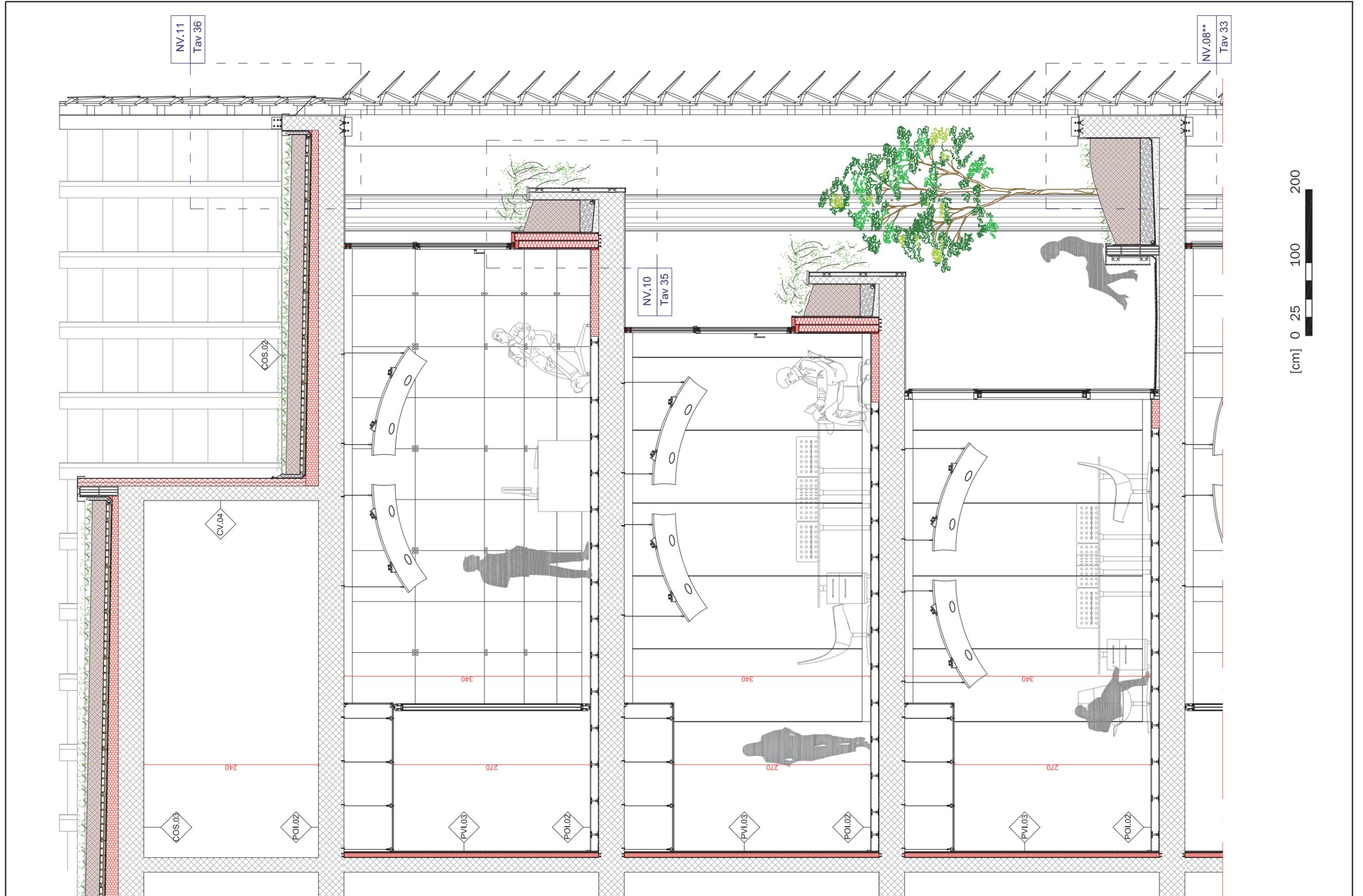


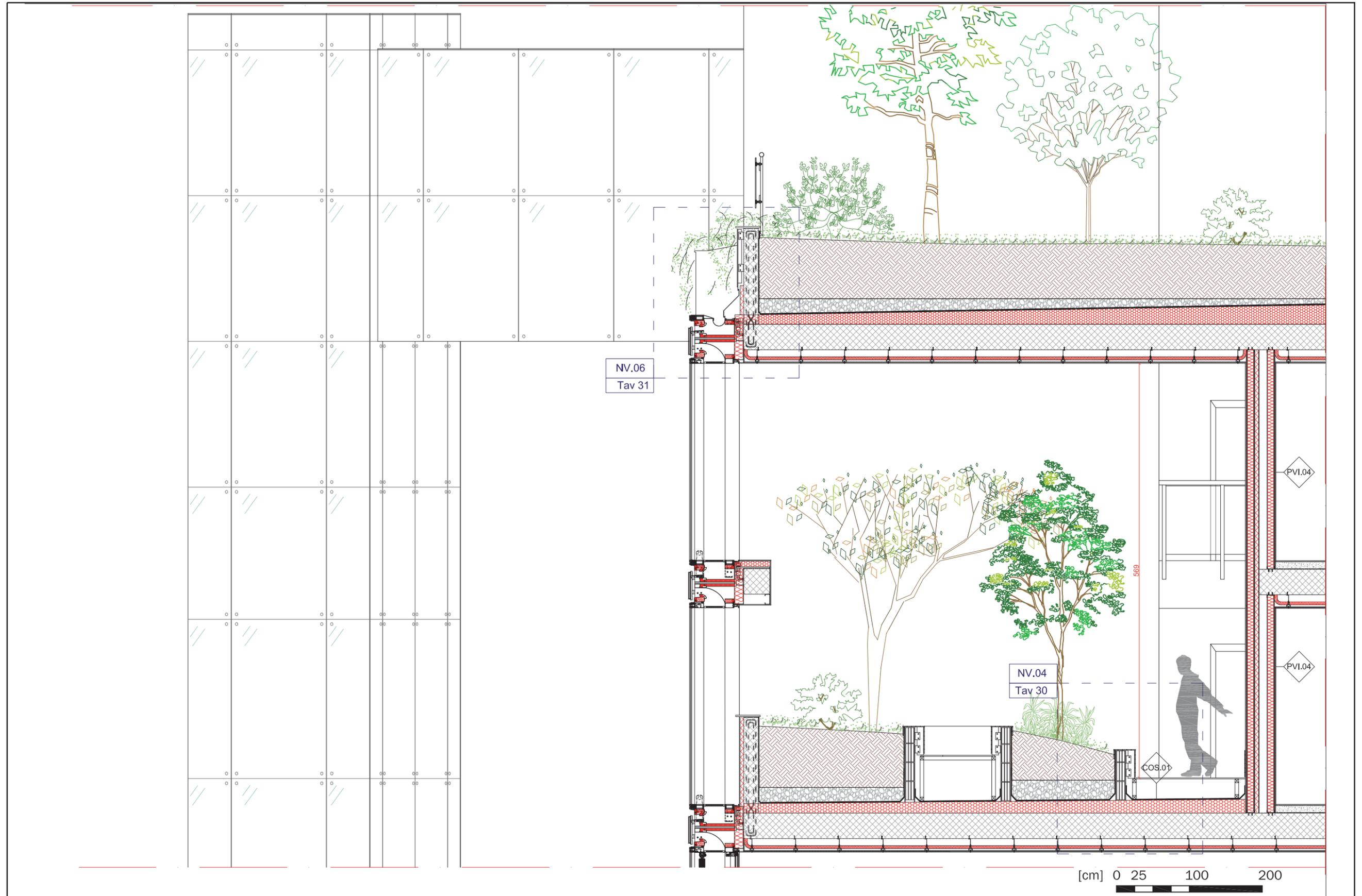




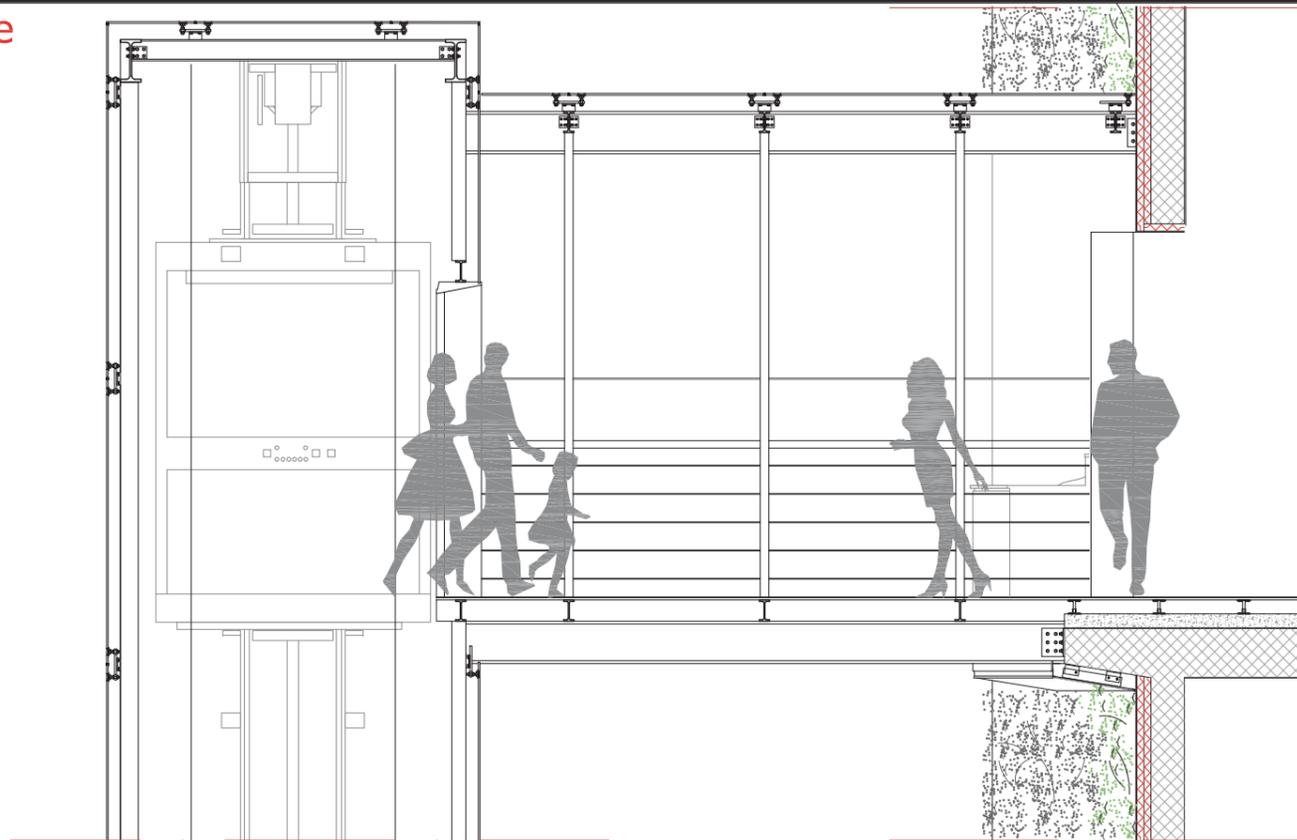
Blow-up Uffici Sud Ovest

SCALA 1:50

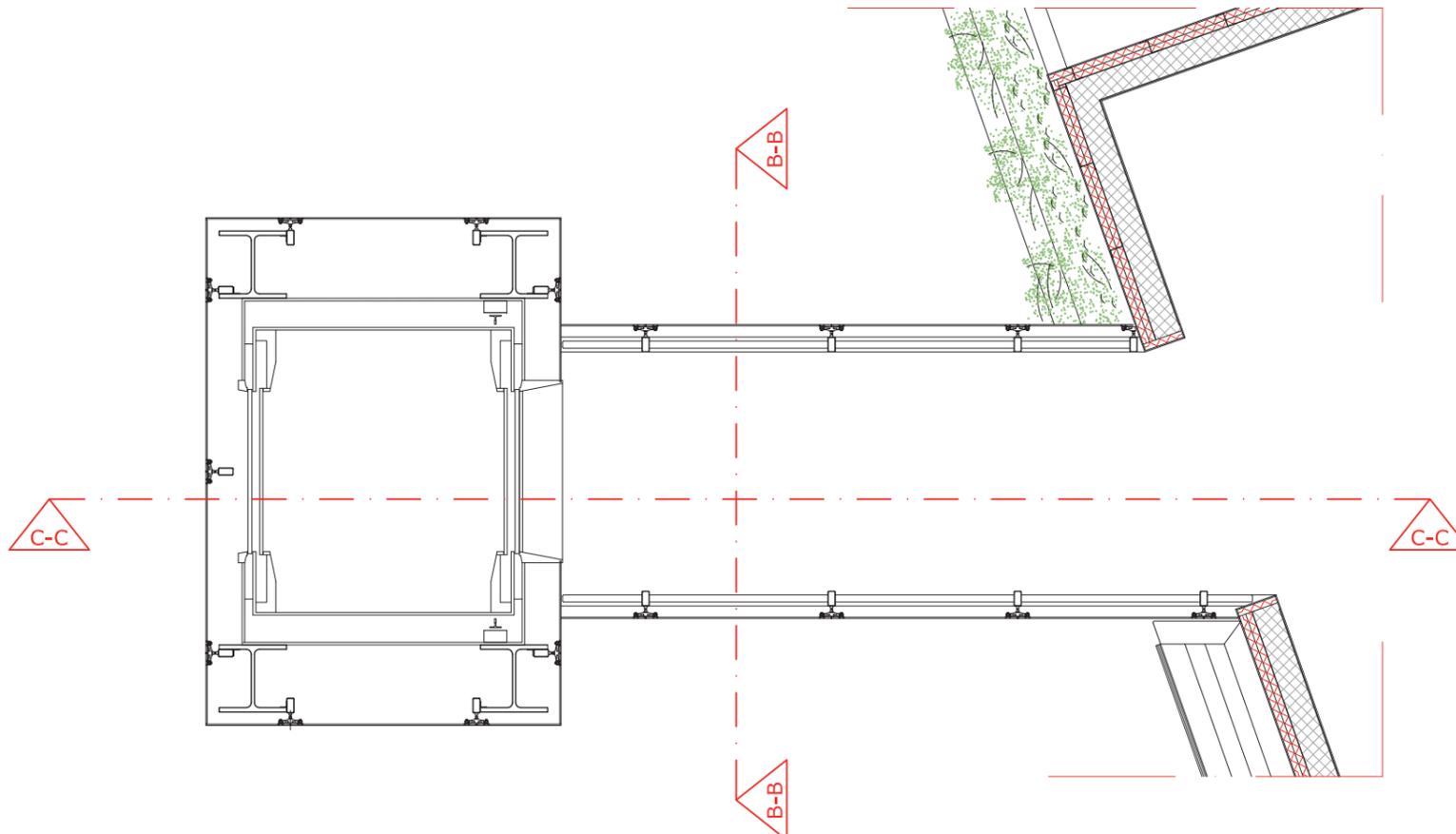
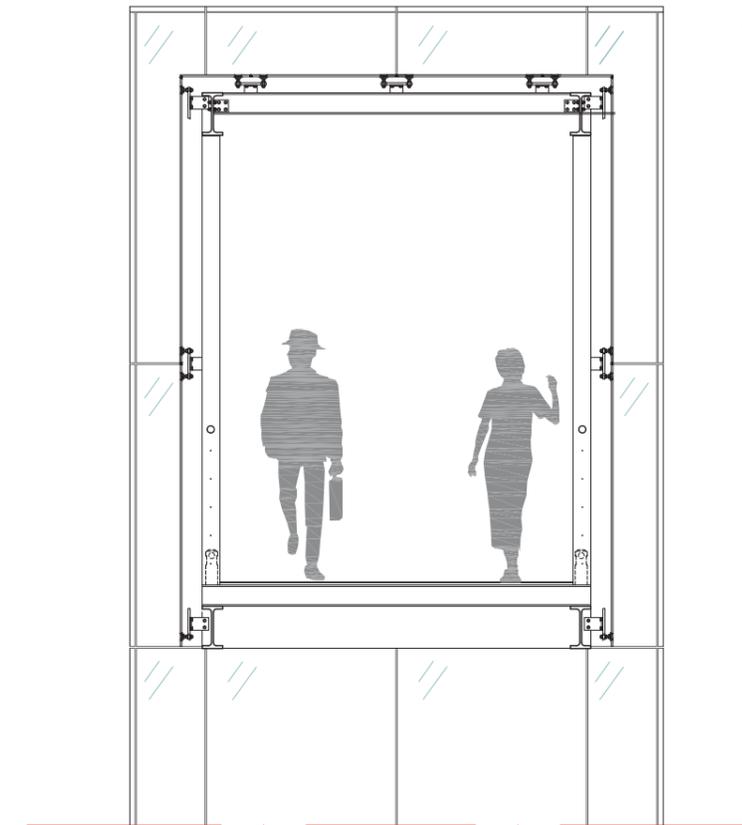




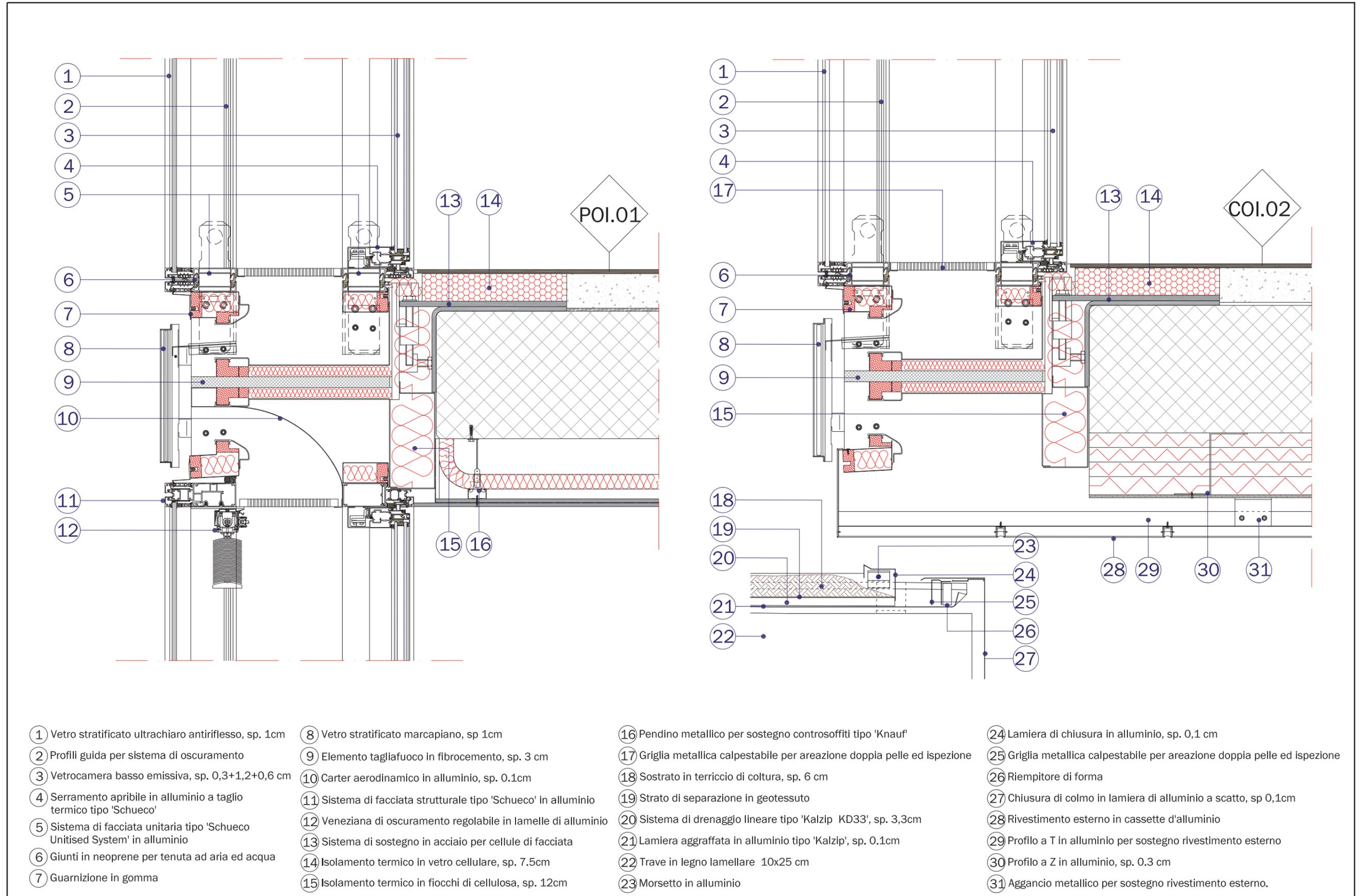
sezione
C-C

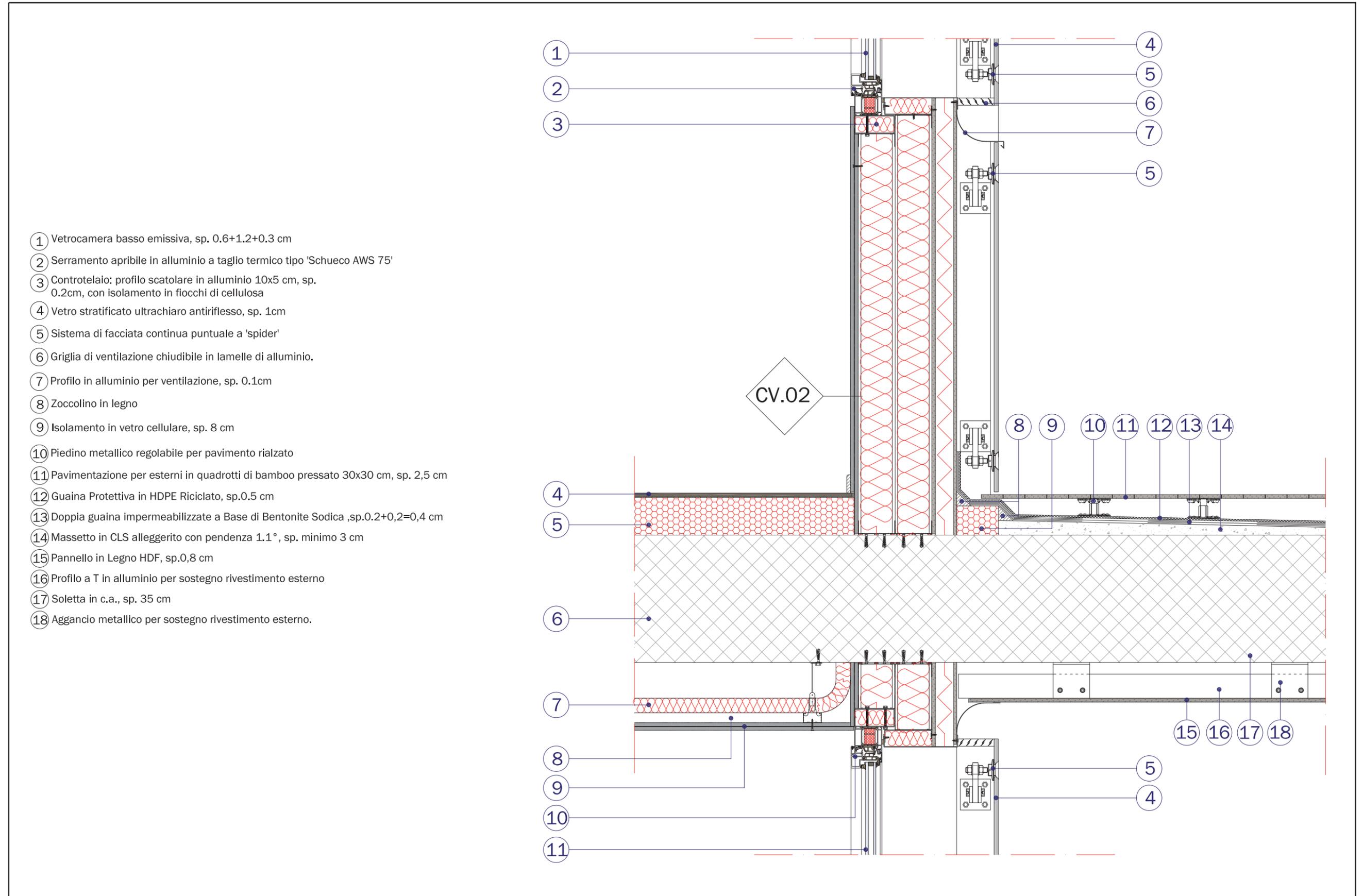


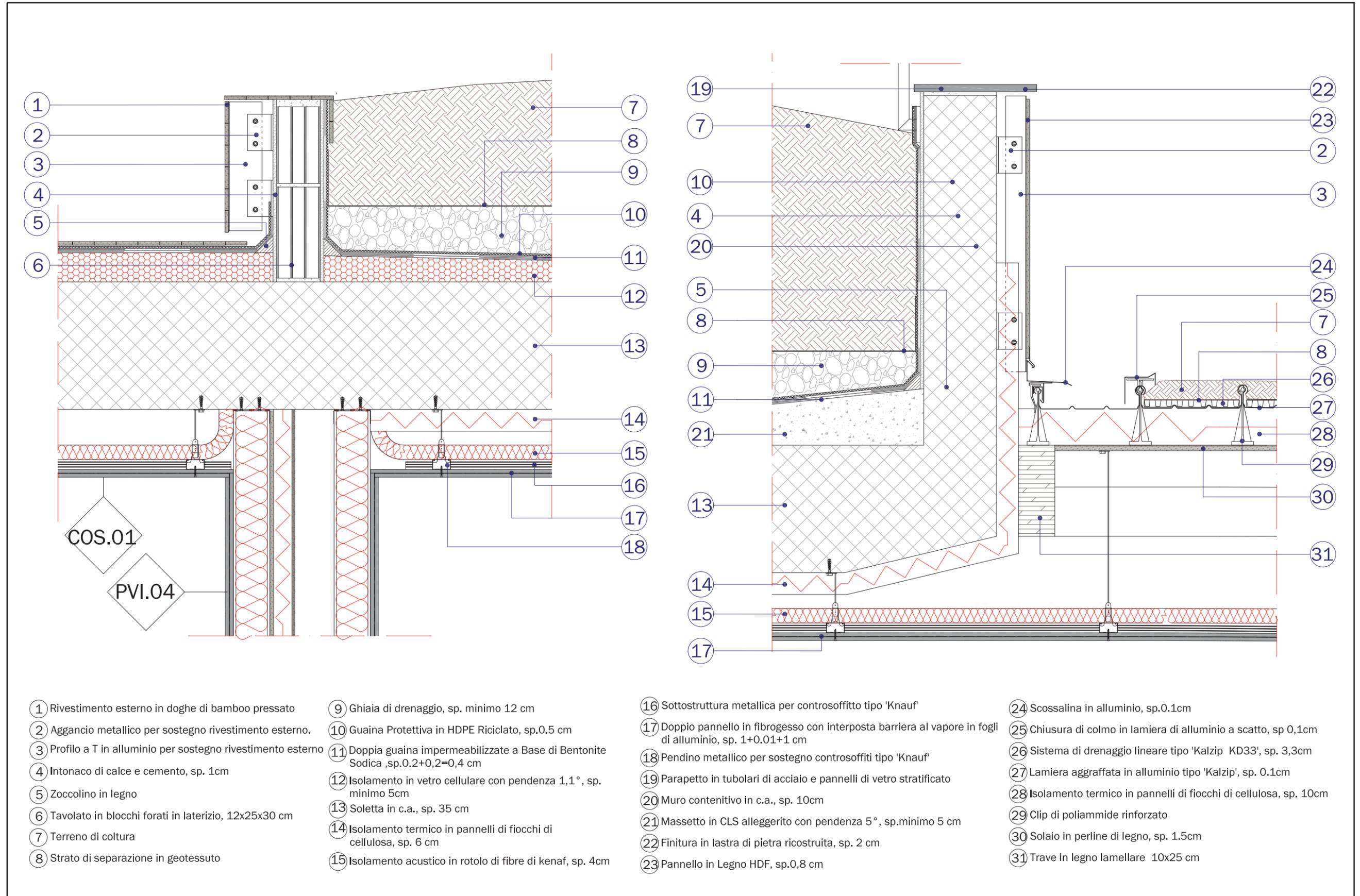
sezione
B-B



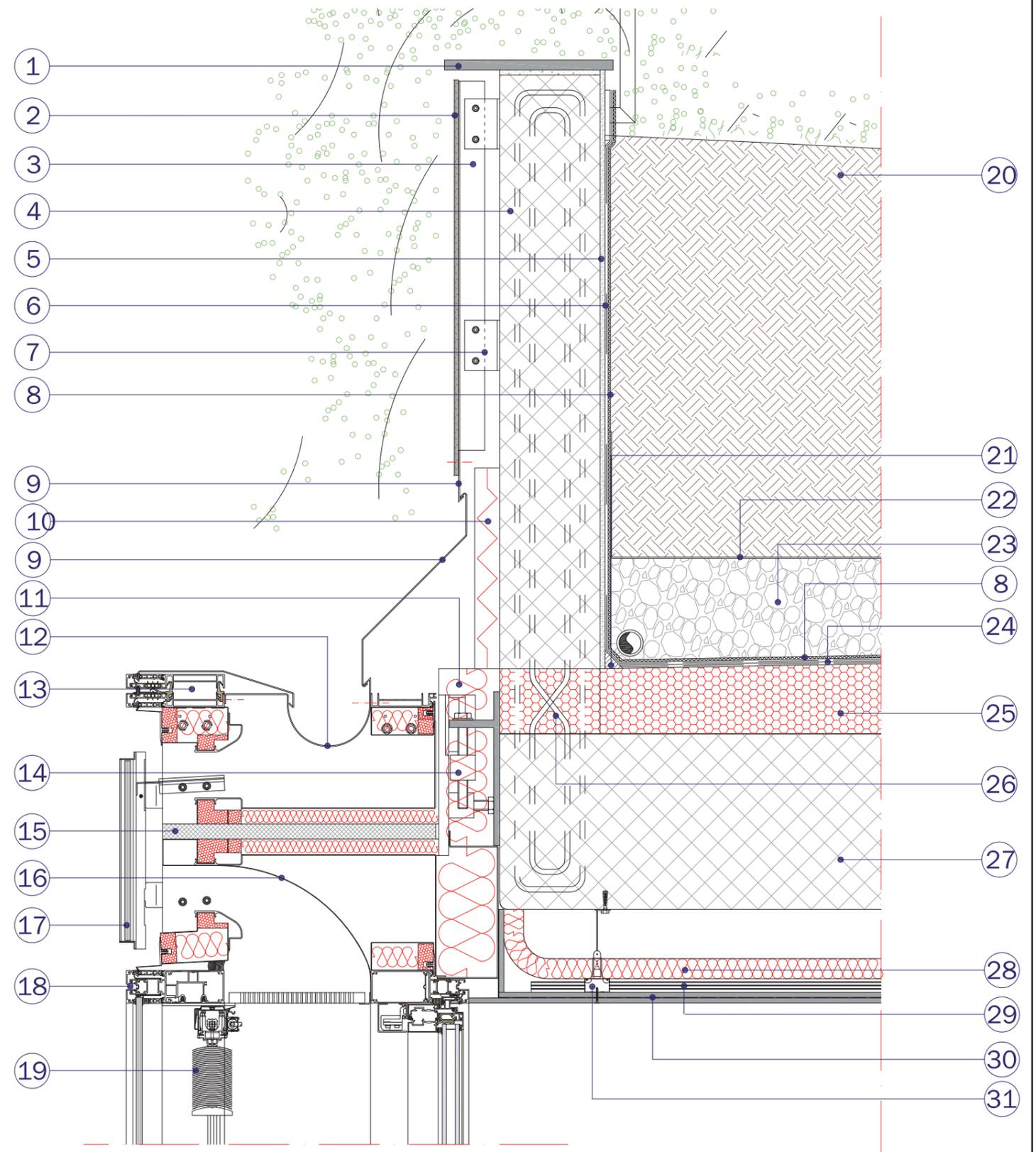
[cm] 0 25 100 200



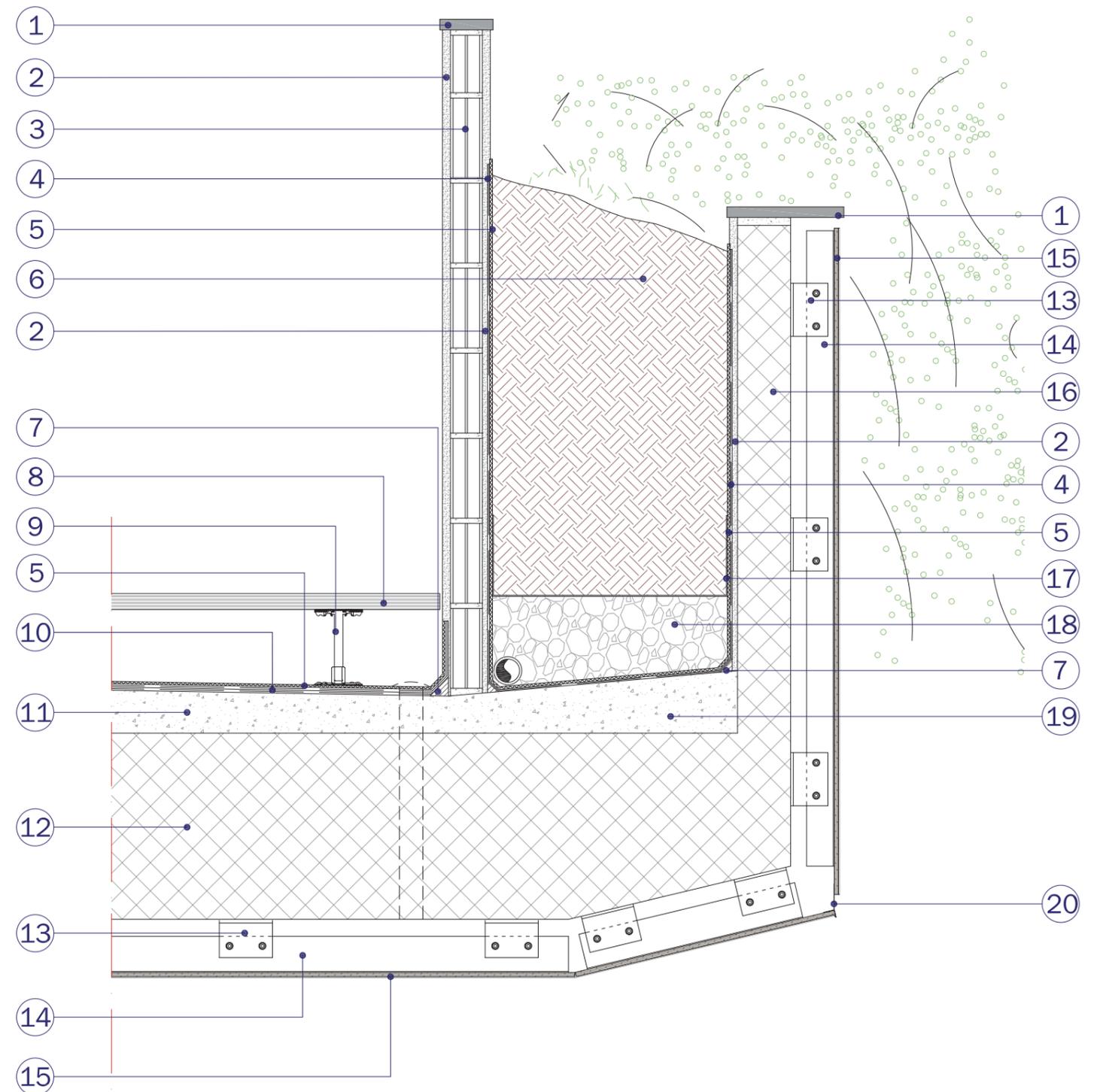


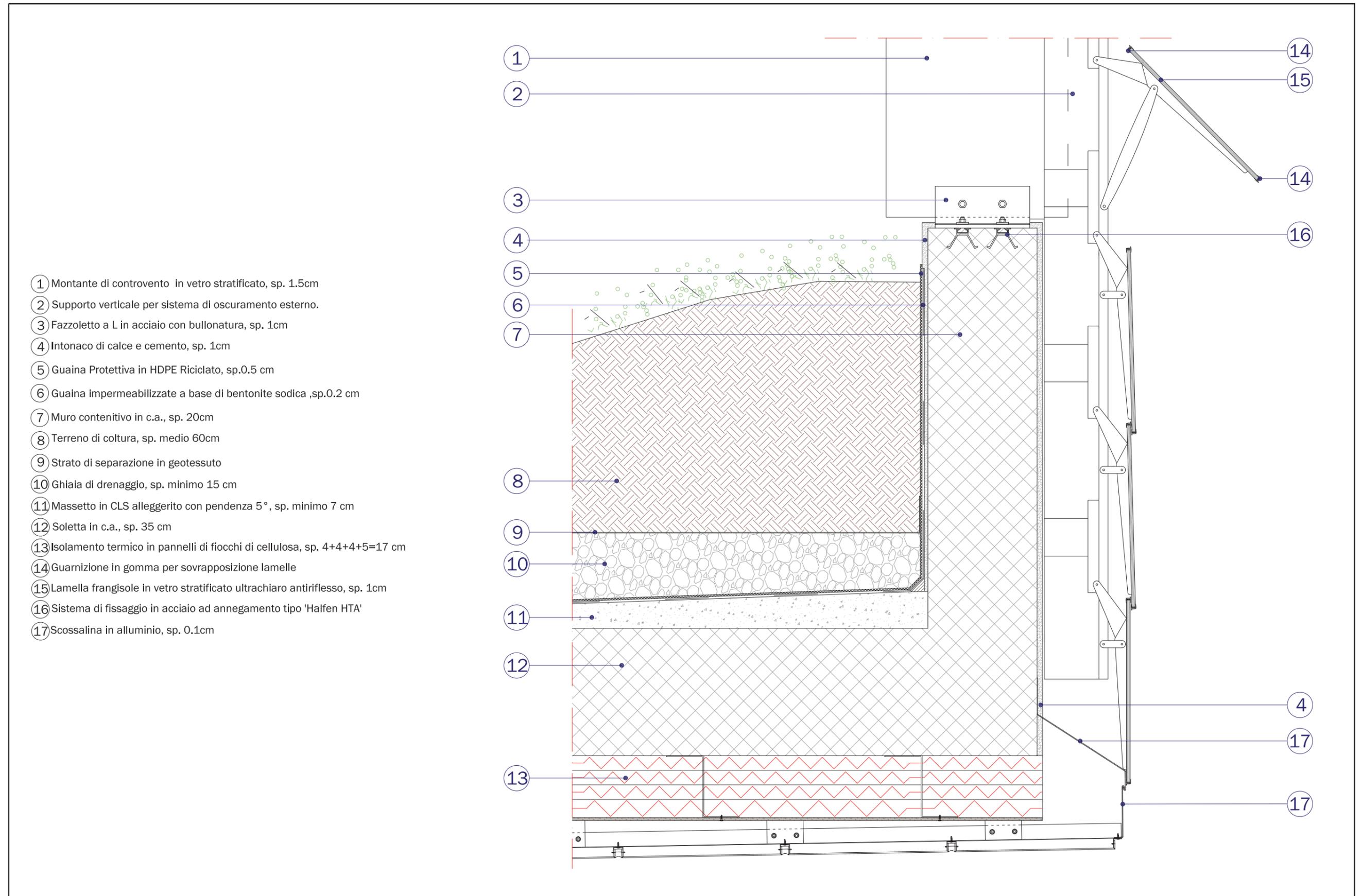


- ① Finitura in lastra di pietra ricostruita, sp. 2 cm
- ② Pannello in Legno HDF, sp.0,8 cm
- ③ Profilo a T in alluminio per sostegno rivestimento esterno
- ④ Muro contenitivo in c.a., sp. 20cm
- ⑤ Guaina impermeabilizzate a base di bentonite sodica ,sp.0.2cm
- ⑥ Guaina Protettiva in HDPE Riciclato, sp.0.5 cm
- ⑦ Aggancio metallico per sostegno rivestimento esterno.
- ⑧ Intonaco di calce e cemento, sp. 1cm
- ⑨ Scossalina in alluminio, sp.0.1cm
- ⑩ Isolamento termico in pannelli di fiocchi di cellulosa, sp. 6 cm
- ⑪ Isolamento termico in fiocchi di cellulosa, sp.12 cm
- ⑫ Gronda in alluminio, sp.0.1cm
- ⑬ Sistema di facciata unitaria tipo 'Schueco Unitised System' in alluminio
- ⑭ Sistema di sostegno in acciaio per cellule di facciata
- ⑮ Elemento tagliafuoco in fibrocemento, sp. 3 cm
- ⑯ Carter aerodinamico in alluminio, sp. 0.1cm
- ⑰ Vetro stratificato marcapiano, sp 1cm
- ⑱ Sistema di facciata strutturale tipo 'Schueco' in alluminio
- ⑲ Veneziana di oscuramento regolabile in lamelle di alluminio
- ⑳ Terreno di coltura
- ㉑ Zoccolino in legno
- ㉒ Strato di separazione in geotessuto
- ㉓ Ghiaia di drenaggio, sp. minimo 12 cm
- ㉔ Doppia guaina impermeabilizzate a base di bentonite sodica ,sp.0.2+0,2=0,4 cm
- ㉕ Isolamento in vetro cellulare con pendenza 1,1°, sp. minimo 8cm
- ㉖ Connettore a taglio termico parapetto-soletta, tipo 'Halfen HIT-AT'
- ㉗ Soletta in c.a., sp. 35 cm
- ㉘ Isolamento acustico in rotolo di fibre di kenaf, sp. 4cm
- ㉙ Sottostruttura metallica per controsoffitto tipo 'Knauf'
- ㉚ Pendino metallico per sostegno controsoffitti tipo 'Knauf'
- ㉛ Doppio pannello in fibrogesso con interposta barriera al vapore in fogli di alluminio, sp. 1+0.01+1 cm

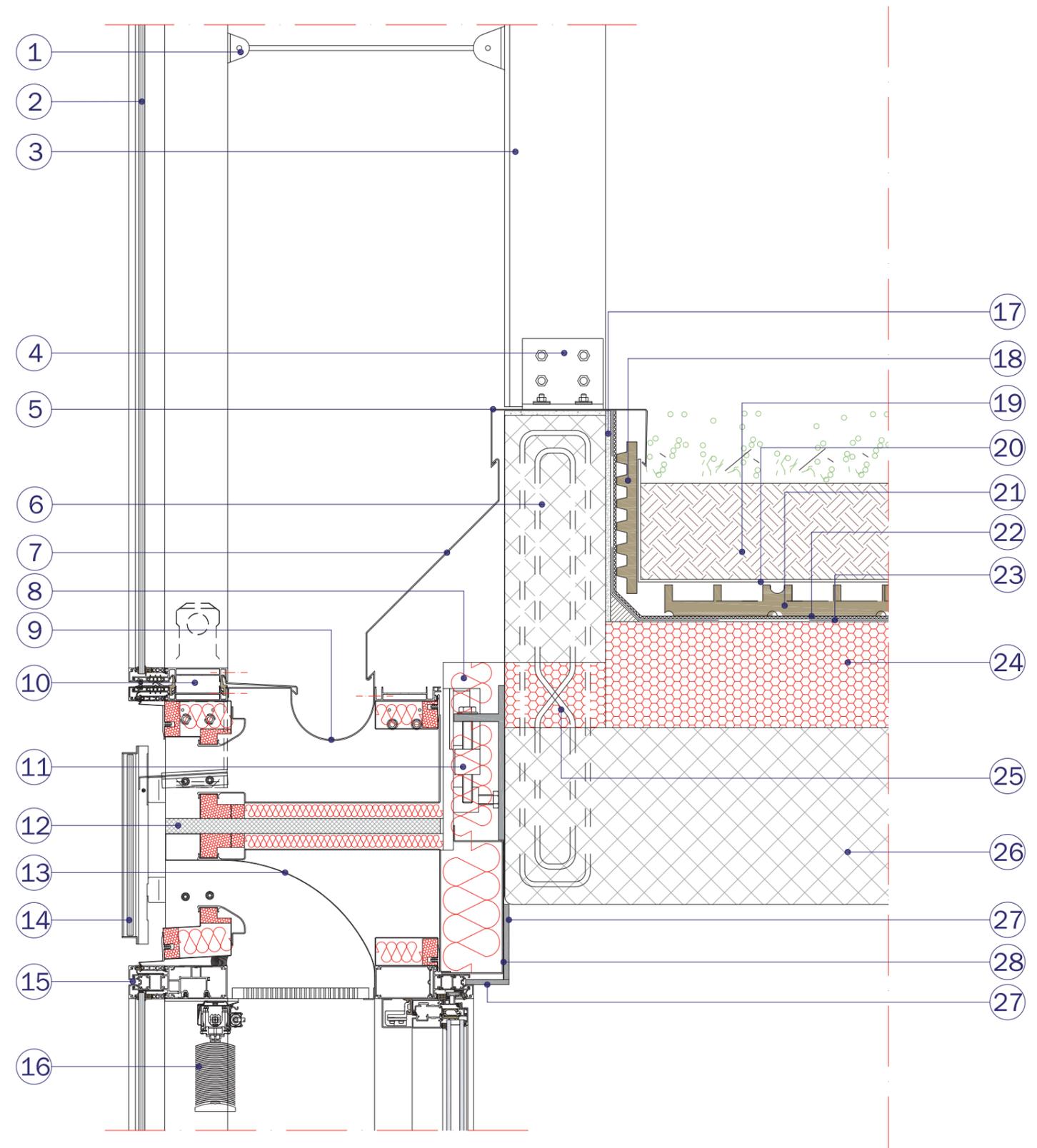


- ① Finitura in lastra di pietra ricostruita, sp. 2 cm
- ② Intonaco di calce e cemento, sp. 1cm
- ③ Tavolato in blocchi forati 8x12x24 cm
- ④ Guaina impermeabilizzate a base di bentonite sodica ,sp.0.2 cm
- ⑤ Guaina Protettiva in HDPE Riciclato, sp.0.5 cm
- ⑥ Terreno di coltura
- ⑦ Zoccolino in legno
- ⑧ Pannelli in granulato di vetro riciclato, sp. 3cm
- ⑨ Piedino metallico regolabile per pavimento rialzato
- ⑩ Doppia guaina impermeabilizzate a base di bentonite sodica ,sp.0.2+0.2=0.4 cm
- ⑪ Massetto in CLS alleggerito con pendenza 1.1°, sp. minimo 7 cm
- ⑫ Soletta in c.a., sp. 35 cm
- ⑬ Aggancio metallico per sostegno rivestimento esterno.
- ⑭ Profilo a T in alluminio per sostegno rivestimento esterno
- ⑮ Pannello in Legno HDF, sp.0,8 cm
- ⑯ Muro contenitivo in c.a., sp. 10cm
- ⑰ Strato di separazione in geotessuto
- ⑱ Ghiaia di drenaggio, sp. minimo 12 cm
- ⑲ Massetto in CLS alleggerito con pendenza 5°, sp. minimo 7 cm
- ⑳ Scossalina in alluminio, sp.0.1cm

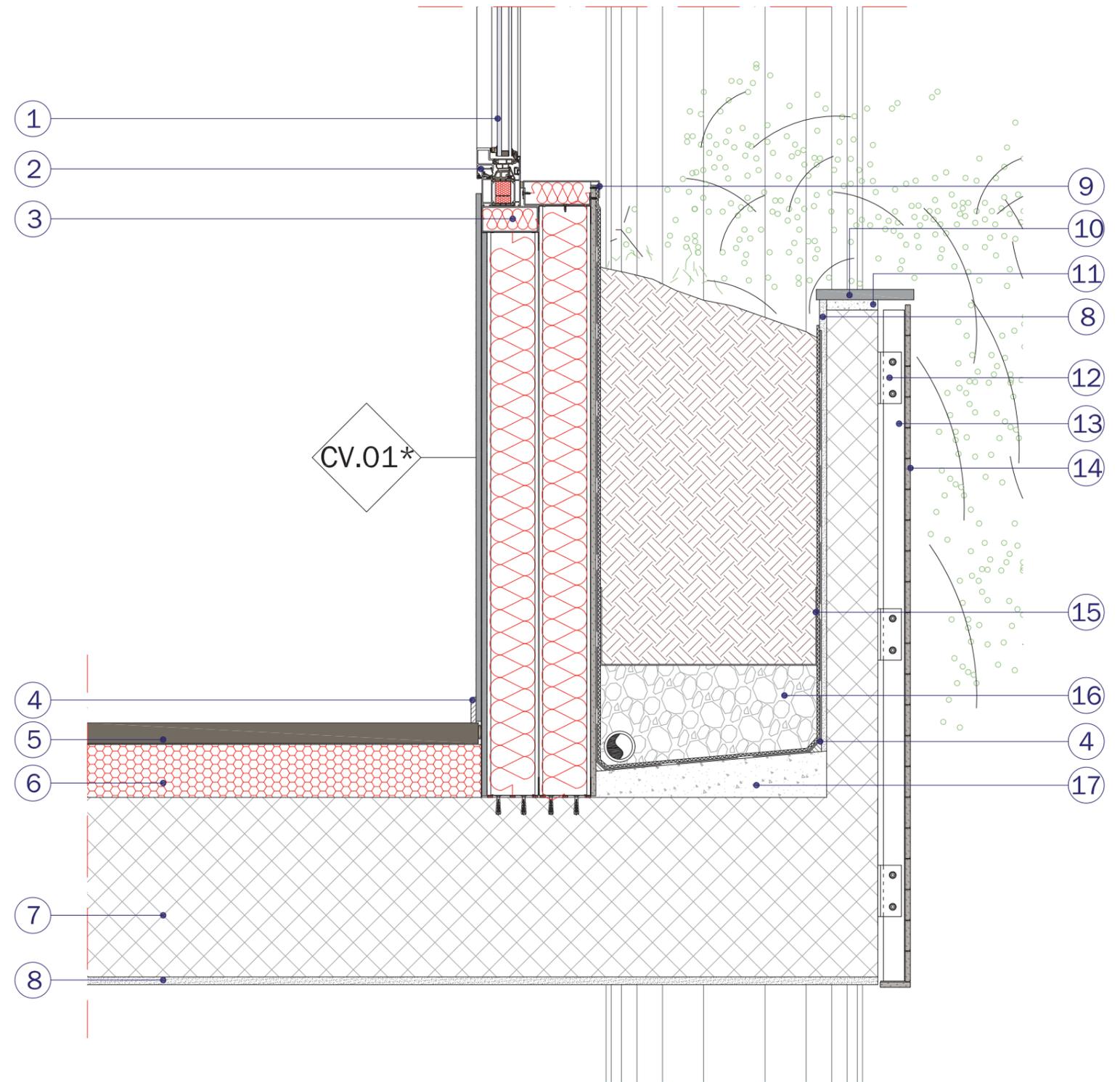




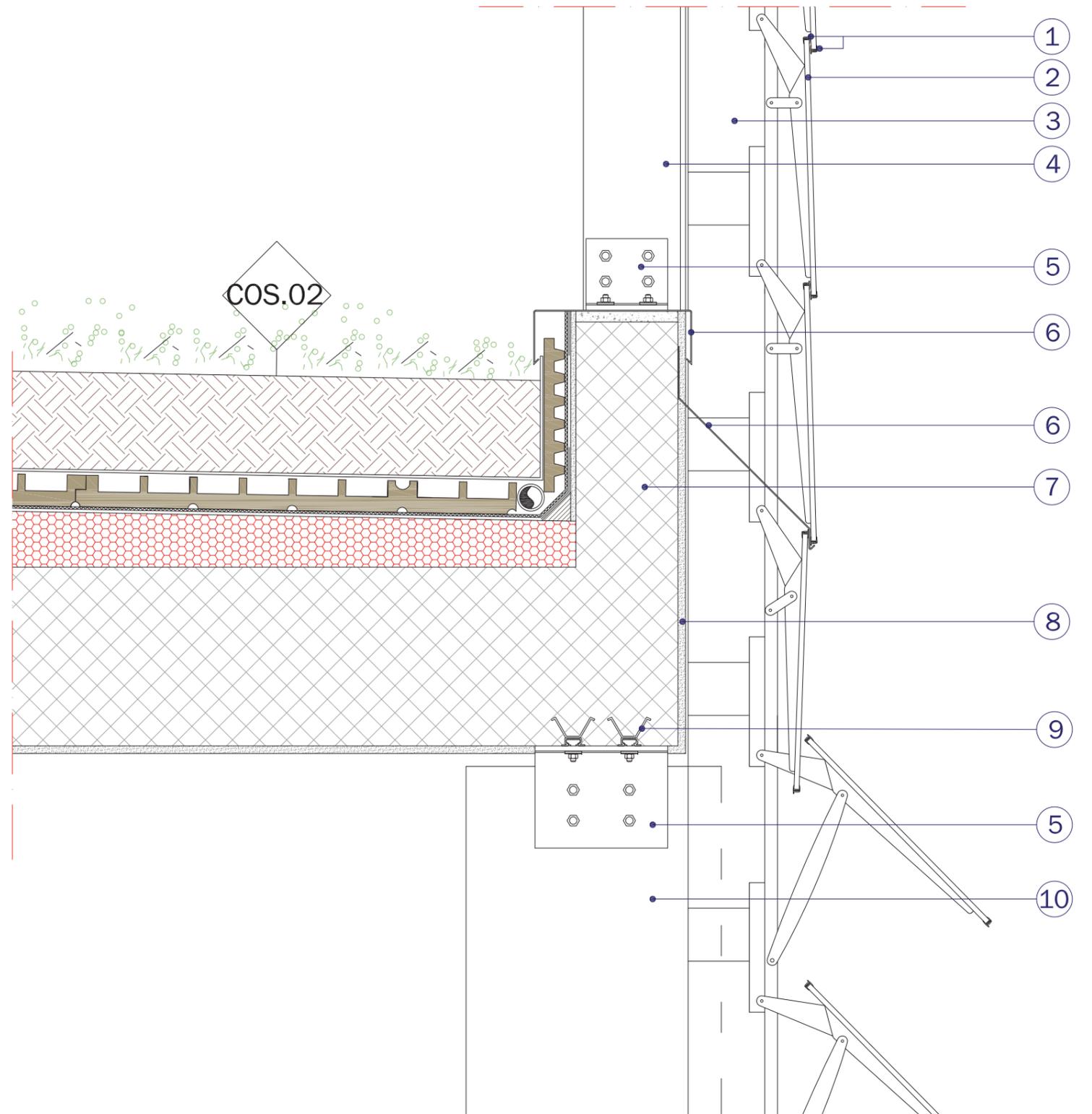
- ① Connessione in acciaio per controventamento dell'elemento di facciata
- ② Vetro stratificato ultrachiaro antiriflesso, sp. 1cm
- ③ Profilo a T in acciaio 20x20cm, sp. 1cm
- ④ Fazzoletto a L in acciaio con bullonatura, sp. 1cm
- ⑤ Scossalina in alluminio, sp. 0.1cm
- ⑥ Muro contenitivo in c.a., sp. 20cm
- ⑦ Profilo pressopiegato in alluminio, sp.0.1cm
- ⑧ Isolamento termico in fiocchi di cellulosa, sp.12 cm
- ⑨ Gronda in alluminio, sp.0.1cm
- ⑩ Sistema di facciata unitaria tipo 'Schueco Unitised System' in alluminio
- ⑪ Sistema di sostegno in acciaio per cellule di facciata
- ⑫ Elemento tagliafuoco in fibrocemento, sp. 3 cm
- ⑬ Carter aerodinamico in alluminio, sp. 0.1cm
- ⑭ Vetro stratificato marcapiano, sp 1cm
- ⑮ Sistema di facciata strutturale tipo 'Schueco' in alluminio
- ⑯ Veneziana di oscuramento regolabile in lamelle di alluminio
- ⑰ Intonaco di calce e cemento, sp. 1cm
- ⑱ Elemento di bordo tipo 'Daku drain', sp. 4.7cm
- ⑲ Terreno di coltura, sp. medio 20cm
- ⑳ Membrana antiradice tipo 'Daku Stabilfilter SFI', sp.0.5cm
- ㉑ Elementi drenanti tipo 'Daku FSD 20', sp. 6,2cm
- ㉒ Guaina Protettiva in HDPE Riciclato, sp.0.5 cm
- ㉓ Guaina impermeabilizzate a base di bentonite sodica ,sp.0.2 cm
- ㉔ Isolamento in vetro cellulare con pendenza 1,1°, sp. minimo 8cm
- ㉕ Connettore a taglio termico parapetto-soletta, tipo 'Halfen HIT-AT'
- ㉖ Soletta in c.a., sp. 35 cm
- ㉗ Pannello in fibrogesso, sp. 1 cm
- ㉘ Barriera al vapore in fogli di alluminio, sp. 0.01 cm

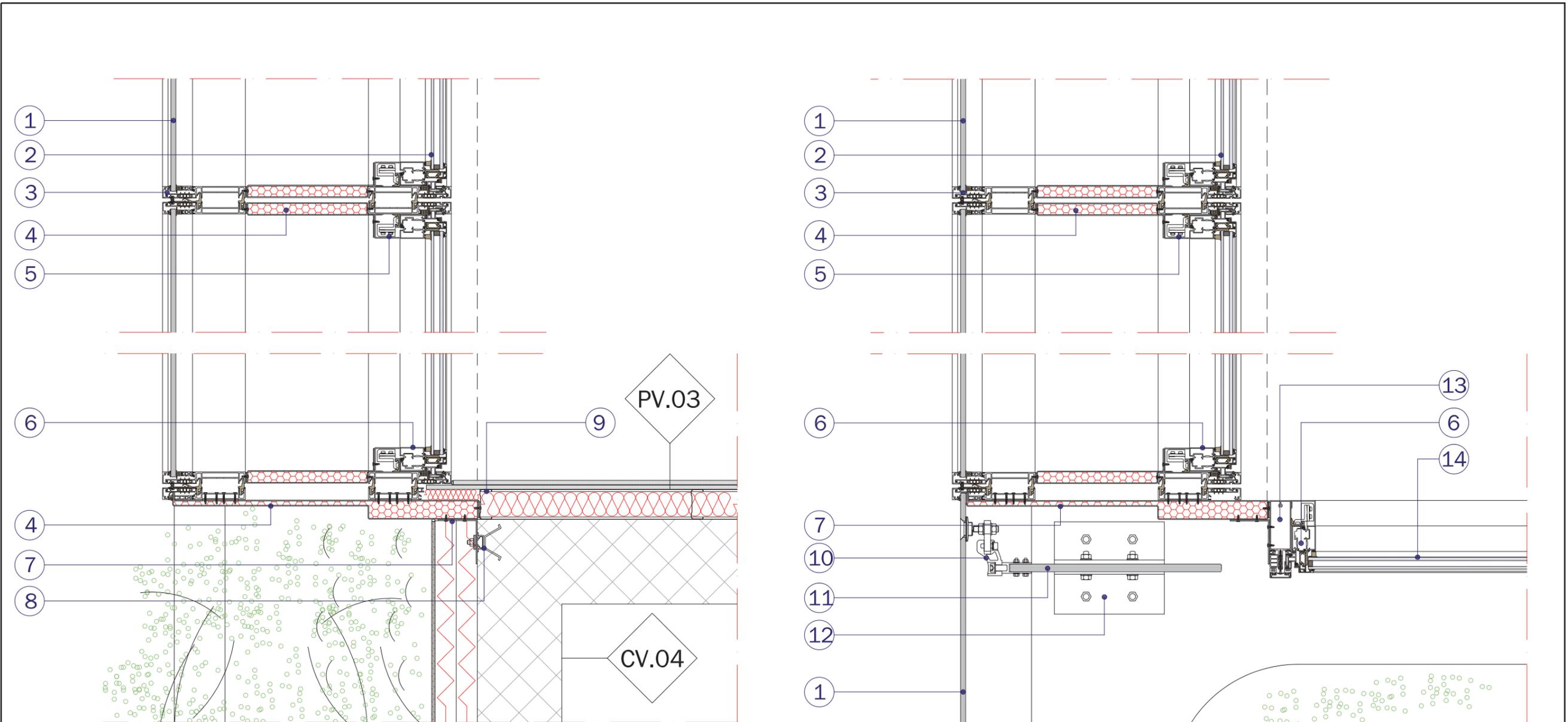


- ① Vetrocamera basso emissiva, sp. 0.6+1.2+0.3 cm
- ② Serramento apribile in alluminio a taglio termico tipo 'Schueco AWS 75'
- ③ Controtelaio: profilo scatolare in alluminio 10x5 cm, sp. 0.2cm, con isolamento in fiocchi di cellulosa
- ④ Zoccolino in legno
- ⑤ Pavimento in truciolato ad alta densità con rivestimento resiliente, sp.4cm
- ⑥ Isolamento in vetro cellulare, sp. 8 cm
- ⑦ Soletta in c.a., sp. 35 cm
- ⑧ Intonaco di calce e cemento, sp. 1cm
- ⑨ Davanzale in profilo d'alluminio, sp. 0,1cm
- ⑩ Finitura in lastra di pietra ricostruita, sp. 2 cm
- ⑪ Malta cementizia, sp. 2cm
- ⑫ Aggancio metallico per sostegno rivestimento esterno.
- ⑬ Profilo a T in alluminio per sostegno rivestimento esterno
- ⑭ Rivestimento esterno in doghe di bamboo pressato, sp. 6cm
- ⑮ Strato di separazione in geotessuto
- ⑯ Ghiaia di drenaggio, sp. minimo 12 cm
- ⑰ Massetto in CLS alleggerito con pendenza 5°, sp. minimo 7 cm



- ① Guarnizione in gomma per sovrapposizione lamelle
- ② Lamella frangisole in vetro stratificato ultrachiaro antiriflesso, sp. 1cm
- ③ Supporto verticale per sistema di oscuramento esterno.
- ④ Profilo a T in acciaio 20x20cm, sp. 1cm
- ⑤ Fazzoletto a L in acciaio con bullonatura, sp. 1cm
- ⑥ Scossalina in alluminio, sp. 0.1cm
- ⑦ Muro contenitivo in c.a., sp. 20cm
- ⑧ Intonaco di calce e cemento, sp. 1cm
- ⑨ Sistema di fissaggio in acciaio ad annegamento tipo 'Halfen HTA'
- ⑩ Montante di controvento in vetro stratificato, sp. 1.5cm





- ① Vetro stratificato ultrachiaro antiriflesso, sp. 1cm
- ② Vetrocamera basso emissiva, sp. 0,3+1,2+0,6 cm
- ③ Sistema di facciata unitaria tipo 'Schueco Unitised System' in alluminio
- ④ Profili in alluminio pressopiegato sp. 0,1cm con interposto isolante in vetro cellulare
- ⑤ Telaio fisso per serramento apribile in alluminio a taglio termico tipo 'Schueco'
- ⑥ Serramento apribile in alluminio a taglio termico tipo 'Schueco'
- ⑦ Profilo montante a L in acciaio, sp. 0,3cm
- ⑧ Sistema di fissaggio in acciaio ad annegamento tipo 'Halfen HTA'
- ⑨ Profilo montante a C in alluminio tipo 'Knauf'
- ⑩ Sistema di facciata continua puntuale a 'spider'

- ⑪ Montante di controvento in vetro stratificato, sp. 1.5cm
- ⑫ Fazzoletto a L in acciaio con bullonatura, sp. 1cm
- ⑬ Sistema di facciata strutturale tipo 'Schueco' in alluminio
- ⑭ Vetrocamera ultrachiaro, sp. 0,3+1,2+0,6 cm

CAPITOLO 07

- Il Progetto Impiantistico -

7.1 Premessa

Gli edifici hanno anch'essi bisogno di nutrimento in termini di energia, pur non essendo esseri viventi, per permettere lo svolgimento di tutte le attività di cui gli utenti hanno bisogno.

Ed ecco che il confronto con la natura è immediato: il nostro edificio come un albero vivente radicato nel cemento di Bruxelles.

Le radici sono costituite da una sonda geotermica che scambia calore con il terreno e produce l'acqua necessaria per il rinfrescamento/riscaldamento del piano uffici.

La chioma si concretizza in un involucro vetrato particolarmente prestazionale che limita l'entrata di calore negli uffici ma permette la massima trasparenza alla luce solare.

E così come l'albero a partire dalla foglia dà il via al processo di fotosintesi clorofilliana, sull'involucro composto da moduli di facciata doppia, in maniera puntuale sono disposte serre per produzione di calore gratuito.

Il nostro albero di cristallo segue il susseguirsi delle stagioni passando dai colori accesi dell'estate ai toni meno vivi dell'autunno tramite sistemi di oscuramento: tende e frangisole, e vegetazione che durante la stagione estiva permettono di ridurre il fabbisogno di energia.

Ancora sulla chioma: il raffrescamento degli uffici avviene tramite l'utilizzo della tecnologia TABS, tutti immersi nello strato strutturale che tramite l'utilizzo della massa determinano la temperatura interna.

Il mezzo preferenziale di riscaldamento e raffrescamento è l'aria, proprio come la brezza che passa tra le fronde

Nel nostro caso l'energia solare non viene sfruttata direttamente: si è preferito sfruttare l'energia eolica tramite un sistema di microelico in copertura.

E poi verde, verde ovunque: come copertura, come oscuramento e come spazio di ristoro.

Un albero che affonda le sue radici nel terreno e si spinge verso il cielo per una sostenibilità fatta di energia, ma anche di verde luce e acqua.

7.2 Riferimenti normativi

UNI EN 1264:1999 Riscaldamento a pavimento. Impianti e componenti

UNI EN 12831:2006 Impianti di riscaldamento negli edifici - Metodo di calcolo del carico termico di progetto

UNI 10339 : 1995 Impianti aerulici al fine di benessere. Generalità classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d'offerta, l'offerta, l'ordine e la fornitura

UNI 11300 1:2008 2:2008 3:2008 Prestazioni energetiche degli edifici

UNI EN 15377-1:2008 Impianti di riscaldamento negli edifici - Progettazione degli impianti radianti di riscaldamento e raffrescamento, alimentati ad acqua integrati in pavimenti, pareti e soffitti - Parte 1: Determinazione della potenza termica di progetto per il riscaldamento e il raffrescamento

7.3 Il sistema impiantistico

Se dal punto di vista architettonico/funzionale si ha la sovrapposizione di due edifici, questa sovrapposizione si ha anche a livello impiantistico.

Nel seguente capitolo si studieranno unicamente gli impianti di climatizzazione ignorando impianto elettrico, idraulico etc etc.

come si puo vedere nella tabella sottostante le esigenze legate alle due differenti funzioni necessitano di essere trattate di essere trattate autonomamente nella loro specificità: gli impianti di albergo e uffici saranno quindi completamente autonomi.

*Tabella 07.01
Caratteristiche preferenziali degli ambienti per utenze civili. Caratteristiche principali per le tipologie di locali presenti*

Caratteristiche preferenziali degli ambienti per utenze civili			
Caratteristiche	Ristoranti	Alberghi	Grandi Uffici
Silenziosità	**	***	**
Regolazione individuale della temperatura o di zona	*	***	**
Controllo dell'umidità relativa	***	**	***
Controllo della qualità dell'aria ambiente (IAQ)	***	***	***
Flessibilità per future modifiche	***	**	***
Uniformità di temperatura	***	**	***

Caratteristica peculiare dell'intero edificio sono le elevate prestazioni dell'involucro, nonostante sia in gran parte vetrato. La scelta dei serramenti e dei vetri (differenti per esposizione e esigenze legate alla funzione) ha portato a dei disperdimenti molto ridotti rispetto all'edilizia convenzionale.

In edifici con queste caratteristiche i maggiori disperdimenti avvengono a causa della ventilazione. È quindi evidente come il controllo dei ricambi d'aria e della ventilazione in generale debba essere una dei punti focali della nostra analisi. Una delle condizioni principali per la scelta della tipologia degli impianti è stato quello dell'efficienza e del minor utilizzo possibile di elettricità e produzione di CO2.

Le unità esterne modulano il proprio regime di lavoro in funzione delle richieste L'aria primaria defluisce dagli ambienti climatizzati, per mezzo di canali afonizzati, ad aree comuni (generalmente corridoi).

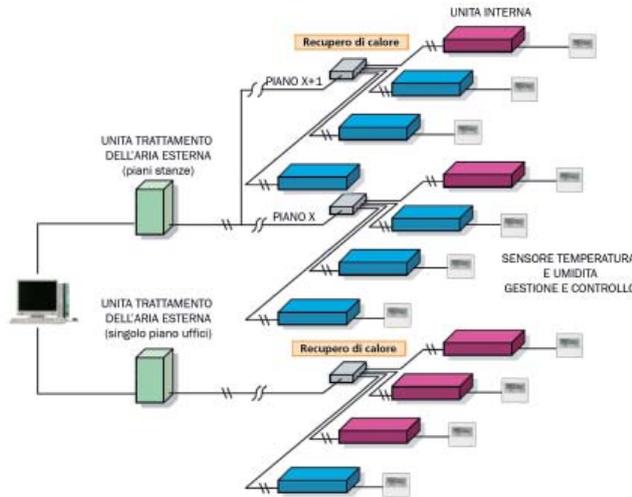
Per gli impianti di aerazione è previsto un sistema di supervisione integrato, composto da una famiglia di componenti hardware e moduli software che, insieme, costituiscono un sistema integrato di controllori, sensori, attuatori e dispositivi di interfaccia operatore. Tali sistemi consentono la supervisione, il controllo e la gestione degli impianti tecnologici di climatizzazione, ventilazione e riscaldamento.

I sistemi hanno la capacità di integrare le diverse funzioni necessarie per la gestione dell'edificio, semplificando così il lavoro degli operatori per garantire il comfort ambientale.

Sono previsti punti di controllo per ogni piano (concentratori) per la gestione delle unità ambiente. Ciascuna unità funziona in modo indipendente, eseguendo in modo autonomo i controlli specifici e la gestione degli allarmi. Il guasto di un singolo componente o di una connessione sulla rete non interrompe l'esecuzione

ne delle funzioni di controllo sulle altre apparecchiature.

Delle sottostazioni, poste in appositi quadri elettrici posizionati nell'area, effettuano il controllo e la gestione dei componenti e dei parametri dell'impianto.



07.01
Schema semplificato
funzionamento im-
pianto generale

Il sistema di supervisione consente, in sintesi, la gestione dei parametri controllati (temperature, orari ecc.) da un punto presidiato locale e/o remoto e da ogni postazione operativa (personal computer) di qualsiasi operatore, previo inserimento di una password.

L'interfaccia tra l'operatore e gli impianti supervisionati è quindi un Personal Computer che permette le funzioni di comando, la gestione degli allarmi, il controllo globale della rete e l'analisi ed elaborazione dei dati.

Come si può vedere nella sezione, per funzioni all'interno e per complessità degli edifici a torre, vi sono differenti locali adibiti a contenere gli impianti.

LOCALI TECNICI COPERTURA:

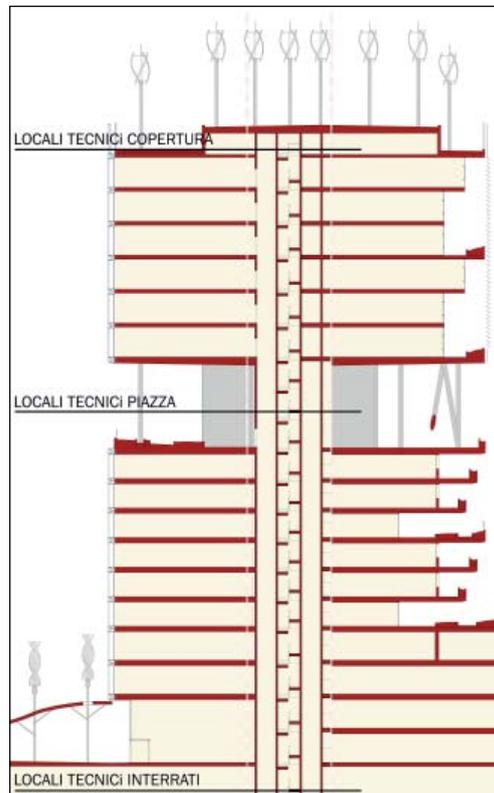
- UTA uffici
- Batterie accumulo prodotto tramite pale eoliche

LOCALI TECNICI PIAZZA

- UTA hotel
- Generatori di emergenza uffici

LOCALI TECNICI INTERRATI

- Vasche recupero acque piovane
- Accumulatore per il raffrescamento naturale
- Caldaia a condensazione
- Accumulatore di calore
- Pompe di calore
- Pompe per l'acqua
- Generatori di emergenza hotel



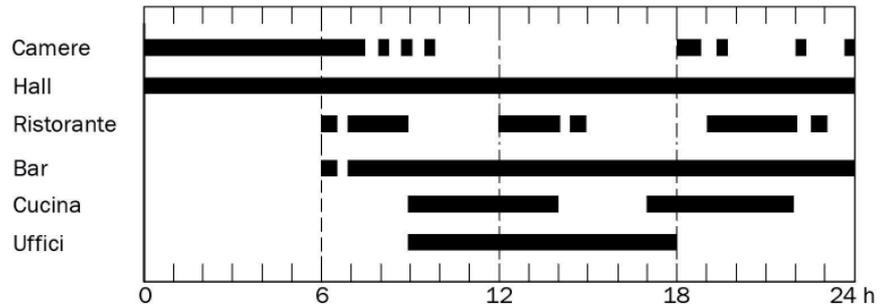
07.02
Sezione con indicazio-
ne locali impianti

7.4 Tipologia impiantistica hotel

L' "organismo" hotel dal punto di vista funzionale e impiantistico è molto complesso, al suo interno coesistono differenti tipologie di locali che necessitano adeguati e mirati trattamenti.

A differenziarli non è unicamente la funzione al loro interno, ma anche il tempo in cui esso viene utilizzato.

Tabella 07.02
Tabella con occupazione dei locali nelle differenti ore della giornata



La configurazione tradizionale si compone di tre aree distinte dal punto di vista costruttivo, funzionale e impiantistico:

- La zona camere
- Le aree comuni
- I locali di servizio

Per le differenti esigenze e carichi verranno analizzati questi ambienti in modo distinto per descrivere meglio le esigenze e le soluzioni scelte.

In termini generali per limitare i consumi energetici, l'impianto deve avere le seguenti caratteristiche:

- Modulazione del funzionamento degli impianti in funzione dell'occupazione variabile nel tempo e nello spazio
- Regolazione individuale della temperatura ambiente all'interno di un intervallo limitato
- Impiego di sistemi di recupero energetico

L'Hotel è dotato di un impianto automatizzato e informatizzato che controlla, per ogni ambiente, i parametri di erogazione di riscaldamento e raffreddamento, e dei relativi consumi elettrici.

I sistemi oggi in uso sono quelli integrati che consentono una gestione completa e automatizzata dell'albergo per cui oggi un sistema completo, fra tutte le varie e molteplici funzioni che svolge, consente anche di:

- Modificare dalla reception la temperatura di ogni singola camera o di gruppi prescelti;
- Definire i livelli di temperatura a seconda dello stato di occupazione della camera stessa programmandoli in funzione dell'arrivo dell'ospite
- Conoscere in ogni istante lo stato occupazionale della camera
- Disabilitare tutti i carichi elettrici non preferenziali a camera vuota
- Essere informato e registrare ogni operazione di accesso identificando chi è entrato, quando e a quale tipologia di utenza appartiene
- Ricevere un segnale di allarme per ogni tentativo di effrazione o accesso non autorizzato
- Inviare messaggi sul televisore di camera sia al cliente (messaggi di benvenuto, conto in camera) sia al personale di servizio

- Gestire qualsiasi tipologia di allarme proveniente dalle camere, dalle aree comuni o dalle centrali inviando i segnali d'allarme, oltre che ai luoghi deputati al controllo, anche alla reception
- Inviare fuori porta le richieste di "Non disturbare" "chiamata cameriera" o "allarme bagno" con ripetizione nell'ufficio della cameriera di piano e alla reception
- Permette l'utilizzo della tessera magnetica per ottenere i vari servizi offerti dall'hotel con addebito automatico sul conto
- Ottimizzare i consumi energetici legati alla produzione ed erogazione dei fluidi primari

L'aerazione sarà di tipo meccanizzato: l'immissione avverrà tramite apparecchi a soffitto di diverse tipologie in base alle esigenze dell'ambiente in analisi.

In linea generale verranno immessi 40 m³/h per persona nei locali di utilizzo continuato e 1,3 m³/h/m² nei locali di breve utilizzo (servizi, corridoi..).

L'impianto di trattamento dell'area sarà posizionato nel piano piazza.

L'immissione dell'area avverrà tramite griglie a ovest a quota 3 metri mentre l'aria di estrazione verrà espulsa a est a quota 4 metri: in questo modo le correnti generate da estrazione e espulsione non disturberanno i fruitori della piazza.

Le canalizzazioni passeranno nel vano adibito agli impianti adiacente al nucleo centrale.

Ogni singolo piano avrà un recuperatore di calore sensibile: effettivamente questo tipo di tecnologia è meno prestazionale rispetto ai recuperatori entalpici di nuova generazione che possono arrivare ad un'efficienza di recupero di calore del 70 % ma, in Italia, i recuperatori di calore sia sensibile che latente non possono essere utilizzati nei locali con bagni/cucine etc.

Non conoscendo la normativa belga a riguardo si applicheranno le restrizioni italiane.

7.4.1 La Hall

Nella hall il cliente ha il primo contatto con la qualità del servizio offerto dall'albergo. Alla reception avviene rilascio della tessera transponder. Con questa tessera l'ospite potrà accedere alla sua camera e alle altre aree riservate a sua disposizione, oltre a fruire di servizi esclusivi.

Durante il giorno la hall è illuminata dalla luce naturale integrata automaticamente, quando e dove necessario, dall'illuminazione artificiale.

La sera l'illuminazione è gestita tramite gli scenari, che controllano le varie fonti luminose.

Tutte le fonti luminose possono essere comandate anche manualmente dalla reception.

L'impianto di climatizzazione garantisce automaticamente il massimo comfort nelle fasce orarie di presenza degli ospiti, mantenendo una temperatura a basso consumo energetico negli altri periodi della giornata. Se necessario, la temperatura dell'ambiente può essere variata manualmente impostandola sul termostato locale o attivando una diversa modalità di funzionamento.

Nelle ore notturne gli accessi vengono chiusi e video sorvegliati, lasciando al personale della reception la facoltà di aprire a distanza l'ingresso quando necessario.

Tabella 07.03
Areezione igienica Hall

Categoria	V _{aria} Heating	V _{aria} Cooling	Q _{op} [10 ⁻³ m ³ /s per persona]	Ind Aff	Aff	V ambiente	M ³ aria
Ingresso Hotel	0,1	0,15	11	0,2	36	756	1425

S ambiente = 180 mq
H ambiente = 6 m
Orientamento =nord

Tabella 07.04
Condizioni interne della hall ed esterne (Temperatura, umidità)

Periodo	T. esterna [°C]	U. esterna [g/kg]	T. interna [°C]	U. interna %	Carico sensibile [W]	Aria esterna [m ³ /h]
Estate	32	12,3	26	40	1400 + sole	1400
Inverno	-8	3	20	30	49000	1400

L'impianto scelto è un tutta aria con parziale ricircolo e recuperatore di calore entalpico ad alte prestazioni.

La portata d'aria esterna deve essere modificata in funzione dell'effettivo affollamento ricorrendo a moderni sistemi di rilievo della contaminazione ambientale (qualità dell'aria interna), in funzione delle persone effettivamente presenti. L'immissione dell'aria deve essere ben studiata per evitare correnti d'aria o zone di ristagno.

Anche le griglie di ripresa devono essere dislocate con attenzione sempre al fine di evitare correnti d'aria fastidiose alle persone.

Sono stati previsti punti di immissione dell'aria lungo le vetrate per compensare subito i carichi della zona perimetrale e creare una cortina di aria molto utile per mitigare gli effetti della presenza del vetro.

7.4.2 Le stanze

Le camere, accoglienti e confortevoli, sono gestite da schede magnetiche per ottimizzare i consumi.

Subito dopo essere entrati, inserendo nella tasca porta trasponder la tessera rilasciata al momento del check-in, viene attivata l'illuminazione, l'impianto di climatizzazione viene impostato su "comfort" e in reception appare la segnalazione di stanza occupata. All'uscita, ritirando la tessera si spegneranno tutte le luci e l'impianto di climatizzazione riprenderà a funzionare in modalità economia.

La temperatura dell'ambiente può essere regolata agendo sul termostato, il cui display può visualizzare anche i messaggi inviati dalla reception.

Il display inoltre ha anche la funzione di contatore: al cliente è garantito un comfort estivo di 26° C e UR 50% e 22° C e UR 45% in inverno.

Se l'ospite desidera modificare queste temperature verrà quantificato sul display l'utilizzo ulteriore di energia e verrà accreditato direttamente sul conto della stanza.

Il prezzo dell'energia in eccesso sarà nettamente inferiore al prezzo di mercato: questa scelta ha più una funzione educativa che una fonte di reddito per l'hotel stesso.

Tanti piccoli accorgimenti rendono l'hotel attento all'ambiente e si vuole che anche chi sceglie di soggiornare qui non rinunci ai confort ma divenga parte di

un meccanismo che lo renda attento a tematiche quali l'energia, l'acqua e la salute.

Sulle aperture verso l'esterno, finestra e portafinestra, sono applicati dei sensori: quando sono aperte e ci sono persone presenti interrompono il funzionamento dell'impianto di climatizzazione, per evitare sprechi, mentre inviano una segnalazione d'allarme in reception se la camera risulta essere disabitata.

Il consumo di acqua nelle camere viene fortemente contenuto grazie all'adozione di filtri che ne riducono il flusso pur garantendo il massimo comfort alla clientela.

Vi sono 3 tipologie differenti di camera:

Camera Confort: 25 metri quadri dotata di tutti i confort richiesti per una stanza di un hotel a 5 stelle

Suite: 45 metri quadri, la miglior vista della città e piccole migliorie che ne fanno il gioiello indiscusso dell'hotel

Apartement long sejour: 65 metri quadri, un concentrato di tecnologia e confort per gli uomini d'affari che non vogliono rinunciare agli agi di un hotel anche nelle lunghe trasferte

Verrà analizzata nel dettaglio la camera confort.

Camera Confort

I principali requisiti che gli impianti devono soddisfare sono :

- Flessibilità di prestazione
- Possibilità di raggiungere e mantenere condizioni microclimatiche di confort di alto livello
- Semplicità e sicurezza di funzionamento
- Silenziosità di funzionamento
- Facilità di manutenzione
- Possibilità di interventi per sostituzioni e modifiche
- Basso costo di realizzazione

La tipologia dell'impianto di climatizzazione per le camere deve tener conto delle esigenze già prima espresse ma anche della necessità che l'impianto possa e debba essere usato dal cliente secondo le sue specifiche esigenze.

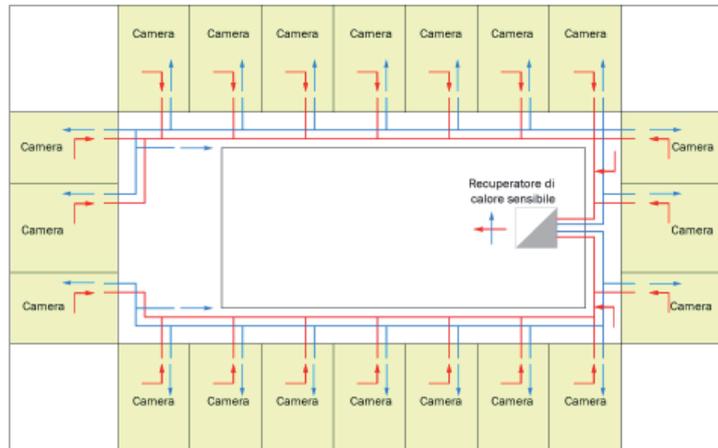
Negli impianti misti con ventilconvettori a 4 tubi e aria primaria è centralizzato il trattamento dell'aria esterna così da soddisfare la qualità dell'aria ambiente e le condizioni di umidità relativa.

I ventilconvettori hanno solo il compito di riscaldare o raffreddare. Al mobiletto ambiente perciò non viene affidato il compito di controllare l'umidità e cioè il mobiletto in estate non deumidifica (temperatura dell'acqua non inferiore a 11-12 °C) con il vantaggio di evitare lo sporcarsi della batteria di scambio termico, che verrebbe facilmente intasata dalla lanugine impastata sulla batteria bagnata. Poiché d'altra parte ogni ventilconvettore è dotato di commutatore di velocità (fermo + tre velocità) e in ogni stanza è posto un termostato di controllo, l'utente può, a suo piacimento, disporre del sistema.

Il termostato può agire o sulla velocità del ventilatore o sulla portata d'acqua

alla batteria.

07.03
Schema impianto nel piano stanze. Tubazioni immissione e estrazione aria primaria



Il sistema si presta a una gestione economica, in quanto i mobiletti delle camere vuote possono essere fermati, mentre l'aria primaria viene immessa con continuità, conseguendo così un buon livello di qualità dell'aria ambiente (anche l'aspirazione dei servizi funziona sempre).

L'aria deve essere immessa in zone strategiche per evitare correnti di aria moleste sugli ospiti. L'aria esterna viene immessa con la stessa bocchetta attraverso la quale è inviata l'aria trattata dal ventilconvettore.

I pregi e i difetti degli impianti con ventilconvettori più aria primaria e quattro tubi sono i seguenti.

Pregi:

- Massima flessibilità di gestione
- Ottimo controllo della temperatura ambiente sia in estate sia in inverno
- Facile inserimento e mascheramento dei terminali
- Facilità di distribuzione del fluido termovettore (acqua)
- Canali dell'aria con dimensioni contenute
- Centrali di trattamento dimensionate solamente sul fabbisogno d'aria

esterna

- Elevata economia di gestione
- Elevata possibilità di regolazione locale da parte degli utenti
- Possibilità di servire contemporaneamente zone con carichi di segno opposto

Difetti:

- Costo abbastanza elevato
- Modesta filtrazione dell'aria
- Distribuzione dell'aria in ambiente ottimale
- Modesta possibilità di sfruttamento del free-cooling sull'aria
- Poco adatti a edifici che richiedano grossi rinnovi d'aria
- Necessitano di una manutenzione periodica negli ambienti occupati.

La filtrazione dell'aria deve essere fatta impiegando prefiltri F5 e filtri finali F7.

La velocità dell'aria nella zona occupata non deve superare il valore di 0,15 m/s nella fase di riscaldamento e di 0,2 m/s in quella di raffreddamento, con un minimo non inferiore a 0,05 m/s.

Condizioni di progetto

Categoria	V _{aria Heating}	V _{aria Cooling}	Q _{op} [10 ⁻³ m ³ /s per persona]	Aff	V _{ambiente}	m ³ aria
Camere	0,15	0,2	11	2	135	80
Bagno	-	-	estrazione	-	14	80

Tabella 07.05
Areeazione igienica stanze

S stanza 20 mq

S bagno 5 mq

Orientamento Ovest

Aria estratta tramite impianto bagno 6 vol/h

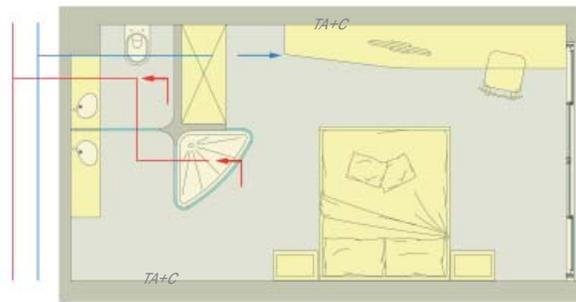
Periodo	T. esterna [°C]	U. esterna [g/kg]	T. interna [°C]	U. interna %	Carico sensibile [W]	Aria esterna [m ³ /h]
Estate	32	12,3	26	50	1194	80
Inverno	-8	3	22	45	-1000	80

Tabella 07.06
Condizioni interne della stanza ed esterne (Temperatura, umidità)

Nell'Annesso n. 01 e 02 si possono vedere le condizioni di confort determinate dalla temperatura e dall'umidità scelte

Allegato 07.01
Allegato 07.02
determinazione condizioni confort interno

TA+C = termostato ambiente + comando ventilconvettore



07.04
Schema impianto stanza confort.

L'immissione dell'aria primaria avviene tramite il ventilconvettore posto al di sopra dell'armadio. La posizione è stata scelta per disturbare il meno possibile il soggiorno del cliente. Vi sono due punti di estrazione.: uno sopra la doccia e uno nel bagno. I volutmi ora aspirati sono leggermente superiori a quelli immessi in modo tale che il bagno sia sempre in depressione rispetto alla stanza

Dimensionamento impianto misto aria-acqua : aria primaria + ventilconvettori

L'aria e l'acqua trattate in apposite centrali sono distribuite con reti di canalizzazioni e, rispettivamente, di tubazioni e sono rese disponibili a idonei terminali installati nei diversi locali.

L'aria primaria, tutta esterna, provvede al rinnovo e alla ventilazione.

Analogamente in inverno nell'aria primaria viene immesso vapor d'acqua in maniera tale da mantenere negli ambienti l'umidità relativa nei limiti di benessere.

Ci riferiamo a 40 mq/h per persona e si considera per una condizione ambiente di 26° C con il 50% u.r., il calore emesso da una persona è 55 W, dall'equazione di equilibrio (impostata per due persone) si ha

$$110 \text{ W} = 1,2 \times 80 / 3,6 \times 2,43 \Delta x$$

Si ricava il Δx (grammi di acqua per chilogrammo di aria secca) e cioè in quanti grammi di vapore l'aria primaria immessa debba essere più secca dell'aria am-

biente per potervi mantenere le desiderate condizioni, dato che solo così essa potrà essere in grado di assorbire l'umidità emessa dalle persone.

$$\Delta x = 1,7 \text{ g/kg}$$

Poiché a 26° col 50% di u.r. corrisponde un valore di umidità assoluta di 10,6 g/kg, gli 80 mq/h di aria primaria da immettere in ambiente devono possedere circa 8,9 g di vapore per kg d'aria.

Ciò significa dover deumidificare l'aria dalle condizioni esterne fino a 12,5.

Nel periodo invernale occorrerà preriscaldare l'aria fino a circa 21°C perché, con un sistema di umidificazione avente una buona efficienza, essa dopo l'umidificazione adiabatica, abbia un contenuto assoluto di umidità pari a quello che si desidera in ambiente. Dopo l'umidificazione l'aria viene post riscaldata fino a una temperatura di un grado superiore a quella ambiente.

Per quanto riguarda l'acqua secondaria, prodotta centralmente e distribuita con circuiti adeguati, essa deve essere raffreddata nel periodo estivo per poter compensare i carichi termici sensibili ma occorre evitare che la sua temperatura sia tanto bassa da provocare condensazione del vapore acqueo contenuto nell'aria ambiente sulla batteria del terminale, allo scopo di evitare lo sporco e l'intasamento della stessa.

Anche quando sia stata presa questa precauzione occorre, comunque, prevedere una rete di scarico della condensa perché, specialmente nella fase di messa a regime dell'impianto, nonostante la temperatura dell'acqua sia di 11-12°C, si può avere condensazione sulle batterie visto che le condizioni termo igrometriche ambientali sono ben lontane da quelle di regime.

L'acqua del circuito dei mobiletti è mantenuta a temperatura costante (11-12°C) in estate, mentre nel periodo invernale la temperatura massima, in corrispondenza della temperatura minima esterna, è sui 40-45°C per ridursi poi gradualmente man mano che la temperatura esterna si innalza.

Ciò viene fatto per far sì che, nel caso di regolazione della temperatura ambiente con termostato on-off che ferma o avvia il ventilatore, non si possono instaurare fenomeni di convezione naturale, con la conseguente vanificazione della regolazione automatica e inutile spreco energetico.

Le portate di acqua refrigerata e di acqua calda si possono calcolare considerando il carico termico sul circuito termico sul circuito secondario e la differenza fra la temperatura del ritorno del secondario e la temperatura dell'acqua primaria.

Condizioni invernali

La zona richiede la stessa portata di ventilazione =

$$M_{ae} = 80 * 1,2 = 96 \text{ kg/h}$$

Le trasformazioni dell'aria primaria, in condizioni di progetto invernale, saranno: un preriscaldamento E-C:

$$q_{E-C} = m_{ae} / 3600 * 1006 * (t_E - t_C) = 96/3600 * 1006 * (-8-21) = -349 \text{ W} = -0,4 \text{ kW}$$

una umidificazione adiabatica C-D ; un post riscaldamento D-I :

$$q_{D-I} = m_{ae} / 3600 * 1006 * (t_D - t_I) = 96/3600 * 1006 * (14-22) = 188 \text{ W} = 0,2 \text{ kW}$$

I trattamenti subiti dall'aria nel periodo invernale possono essere visualizzati nell'allegato 08.03 tramite diagramma psicometrico.

Ai mobiletti ventilconvettori funzionanti con acqua calda (entrante nel ventilconvettore a 45-50 °C e uscente a 40 °C) viene, in questo tipo di impianto, affidato il compito di fornire la potenza termica pari al carico sensibile degli ambienti. Nel caso specifico immettendo aria a 30° nel caso di carico di picco invernale dovremmo immettere 108 kg/h di aria.

Condizioni estive

Le trasformazioni dell'aria, in condizioni di progetto estivo, saranno: un raffreddamento con deumidificazione (come visibile nel diagramma psicometrico) I trattamenti subiti dall'aria nel periodo estivo possono essere visualizzati nell'allegato 08.04 tramite diagramma psicometrico.

Ai mobiletti funzionanti con acqua refrigerate (entrante nel ventilconvettore a una temperatura non inferiore a quella di rugiada del punto caratteristico ambiente; nell'esempio considerato) viene, in questo tipo di impianto, affidato il compito di fornire la potenza frigorifera necessaria per far fronte ai carichi degli ambienti.

Nel caso considerato, essi dovranno essere in grado di compensare il carico massimo dell'ambiente di 1304 W.

Immettendo aria a 16 °C e tenendo conto che unicamente tramite l'aria primaria si asportano 160 W, la portata di aria dei fancoil sarà uguale a 98 kg/h.

*Allegato 07.04
trattamento estivo aria
stanza*

7.4.3 Ristorante/Bar/Cucine

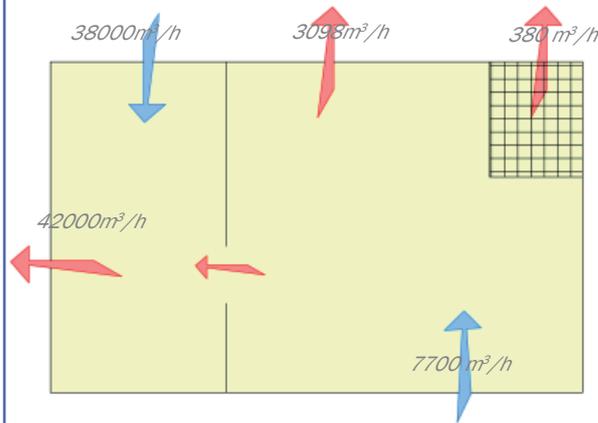
Il piano ristorante è diviso in due zone distinte: la sala da pranzo/bar e la cucina per la preparazione dei cibi.

Tabella 07.07
Superfici e altezze piano ristorante

Locale	Superficie	Altezza	Orientamento prevalente
Cucina	240	2,70	Ovest
Ristorante/Bar	330	3,20	Nord - Est
Bagno	20	2,7	Est

Il sistema di ventilazione che da una miglior combinazione tra confort degli utilizzatori e efficienza dell'impianto è quello ottenuto prevedendo due impianti di ventilazione separati per la sala e la cucina. In questo modo è possibile adattare il trattamento dell'aria alle richieste specifiche dei locali che pertanto risultano indipendenti.

07.05
Schema areazione piano ristorante



Il rapporto tra volumi estratti e volumi immessi è tale da tenere in depressione il bagno e la cucina.

Tabella 07.08
Areazione igienica piano ristorante

Cat	V _{aria heating}	V _{aria cooling}	Q _{op} [10 ⁻³ m ³ /s per persona]	Ind Aff	Aff	V _a	m ³ _{aria}	Filtri
Sale da pranzo	0,1	0,15	10	0,6	140	990	5040	filtrazione con prefiltri (G4) e filtri finali a più alta efficienza (F6)
Cucine	-	-	16,5 [10 ⁻³ m ³ /s per m ²]	-	-	648	38491	filtri G4

I due ambienti verranno analizzati singolarmente.

7.4.4 La cucina

A partire dal layout da noi definito, si è deciso di determinare la portata da estrarre dalle cucine mediante un metodo generico.

In base al numero di pasti serviti contemporaneamente : 20 m³/h/pasto = 2600 m³/h

In base ai ricambi d'aria : 20-30 ricambi d'aria orari = 13000 m³/h

Inoltre da tenere in conto che la cucina deve essere mantenuta in depressione (portata di immissione pari a circa 0,8 volte la portata estratta): 43000 m³/h

Periodo	Zona	T. esterna [°C]	U. esterna [g/kg]	T. interna [°C]	U. interna [g/kg]	Aria esterna [m ³ /h]
Estate	Cucina	32	12,3	28-30	Non controllata	3900
Inverno	Cucina	-8	3	20-23	Non controllata	3900

*Tabella 07.09
Condizioni interne
della cucina ed es-
terne (Temperatura,
umidità)*

L'immissione dell'aria di rinnovo avviene attraverso la cappa di aspirazione. L'aria viene immessa a bassa velocità senza correnti direttamente sopra il posto di lavoro e raffredda la parte superiore del corpo degli addetti che è quella maggiormente esposta allo stress termico sotto forma di calore radiante prodotto dagli apparecchi di cottura.

L'aspirazione dell'aria viziata viene generalmente fatta con cappe: sono state scelte cappe a flusso bilanciato.

Il condizionatore per la cucina deve trattare tutta aria esterna che verrà poi aspirata dai sistemi di estrazione dell'aria viziata (cappe, griglie ecc)

Sono state scelte le cappe a flusso bilanciato o a compensazione nelle quali viene inviata aria (pari al 70% della quantità totale da aspirare), attiva un forte richiamo dei prodotti gassosi emessi con la cottura. Soltanto il rimanente 30% di aria viene richiamata dall'ambiente.

La zona di immissione dell'aria esterna è rivestita con materiale coibente, ignifugo e autoestinguento, per evitare possibile formazione di condensa all'esterno della cappa nel periodo invernale in cui una bassa temperatura potrebbe portare la superficie della cappa a temperatura inferiore al punto di rugiada ambiente.

Le cappe devono essere dotate di filtri antigrasso, facilmente rimovibili per la pulizia, che deve essere periodicamente eseguita per evitare, tra l'altro, pericoli di incendio.

È molto importante prevedere, per una gestione economicamente corretta e funzionale, di poter modificare le portate di immessa ed estratta, in funzione dei periodi di funzionamento della cucina.

7.4.5 Il ristorante

La temperatura dell'ambiente è monitorata tramite differenti termostati, ognuno collegato a uno apparecchi di immissione dell'aria: si ottiene così una climatizzazione a microzone e si può assicurare ai clienti la temperatura a loro più gradita senza necessariamente riscaldare l'intero ambiente.

Durante il giorno l'illuminazione è assicurata dalla luce solare, regolando automaticamente le veneziane come avviene nella hall. Le veneziane possono essere comandate anche manualmente mediante i pulsanti di comando posti accanto alle finestre. La sera l'illuminazione è controllata tramite scenari, per creare velocemente le atmosfere più adatte secondo necessità.

Tabella 07.10
Condizioni interne
della sala ristorante ed
esterne (Temperatura,
umidità)

Periodo	Zona	T. esterna [°C]	U. esterna [g/kg]	T. interna [°C]	U. interna [g/kg]	Carico sensibile [W]	Aria esterna [Kg/h]
Estate	Ristorante	32	12,3	24	10,3	39513	6050
Inverno	ristorante	-8	3	20	4,3	6000	6050

Per la climatizzazione della sala ristorante sono state effettuate alcune considerazioni:

- il carico termico sensibile e latente è elevato
- il rapporto calore sensibile/calore totale è basso e tale da determinare elevati valori di umidità relativa, se non si provvede opportunamente;
- il carico termico è estremamente variabile, con un forte picco nei due periodi della giornata durante i quali si consumano i pasti;
- possibili disuniformi condizioni di carico (e quindi di carico se non esiste zonizzazione) possono verificarsi per le aree adiacenti alle pareti esterne (spesso vetrate) o alle zone della cucina
- non devono essere trascurate le infiltrazioni di aria dall'esterno, rese possibili dalle frequenti aperture delle porte di ingresso e dal richiamo che viene effettuato dalle zone in depressione

L'impianto tipico per i ristoranti è il tutt'aria, trattata centralmente, distribuita a bassa velocità e immessa in ambiente con diffusori a soffitto; questi sono senz'altro da preferirsi alle bocchette, viste le portate d'aria normalmente in gioco.

Il sistema è stato previsto per poter funzionare con tutta aria esterna in modo da effettuare il free-cooling nelle mezze stagioni e comunque quando le condizioni entalpiche lo consentono.

Per il controllo della temperatura e dell'umidità, nel periodo estivo e medio stagionale, è necessario ricorrere al postriscaldamento (visto il basso valore che assume il fattore termico); questo può essere ottenuto con batterie alimentate con acqua tiepida proveniente dai condensatori dei gruppi frigoriferi.

La regolazione automatica oltre a provvedere al controllo energeticamente corretto del rapporto aria esterna/aria di ricircolo deve consentire tramite sonde di temperatura e umidità di regolare questi due parametri agendo sulle batterie di raffreddamento e deumidificazione e su quella di postriscaldamento.

L'istallazione viene completata da ventilconvettori disposti lungo la zona perimetrale prospiciente l'esterno, così da compensare il carico di questa zona, evitando altresì la formazione di condensa sulle vetrate, nel periodo invernale.

Per quanto riguarda la ripresa dell'aria viziata, oltre quella aspirata attraverso

la cucina, è necessario che vengano disposte griglie a soffitto opportunamente dislocate per portar via l'aria calda e gli odori che tendono a ristagnare a soffitto.

L'impianto scelto per il ristorante come detto precedentemente è a tutt'aria e permette non solo il ricambio dell'aria nei locali come richiesto dalla UNI 10339, ma consente anche il condizionamento estivo ed il riscaldamento invernale.

Esso è provvisto inoltre di un recuperatore di calore rotativo che permette lo scambio di calore fra aria espulsa e le immissioni dall'esterno.

Il dimensionamento della UTA viene fatto basandosi sul fabbisogno estivo, poiché come detto precedentemente i carichi estivi sono più gravosi rispetto a quelli invernali. Successivamente si procede alla verifica invernale, considerando la temperatura di immissione ricavata considerando le portate in gioco derivate dal calcolo estivo

Dimensionamento estivo UTA

Come precedentemente detto, dalla uni 10339 si prendono l'affollamento e le immissioni di aria esterna dei locali considerati (in questi locali infatti non è prevista estrazione)

Dall'affollamento si ricava il numero di utenti per locale

$$n = n_s * S = 140$$

Le immissioni di aria dall'esterno risultano 5040 m³/h

Si sottolinea che tali immissioni devono almeno essere pari a 1 vol/h in modo tale da scambiare tutta l'aria del locale in 1 ora.

Si calcolano quindi le immissioni totali necessarie per asportare tutto il calore sensibile

$$Q_{tot} = Q_s / (0,34 * \Delta T) = 6450 \text{ mc/h con aria di immissione a } 13^\circ \text{ C}$$

$$Q_s \text{ è il calore sensibile} = 28513 \text{ W}$$

0,34 è la costante che esprime il prodotto del calore specifico dell'aria per la sua densità (Wh/mc °C)

Per differenza con l'aria esterna da norma si calcola l'aria di ricircolo necessaria.

$$Q_{ric} = 4278 \text{ mc/h}$$

Dell'aria espulsa dagli ambienti una parte andrà a ricircolo, mentre l'aria restante verrà espulsa all'esterno e scambierà calore con l'aria immessa dall'esterno all'interno del recuperatore di calore.

In base alle masse in gioco si ricava la percentuale di massa gestibile (immissione da esterno/aria esterna espulsa a recupero).

Si calcolano quindi la temperatura della miscela T_m che l'aria proveniente dal recuperatore raggiunge miscelandosi con l'aria di ricircolo:

$$T_m [^\circ \text{C}] = (T_r Q_{ae} + T_i Q_{ar}) / (Q_o + Q_{ar}) = 29^\circ$$

$$X_m = 11 \text{ g/kg}$$

Svolte le considerazioni del caso, si è tracciato sul diagramma il trattamento psicometrico considerato.

Il carico termico che agisce su un ambiente potrà essere in parte sensibile e in parte latente. Si definisce fattore di carico il rapporto tra il carico sensibile e quello totale e nel caso di questo locale è uguale a 0,7

Il fattore di carico è un numero che fornisce indicazioni importantissime circa

*Allegato 07.05
Grafico psicometrico
comportamento estivo
per sala ristorante*

la qualità del carico termico che agisce sul locale da condizionare: un fattore di carico $F_c = 1$ indica un locale sul quale agisce solo carico sensibile.

Noto il fattore di carico si può tracciare sul diagramma psicometrico la retta ambiente: essa è la retta passante per il punto rappresentativo delle condizioni che si vogliono mantenere in ambiente ed avente pendenza data dal fattore di carico.

La retta ambiente sarà il luogo di tutti i punti che rappresentano le condizioni psicometriche richieste all'aria da immettere nel locale da climatizzare, per mantenerne le condizioni volute.

Per ridurre la portata d'aria è sufficiente immettere aria più fredda: non è però il caso di scendere sotto i 13°C , ciò potrebbe arrecare fastidio agli occupanti che venissero a trovare in prossimità delle bocchette d'immissione.

Verifica funzionamento invernale

Occorre in primis calcolare la temperatura d'immissione dell'aria all'interno dell'ambiente.

$$T_{imm} = T_i + \Delta T = 23$$

Dove

$$\Delta T = F / (m \cdot 0,34)$$

F il fabbisogno termico invernale [W]

M la portata massima derivante dai calcoli del dimensionamento estivo della macchina

0,34 è la costante che esprime il prodotto del calore specifico dell'aria per la sua densità

Il procedimento è poi analogo al precedente.

$$Q_{tot} = Q_s / (0,34 \cdot \Delta T) = 5882 \text{ mc/h con aria di immissione a } 23^\circ\text{C}$$

Q_s è il calore sensibile in $W = 6000 \text{ W}$

0,34 è la costante che esprime il prodotto del calore specifico dell'aria per la sua densità ($\text{Wh}/\text{mc}^\circ\text{C}$)

Per differenza con l'aria esterna da norma si calcola l'aria di ricircolo necessaria.

$$Q_{ric} = 842 \text{ mc/h}$$

Dell'aria espulsa dagli ambienti una parte andrà a ricircolo, mentre l'aria restante verrà espulsa all'esterno e scambierà calore con l'aria immessa dall'esterno all'interno del recuperatore di calore.

In base alle masse in gioco si ricava la percentuale di massa gestibile (immissione da esterno/aria esterna espulsa a recupero).

Si calcolano quindi la temperatura della miscela T_m che l'aria proveniente dal recuperatore raggiunge miscelandosi con l'aria di ricircolo:

$$T_m [^\circ\text{C}] = (T_r Q_{ae} + T_i Q_{ar}) / (Q_0 + Q_{ar}) = -4^\circ$$

$$X_m = 3 \text{ g/kg}$$

*Allegato 07.06
Grafico psicometrico
comportamento in-
vernale per sala risto-
rante*

7.5 Tipologia impiantistica uffici

Nel nostro specifico caso si tratta di un edificio “in bianco” senza destinazione d’uso predefinita, quindi la progettazione impiantistica si presenta ancora più difficile.

I principali requisiti degli impianti devono essere: flessibilità di configurazione, flessibilità di prestazione, semplicità di impianto onde conseguire ridotti costi di investimento; elevato benessere termo igrometrico; buona qualità dell’aria interna; facilità di manutenzione; ridotto consumo energetico, ingombri contenuti in ambiente e nei locali tecnici.

Uno dei maggiori problemi nella progettazione dell’impianto per gli uffici è la mancanza di elementi conoscitivi sufficienti a definire con esattezza la ripartizione degli spazi interni.

La flessibilità di configurazione è quella che consente agli impianti di assorbire gli spostamenti e le variazioni che avvengono quasi giornalmente in un grande ufficio.

La flessibilità di configurazione è ottenuta mediante l’utilizzo di controsoffitti nella zona del corridoio, pavimenti sopraelevati e la suddivisione degli impianti in zone indipendenti di 80-100 mq.

Per garantire la flessibilità di configurazione si sono impiegate unità di trattamento dell’aria dedicate per ogni piano.

Esse trattano una miscela di aria recuperata e di aria primaria e provvedono a neutralizzare i carichi sensibili dell’ambiente mediante una batteria di acqua refrigerata.

L’aria esterna di rinnovo viene aspirata da griglie di presa poste in copertura e poi si è ipotizzata una rete di canali di distribuzione.

Per flessibilità di prestazione si intende la capacità che gli impianti devono possedere per adeguare le loro prestazioni alle variabili esigenze richieste durante la vita di un edificio.

La tipologia impiantistica scelta per gli uffici è:

Un tutta aria doppio canale + TABS.

Il funzionamento dei TABS (Thermo Active Building System) è di raffreddare e riscaldare l’edificio utilizzando dei tubi inseriti nella massa termica dell’edificio (nel nostro caso le solette gettate in opera).

Sfruttando la massa e le estese superfici questa tecnologia permette di utilizzare temperature dell’acqua molto vicine alle temperature ambientali.

Questo rende possibile l’utilizzo di innumerevoli fonti di riscaldamento e raffreddamento che molto spesso sono combinate con fonti di energia rinnovabile.

Per quanto riguarda l’impianto tutt’aria: la distribuzione dell’aria è canalizzata e le unità interne sono installate a ridosso del corridoio , che quindi risulterà controsoffittato.

Ambiente	S[mq]	h [m]
Corridoio	110	2,70
Open space	450	3,30
I rimanenti mq sono occupati da: locali tecnici, servizi igienici, spazi di distribuzione verticale e archivi		

Tabella 07.11
Superfici e altezze piano tipo uffici

I condotti di mandata dell'aria primaria e dell'aria di ripresa corrono per l'intera lunghezza dell'edificio e sono alimentati da un montante verticale in posizione baricentrica nell'edificio stesso, collegato alle unità di trattamento dell'aria in copertura.

I 450 mq attrezzati con i TABS saranno suddivisi in 5 zone autonome di all'incira 100 mq ciascuna, in modo tale da poter far funzionare le diverse zone a temperature differenti e anche in momenti differenti della giornata.

Tabella 07.12
Superfici aree autonome in impianto TABS piano tipo

Denominazione zona	Funzione contenuta	Superficie	Orientamento
1	Uffici singoli/open space	90	Nord - Ovest
2	Uffici singoli/open space	90	Nord - Est
3	Uffici singoli/open space	130	Est
4	Uffici singoli/open space	100	Sud
5	Zona relax	40	Ovest

Data la scelta impiantistica che è stata fatta (TABS) lo spazio non potrà essere controsoffittato e quindi plafoniere di illuminazione, canali e terminali di mandata e ripresa dell'aria, tubazioni degli impianti sprinkler, rilevatori antincendio saranno a vista (tranne nelle zone dell'anello centrale o sopra le postazioni di lavoro).

I pavimenti sopraelevati invece consentono l'alloggiamento di tutta la parte impiantistica (energia elettrica, telefono, rete informatica) in caso di cambiamento del layout.

07.06
Schema impiantistico per TABS piano uffici



Le aree numerate sono le zone definite autonome nella Tabella 08.10.
L'area corridoio è rappresentata in celestino ed è controsoffittata e al l'interno del controsoffitto sono installati gli impianti di areazione

Condizioni di progetto

Tabella 07.13
Condizioni interne degli uffici ed esterne (Temperatura, umidità)

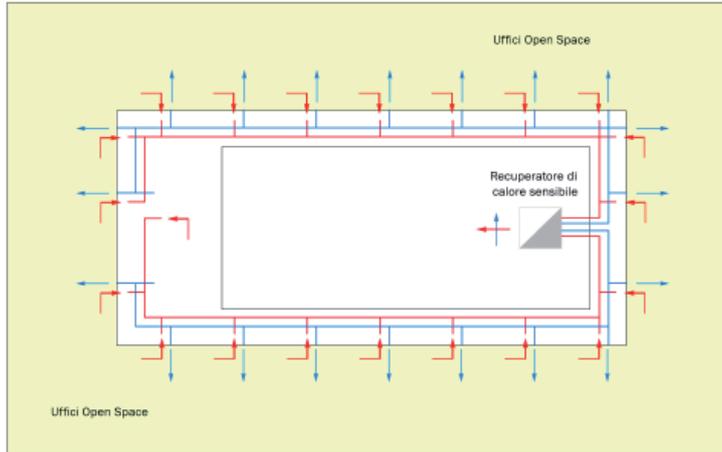
Periodo	Zona	T. esterna [°C]	U. esterna [g/kg]	T. interna [°C]	U. interna [g/kg]	Carico sensibile [W]	Aria esterna [Kg/h]
Estate	Uffici	32	12,3	24	50%	62380*	3250
Inverno	Uffici	-8	3	21	40%	14000*	3250

*il carico inserito è il carico di picco, ovvero il valore che verrebbe utilizzato per dimensionare un qualsiasi impianto. Nei sistemi ad attivazione della massa però non è questo il valore da utilizzare.

Nel periodo estivo la differenza di temperatura tra aria esterna e interna non deve superare i 7 gradi.

Durante l'inverno nei periodi di non occupazione la temperatura può essere mantenuta tra 10 e 16 °C.

Nel capitolo 8.6 verranno dimensionati i TABS e quindi l'impianto ad aria che funzionerà quasi unicamente per i ricambi di aria igienica.



07.07
Schema impiantistico
tutt'aria piano uffici

DIMENSIONAMENTO ESTIVO UTA

Per determinare i volumi di aria necessari per il ricambio igienico si fa riferimento alla norma UNI 10339.

Le immissioni di aria dall'esterno risultano 2708 mc/h

Si calcolano quindi le immissioni totali necessarie per asportare tutto il calore sensibile

$$Q_{tot} = Q_s / (0,34 * \Delta T) = 9058 \text{ mc/h con aria di immissione a } 15^\circ \text{ C}$$

Q_s è il calore sensibile = 33877 W (per il carico interno fare riferimento ai calcoli del capitolo Fabbisogno energetico)

0,34 è la costante che esprime il prodotto del calore specifico dell'aria per la sua densità (Wh/mc °C)

Per differenza con l'aria esterna da norma si calcola l'aria di ricircolo necessaria.

$$Q_{ric} = 6350 \text{ mc/h}$$

Dell'aria espulsa dagli ambienti una parte andrà a ricircolo, mentre l'aria restante verrà espulsa all'esterno e scambierà calore con l'aria immessa dall'esterno all'interno del recuperatore di calore.

In base alle masse in gioco si ricava la percentuale di massa gestibile (immissione da esterno/aria esterna espulsa a recupero).

Si calcolano quindi la temperatura della miscela T_m che l'aria proveniente dal recuperatore raggiunge miscelandosi con l'aria di ricircolo:

$$T_m [^\circ \text{C}] = (T_r Q_{ae} + T_i Q_{ar}) / (Q_0 + Q_{ar}) = 28^\circ$$

$$X_m = 11 \text{ g/kg}$$

Svolte le considerazioni del caso, si è tracciato sul diagramma il trattamento psicometrico considerato.

Il carico termico che agisce su un ambiente potrà essere in parte sensibile e in parte latente. Si definisce fattore di carico il rapporto tra il carico sensibile e quello totale e nel caso di questo locale è uguale a 0,6

Il fattore di carico è un numero che fornisce indicazioni importantissime circa la qualità del carico termico che agisce sul locale da condizionare: un fattore di carico $F_c = 1$ indica un locale sul quale agisce solo carico sensibile.

Noto il fattore di carico si può tracciare sul diagramma psicometrico la retta ambiente: essa è la retta passante per il punto rappresentativo delle condizioni che si vogliono mantenere in ambiente ed avente pendenza data dal fattore di carico.

La retta ambiente sarà il luogo di tutti i punti che rappresentano le condizioni psicometriche richieste all'aria da immettere nel locale da climatizzare, per mantenervi le condizioni volute.

Per ridurre la portata d'aria è sufficiente immettere aria più fredda: non è però il caso di scendere sotto i 13°C , ciò potrebbe arrecare fastidio agli occupanti che venissero a trovare in prossimità delle bocchette d'immissione.

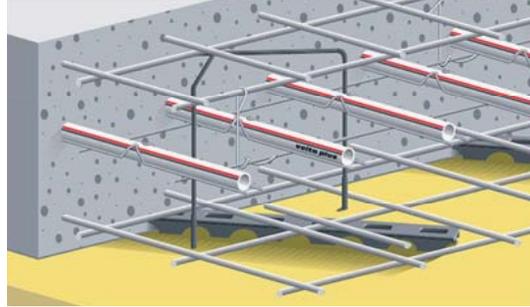
Nel diagramma psicometrico nell'allegato 08.08 si possono vedere i differenti trattamenti subiti dall'aria.

*Allegato 07.07
Grafico psicometrico
comportamento estivo
uffici*

7.6 TABS

7.6.1 Thermo Active Building System

Il Thermo Active Building System è un sistema di raffrescamento e riscaldamento che utilizza come vettore l'acqua e nel quale i tubi sono immersi nel cuore di cemento armato dell'edificio.



07.08
TABS struttura
Fonte: depliant Velta
Contect

Lo scambio di calore avviene

tra l'acqua e il cemento armato,

tra il cemento armato e la superficie della stanza e tra la superficie e la stanza stessa.

I tubi vengono posati tra l'armatura inferiore e quella superiore.

Per le problematiche condizioni di posa in cantiere, in particolare durante la costruzione grezza, nonché la necessità di garantire una durata praticamente illimitata dei tubi, si esigono dei materiali di notevole robustezza. Normalmente vengono utilizzati tubi PE-Xa. In tali tubi gli alti valori di resistenza, di resilienza e di allungamento a rottura del materiale di base vengono ulteriormente accresciuti dal processo di reticolazione. Ne deriva soprattutto una elevata indeformabilità, resistenza alla fessurazione ed all'invecchiamento termico, nonché una straordinaria elasticità.

Una delle proprietà principali dei TABS è la capacità di diluire nel tempo il carico di picco (peak-shaving).

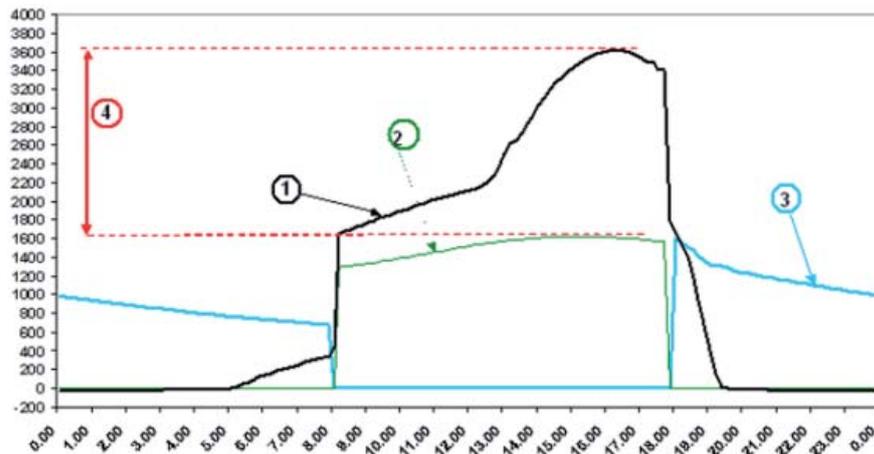


Grafico 07.01
Peak-shaving
Fonte prEN 15377

Key

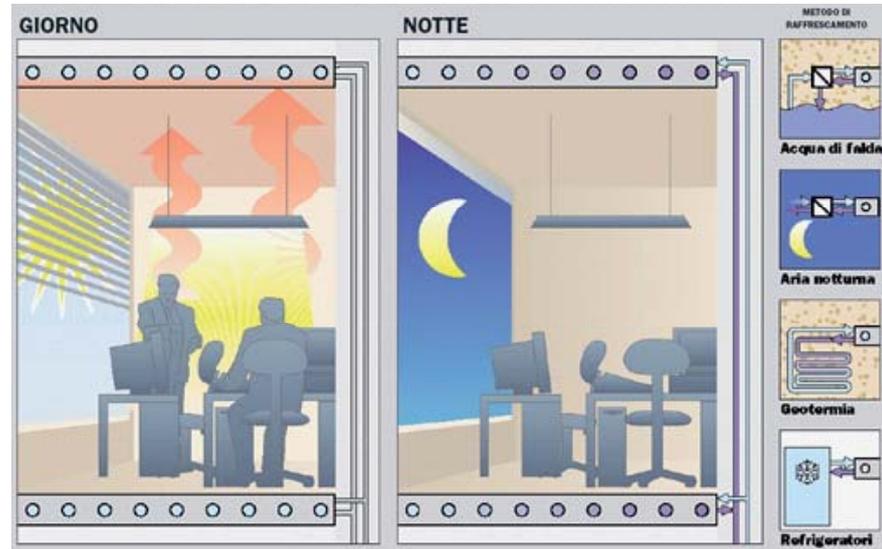
- | | | | |
|---|---|--------|-----------------|
| 1 | heat gain | X-axis | time of the day |
| 2 | power needed for conditioning the ventilation air | Y-axis | cooling power |
| 3 | power needed on the water side | | |
| 4 | peak of the required power reduction | | |

Questo significa che, siccome la massa termica è in grado di assorbire il calore dall'edificio e accumularlo nel c.a., non è necessario dimensionare il sistema di raffreddamento per il carico massimo di punta, ma piuttosto per il carico medio per tutta la giornata (CEN, 2007).

Poiché il calcestruzzo deve assorbire il calore in eccesso, e poiché questo è un processo lento rispetto ai sistemi di raffreddamento ad aria, l'uso di TABS comporta che la temperatura nella stanza non sarà costante durante il giorno.

Allo stesso tempo questa proprietà fisica limita anche picchi di carico di calore. Il peak shaving rappresenta la possibilità di scaldare e raffreddare la struttura durante un periodo nel quale gli occupanti possono essere assenti (ad esempio durante la notte), proprietà che, inoltre, riduce il picco di energia richiesta.

07.09
Funzionamento TABS
Fonte depliant Velta
Contect



Inoltre il peak shaving porta a una riduzione della dimensione dell'impianto ad aria.

Per il confort interno si sfrutta il campo di variabilità della temperatura operativa. Nel raffreddamento la temperatura ambiente al mattino è al livello minimo, intorno ai 21 gradi, e cresce poi nel corso del giorno fino al limite superiore di 26 gradi.

Per meglio capire il controllo delle temperature tramite TABS bisogna fare una distinzione delle varie fasi in caricamento, accumulo e scarico:

- CHARGING. La soletta viene caricata (raffrescata o riscaldata) facendo scorrere acqua calda o fredda nei tubi integrati nella soletta. Con il passaggio dell'acqua nei tubi si trasferisce la capacità di riscaldare o raffreddare.

Questo processo può essere attivamente controllato variando la temperatura di mandata, la velocità e la durata del caricamento. A causa dell'inerzia del sistema, bisogna immagazzinare sufficiente energia per coprire i carichi termici attesi per il giorno seguente.

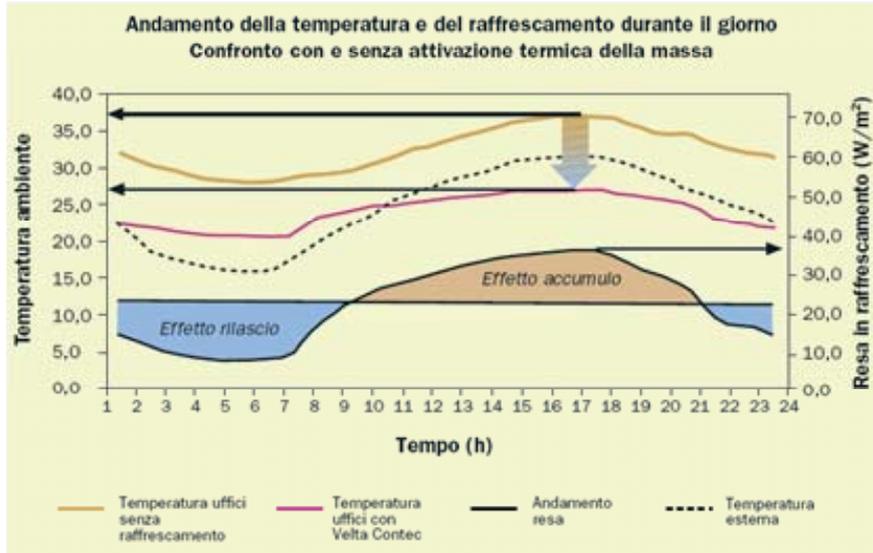
- STORAGE. Come ogni sistema di immagazzinamento, la lastra attivata termicamente collega l'intervallo di tempo tra il rifornimento di energia e la richiesta d'energia, e trasferisce il calore accumulato alle ore notturne.

L'eccessivo riscaldamento causato dall'irraggiamento solare e dai carichi interni causa l'innalzamento della temperatura del core in c.a.

Parallelamente all'aumento di temperatura della soletta, anche la temperatura operativa della stanza aumenta, anche se significativamente mitigata dall'effetto delle masse.

- DISCHARGING. 60% del calore/freddo immagazzinati nel c.a. viene trasferito alla stanza tramite radiazione e il 40% tramite convezione.

Il massimo della resa in raffrescamento è di 40-60 W/mq, quello di riscaldamento 20-40 W/mq.



07.10
Andamento delle temperature durante la giornata
Fonte depliant Velta Contec

Nell'utilizzare questa tecnologia normalmente si accettano alcune limitazioni quali:

- tenere il carico di calore il più basso possibile;
- assicurarsi di avere grandi superfici di calcestruzzo a vista;
- accettare le oscillazioni di temperatura durante il giorno - all'estremità inferiore della zona di comfort in mattinata e all'estremità superiore della zona di comfort nel pomeriggio;
- sistema a bassa energia - riscaldamento a bassa temperatura e raffreddamento ad alta temperatura.

La possibilità di impiegare temperature di esercizio dell'acqua prossime a quelle dell'ambiente permette di sfruttare al meglio, sia nel caso del riscaldamento che del raffrescamento, l'effetto di autoregolazione dinamica dell'intero sistema.

L'economicità dell'attivazione termica della massa consiste soprattutto nella possibilità di ridimensionare gli impianti di climatizzazione e le relative infrastrutture per la produzione del caldo e del freddo.

Nell'esercizio di raffrescamento le opportunità di risparmio consistono nell'accensione intervallata e nella possibilità di smaltire una parte del calore accumulato durante il giorno attraverso il raffreddamento naturale di notte.

Valutazione dinamica del sistema

Nel caso statico il diagramma di temperatura può essere calcolato in base agli spessori degli strati ed ai relativi coefficienti di conduttività termica. Questa situazione in realtà però non si potrà mai presentare dal momento che i carichi sono dinamici.

Di seguito alcuni risultati esposti da Dr. Bjarne W. Olesen nel convegno "Attivazione termica della massa nel riscaldamento-raffrescamento radiante: tecnologia e confort".

RAFFRESCAMENTO: a causa della limitata velocità di flusso termico nel calcestruzzo è possibile, senza perdite di potenza, regolare il flusso dell'acqua.

A seconda della struttura del pavimento, la potenza non si riduce se si interrompe il flusso d'acqua due volte all'ora per un quarto d'ora.

Anche durante i periodi di interruzione il calore continua a fluire attraverso il calcestruzzo verso la zona fredda attorno ai tubi.

Riavviando la circolazione d'acqua naturalmente si ha temporaneamente una resa frigorifera maggiore.

Le oscillazioni di resa termica nel centro del calcestruzzo, a causa dell'inerzia, non spingono i loro effetti fino alla superficie a contatto con l'ambiente.

Perciò la resa frigorifera rimane la stessa e le interruzioni nell'asporto del calore non hanno praticamente alcun effetto sull'ambiente.

RISCALDAMENTO: si possono ridurre o interrompere periodicamente le portate d'acqua in singole zone soggette a perdite di calore minori. L'interruzione ciclica presenta il vantaggio che l'attivazione delle superfici di pavimento e di soffitto è equilibrata e quindi è garantita una buona distribuzione della potenza termica. Nel ridurre la portata si può sfruttare la distribuzione non uniforme del calore in modo da prevedere zone con riscaldamento prioritario (ad esempio sotto le finestre e negli ingressi).

Il dimensionamento del sistema in stato dinamico è un'operazione molto complessa che può essere effettuata con l'ausilio di software.

Nella norma EN 15377 è presente un metodo semplificato tramite diagrammi.

I dati di entrata nel diagramma sono la temperatura di immissione dell'acqua e le ore di funzionamento dell'impianto.

7.6.2 Scelta dei TABS

Negli impianti degli edifici la condizione più limitante è sicuramente quella estiva a causa dei notevoli carichi interni.

Le principali tipologie impiantistiche per gli uffici sono:

- a tutt'aria;
- misti aria acqua (con induttori, con ventilconvettori, con pannelli radianti);
- impianti autonomi.

Il nostro edificio è quasi totalmente vetrato: nonostante ciò i guadagni solari diretti sono stati limitati grazie all'uso di schermature e oggetti.

Il carico interno dovuto a personale e apparecchiature è comunque molto elevato.

Tabella 07.14
Andamento delle temperature durante la giornata
Fonte depliant Velta Contect

Air-carrying concepts		
Outdoor air	Daytime ventilation	
	Overnight ventilation	Natural overnight ventilation Mechanical overnight ventilation Natural overnight ventilation + backup system (hybrid)
Water-carrying concepts		
Ground water Outdoor air	TABS	Concrete core temperature control, capillary tube system, underfloor temperature control, double surface building element temperature control
	Ceiling radiant cooling panel	Cooling panels suspended from the ceiling
Air conditioning system		
Outdoor air	Full air conditioning system (heating, cooling, ventilation)	

Increasing capacity, energy demand and costs

La scelta è quindi caduta sulla soluzione che a parità di efficienza e confort ottenibile ci permetteva un minor utilizzo di energia primaria e lo sfruttamento di risorse rinnovabili.

“Trasportare energia tramite l’acqua utilizza minor energia ausiliaria per le pompe e meno spazio di installazione rispetto al trasporto della stessa quantità di energia utilizzando come vettore l’aria (EN 15377-3)”.

A causa della forma architettonica irregolare si era optato per una struttura pilastrini c.a. e solette piene in c.a. gettate in opera.

Avendo delle estese superfici da poter sfruttare l’attivazione della massa (o impianti ibridi) ci sono sembrati la soluzione più idonea.

La differenza determinante tra gli impianti di climatizzazione tradizionale, compresi i solai direttamente raffreddati, e l’attivazione termica della massa consiste nella possibile asincronia tra carico termico e intervento del sistema di raffreddamento.

Con l’attivazione termica della massa il calore viene accumulato nella massa precedentemente raffreddata, viene poi ceduto nuovamente solo dopo un certo tempo. In tal modo si ha una distribuzione del lavoro di raffreddamento su un arco di tempo più lungo e quindi una riduzione dei carichi di punta.

Questa scelta ci ha portato alcune limitazioni dal punto di vista architettonico ma molti di più sono stati i risvolti positivi quali:

- asincronia tra impiego impianto TABS e impiego impianto tutt’aria (necessario per i ricambi d’aria);
- possibile sfruttamento della geotermia;
- condizioni di confort più elevate (diminuzione di correnti d’aria e fastidiosi rumori);
- possibilità di sfruttare la ventilazione notturna per scaricare il calore accumulato.

Rispetto alla climatizzazione totale o ai soffitti refrigeranti sospesi, i costi di investimento e di installazione nell’attivazione termica della massa sono molto minori. In virtù delle temperature dell’acqua minori nel caso di riscaldamento e maggiori nel caso del raffrescamento, il grado di utilizzo dei generatori di calore e di freddo, rispetto alla climatizzazione totale o ai soffitti refrigeranti sospesi, è superiore; inoltre è possibile l’impiego di fonti di calore e di freddo rinnovabili e le perdite nella rete di distribuzione sono inferiori.

Questi fatti, assieme alle aumentate esigenze di comfort anche ai fini di una maggiore produttività lavorativa, portano ad un crescente fabbisogno di raffreddamento a basso impegno di energia.

7.6.3 Case studies

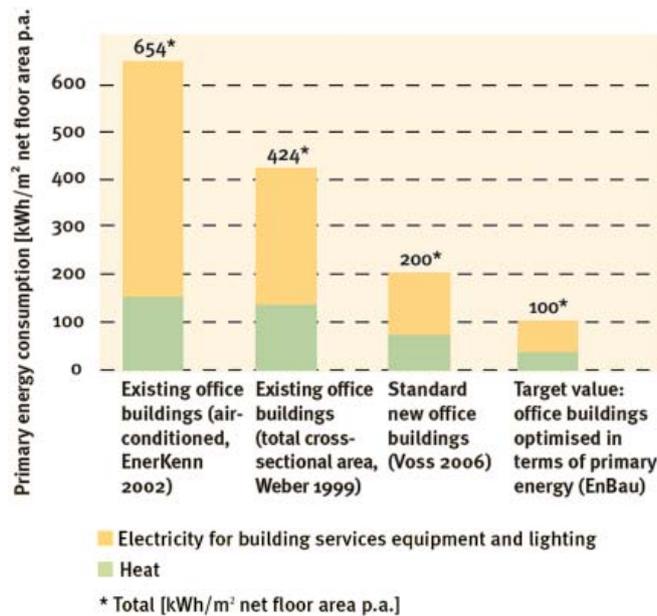
Il riscaldamento e il raffrescamento tramite sistemi inerziali ha una lunga tradizione. Già prima del 1938 ci sono degli esempi di sistemi inerziali con funzione di riscaldamento, utilizzati anche con lo scopo di raffrescamento. Nonostante ciò il lancio nel mercato fu un fallimento a causa dell'insufficiente isolamento degli edifici e dell'inadeguato controllo tecnologico.

Uno dei primi edifici che utilizzava l'acqua come vettore fu il «Dow Building» (svizzera, 1991, 7400 mq di superficie per il raffrescamento tramite l'attivazione della massa). Uno dei primi edifici che utilizzavano il sistema sia per il riscaldamento che per il raffrescamento fu il «Sarinaport office building» (Svizzera, 1194, 9500 mq di superficie attiva). Nel 2001 in Germania si contano più di 60 edifici non residenziali in costruzione che hanno come impianto base il TABS.

La diffusione, in crescita, di questa tecnologia in edifici a uso terziario deriva dalla riduzione significativa di energia primaria. Se il consumo totale di energia negli edifici con funzione di uffici è considerata in termini di energia primaria, il consumo di energia elettrica per la aerazione (15%), illuminazione (27%) e uso (33%) e l'energia usata per il raffrescamento attivo (11%) corrisponde a un'alta proporzione dell'energia totale consumata. L'aumento dell'isolamento negli edifici ha innalzato l'importanza del consumo di energia.

Dato il fatto che il maggiore potenziale di risparmio energetico risiede nella ventilazione, aria condizionata e tecnologia di illuminazione, il concetto di raffrescamento che usa energie rinnovabili può ridurre in modo significativo il consumo di energia elettrica e di conseguenza la richiesta di energia primaria.

Grafico 07.02
 Comparazione delle
 caratteristiche di
 consumo di energia
 primaria tra gli edifici
 per uffici
 Fonte «Energy-optimised new buildings»
 Research (EnBau)



Di seguito verranno presentati alcuni esempi di applicazioni di questa tecnologia in edifici per uffici. Appare palese come questa tecnologia sia ancora in via di diffusione in Italia mentre è già ben consolidata in paesi come il Regno Unito e la Germania.

PROGETTO: Energon office Building, Ulm, Germany

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione termica della massa, areazione meccanizzata con recupero di calore, geotermia

SUPERFICIE IMPIANTO : 7000 mq



07.11
Energon office Building
Fonte www.enob.info

DESCRIZIONE:

Si tratta del più grande edificio per uffici concepito con l'obiettivo dell'efficienza energetica. Le confortevoli condizioni di lavoro sono ottenute tramite il controllo delle temperature tramite TABS. Un forte isolamento termico dell'involucro, l'utilizzo di ventilazione meccanica e una protezione solare flessibile.

SOLUZIONE:

Per il riscaldamento e raffrescamento l'edificio utilizza primariamente il controllo della temperatura tramite il core in c.a. I tubi sono immersi nella soletta a una distanza di 10 cm dalla superficie inferiore.

Per il controllo della temperatura 40 scambiatori di calore sono inseriti fino a 100 metri di profondità nel terreno.

Grazie a questi l'acqua fluisce in un circuito chiuso che comprende le sonde geotermiche e i tubi dei TABS: la funzione del terreno è quindi di immagazzinare caldo e freddo.

L'inerzia termica del core in c.a. necessita di un sofisticato controllo. Per caricare in modo ottimale il TABS il sistema tiene conto della temperatura della stanza e della temperatura del pavimento.

Di norma il sistema viene attivato durante la notte, fuori dall'orario di utilizzo degli uffici.

Nel periodo estivo le temperature sono più basse la mattina e aumentano quando il lavoro inizia, a causa dei carichi interni e solari. La temperatura di mandata dell'acqua, comunque, non scende mai al di sotto dei 20 gradi.

PROGETTO: Ecocenter di Bolzano

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione termica della massa e pavimento radiante

SUPERFICIE IMPIANTO : 330 mq

07.12
Ecocenter di Bolzano
Fonte Velta Magazine
Agosto 2007 - N. 10



DESCRIZIONE:

Ecocenter è la società che gestisce gli impianti di smaltimento rifiuti e di depurazione delle acque reflue per molti comuni della provincia di Bolzano. Si tratta di un edificio di 2 piani (a pianta rettangolare e di forma compatta, interamente vetrato).

SOLUZIONE:

La tipologia dell'edificio con pareti integralmente vetrate ben si prestava all'utilizzo di impianti di tipo radiante. Il sistema di schermatura solare è stato definito per ottimizzare lo sfruttamento di energia nel periodo invernale e costituire un efficiente schermo alla radiazione solare nel periodo estivo: l'edificio è circondato da una grigliatura in legno con alette fisse.

Poichè la grigliatura concepita non era sufficiente per ottenere l'ombreggiamento estivo, tutte le vetrate, ad esclusione della zona di ingresso, sono state dotate di tende esterne mobili a elevato grado di schermatura. Gli elevati carichi specifici di raffrescamento rendevano tuttavia insufficiente il solo impianto a pavimento; il sistema è stato quindi integrato con un impianto di attivazione termica della massa. In questo modo è possibile accumulare energia termica o frigorifera durante la notte e cederla durante il giorno, con uno sfasamento rispetto al carico massimo e quindi una attenuazione dei carichi di punta.

La presenza esclusiva di superficie lisce e quindi riflettenti, ha posto il problema dell'acustica all'interno degli ambienti.

Sono state utilizzate pareti divisorie costituite da pareti attrezzate, adottando rivestimenti microforati con potere fonoassorbente in modo da riportare il tempo di riverbero entro valori accettabili.

PROGETTO: ABC/ Bogen, Amburgo

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione della massa, torre di raffreddamento

SUPERFICIE IMPIANTO : 7500 mq

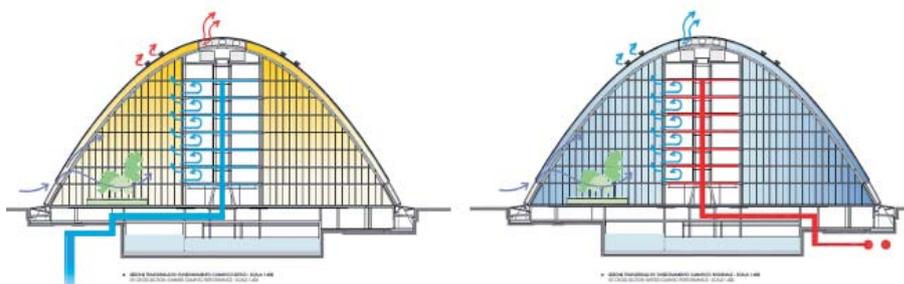


07.13
ABC Bogen
Fonte N.17 The Plan
2006

DESCRIZIONE:

Avveniristica costruzione per uffici la cui caratteristica principale è costituita dalle facciate completamente in vetro. La costruzione è composta da due corpi per uffici paralleli e da un corpo trasversale ad essi a forma di arco.

SOLUZIONE:



07.14
ABC Bogen, scheme
design
Fonte N.17 The Plan
2006

L'intero complesso è dotato di impianto automatico di schermatura solare esterna che permette di evitare eccessivo riscaldamento. Il ricorso ad illuminazioni artificiali è ridotto al minimo.

Il funzionamento dell'impianto è asincrono rispetto al picco di calore: durante la notte il soffitto viene raffreddato dall'acqua con continuità ed al tempo stesso recupera le sue capacità di accumulo termico.

La torre di raffreddamento sfrutta la temperatura dell'aria notturna per abbassare la temperatura dell'acqua a 20°C.

PROGETTO: Post Tower, Bonn, Germany

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione termica della massa, areazione meccanizzata, geotermia

07.15
Post Tower
Fonte Deutsche Post
DHL



DESCRIZIONE:

Postdam Tower, già dai propositi progettuali doveva essere «the pionnering highrise building for the 21st century».

Il concept dell'edificio è basato su una facciata doppiapelle ad alta trasparenza. Gli uffici conterranno 2000 impiegati.

SOLUZIONE:

Il concept energetico è basato sullo sfruttamento dell'acqua di falda: più di 130 litri ogni secondo fluiscono all'interno dell'edi-

ficio raffrescandolo nel periodo estivo e riscaldandolo nel periodo invernale. Negli uffici il raffrescamento estivo è implementato con convettori nel pavimento, che funzionano anche essi con l'acqua di falda. Il sistema di aria condizionata convenzionale è stato abbandonato, con l'eccezione delle zone deposito.

PROGETTO: EETC Office Building, UK,

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione termica della massa, turbine eoliche

SUPERFICIE IMPIANTO : 3000 mq

07.16
EETC office Building
Fonte www.velta-uk.com



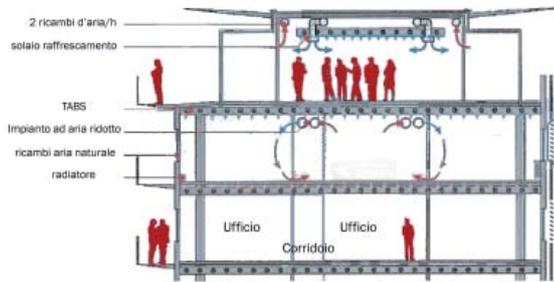
DESCRIZIONE:

EETC Office Building è stato costruito nel 2008 come ulteriore annessione agli esistenti edifici del Environmental Energy Technology Center.

SOLUZIONE:

Il sistema di attivazione della massa è stato inserito nella soletta gettata in loco. Si tratta di un edificio zero carbon, la cui energia (225 kW) è prodotta da un impianto eolico attaccato al più grande mini hydrogen grid system in Europa.

PROGETTO: Centrale europea BMG Ariola GmbH, Monaco
 TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione della massa, ventilazione meccanizzata
 SUPERFICIE IMPIANTO : 42000 mq



DESCRIZIONE:

L'edificio consiste in due corpi longitudinali paralleli dai quali si dipartono le singole ali. Le facciate esposte sono dotate di schermature esterne. Ovunque possibile sono state previste finestre apribili.

SOLUZIONE:

Riscaldamento, raffrescamento e ventilazione sono stati realizzati attraverso una combinazione di attivazione della massa, radiatori e un impianto di aerazione forzata.

PROGETTO: Nuova sede TIFS Ingegneria, Padova, Italia
 TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione della massa termica, pavimento radiante, pompa geotermica
 SUPERFICIE IMPIANTO : 1145 mq



DESCRIZIONE:

Lo studio TIFS si occupa di progettazione impiantistica e la sua sede vuole essere un edificio pilota per le più moderne tecnologie impiantistiche. La concezione architettonica, mirata all'efficienza, ha contribuito fortemente al risultato.

SOLUZIONE:

Il progetto si basa sul concetto dell'accumulo notturno di energia nelle strutture orizzontali dell'edificio e su condizioni igrometriche variabili durante il periodo notturno.

07.17
 Centrale europea BMG
 Ariola
 Fonte Papers conferenza «Attivazione termica della massa nel riscaldamento raffrescamento radiante»

07.18
 Sede Tifs Ingegneria
 Fonte www.archinfo.it

PROGETTO: Office Building, Aachen, Germany

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione della massa, ventilazione meccanizzata, impianto geotermico

SUPERFICIE IMPIANTO : 2150 mq

DESCRIZIONE:

Edificio adibito ad uffici con una solida e compatta forma e un buon valore di isolamento termico.

SOLUZIONE:

La superficie vetrata è molto ridotta (30% della facciata) quindi non è stato installato un sistema di oscuramento esterno.

Gli uffici sono ventilati meccanicamente e il sistema di recupero di calore sensibile ha un'efficienza del 75%.

I tubi del sistema TABS sono a 12 cm dalla superficie inferiore della soletta.

Non ci sono ulteriori superfici di riscaldamento e durante il periodo estivo l'edificio è raffrescato direttamente tramite gli scambi delle sonde geotermiche.

Vi sono 28 sonde di scambio termico nel terreno ogni 45 metri.

PROGETTO: Balanced Office Building «BoB»

TIPOLOGIA IMPIANTO: attivazione termica della massa, impianto geotermico

SUPERFICIE IMPIANTO :1500 mq



07.19
Balanced Office Building
Fonte www.velta-uk.com

DESCRIZIONE:

Questo compatto edificio per uffici ha un orientamento nord/sud.

L'edificio è stato costruito usando un tipo di costruzione massiva con un alto grado di prefabbricazione. I serramenti alloggiavano tripli vetri con barriera termica in alluminio.

SOLUZIONE:

Bob risparmia il 94% dell'energia di raffrescamento rispetto a convenzionali sistemi e il 60% dell'energia per l'illuminazione grazie al daylight control.

Le chiavi del successo di questo edificio sono l'elevato isolamento, la ventilazione forzata e l'utilizzo dell'attivazione della massa come sistema principale di climatizzazione.

7.6.4 Applicazione attivazione della massa in Tin Tin Building

L'attivazione termica della massa è parte di un sistema di climatizzazione integrata basata su un ottimo isolamento termico.

Con le caratteristiche di isolamento verso l'esterno, viene impedito il raffreddamento naturale dell'edificio durante la notte per effetto della trasmissione termica, che d'estate risulta invece vantaggioso.

Affinché la climatizzazione con elementi strutturali termo attivi funzioni è necessario disporre di un adeguato isolamento termico (U serramenti = XXX), di schermature solari flessibili e di un impianto meccanico di aerazione di base.

Mentre i carichi interni riducono il fabbisogno termico d'inverno, nei periodi intermedi e d'estate essi rappresentano un maggior fabbisogno di raffreddamento. Per questo motivo la progettazione degli aggetti e degli ombreggiamenti è stata particolarmente attenta a schermare il sole estivo.

L'estesa superficie liscia delle solette può creare problemi relativi all'acustica come aumento del tempo di riverberazione, soprattutto in uffici open space.

Verranno presi come dati di fatto i risultati esposti nel paper "The cooling capacity of the Thermo Active Building System combined with acoustic ceiling" di Peter Weitzmann:

"This paper describes measurements in a test facility of the cooling capacity of the thermo active building system (TABS) combined with acoustic ceiling. Generally it has been expected that in order to maintain sufficient cooling capacity from the mainly radiant heat transfer, the concrete ceiling must be exposed directly to the room. This in practice would therefore impede the use of TABS in open plan offices where acoustic ceilings are needed to ensure acceptable acoustic conditions. In this work, we have made measurements in a room equippe with TABS combined with an acoustic ceiling covering parts of the ceiling, so that both acoustic and thermal requirements could be met. In the measurements 35%, 47%, 67% (two different patterns), 70% 83% and 100% were covered as well as four different configurations using baffles. Both thermal and acoustic properties were tested. The results showed that even with a covering of 83% of the ceiling surface area, the cooling capacity was still around 70% of the uncovered ceiling for the same temperature difference between mean fluid temperature and room operative temperature, while at the same time the reverberation time in the room was clearly acceptable. This shows that acoustic ceilings and TABS can be combined."

Nel caso in analisi ci troviamo proprio a doverci confrontare con la possibile configurazione open space.

Alla luce dei risultati sovraesposti abbiamo quindi utilizzato dei controsoffitti ad isola: questo tipo di controsoffittatura infatti verrà posizionato unicamente al di sopra delle postazioni lavoro in modo tale da creare delle campane protettive



07.20
Funzionamento isole
isolamento acustico

e assorbenti che al contempo non riducano significativamente la superficie radiante.

L'installazione di soffitti ad isola riduce significativamente il tempo di riverberazione e contribuisce alla riduzione del disturbo di sottofondo.

La scelta è caduta su un pannello in fibra minerale modellato in fase di produzione.

I pannelli vengono sospesi in modo tale che la superficie assorbente sia doppia rispetto a quella di un comune soffitto con controsoffittatura continua.

Applicazione della geotermia a bassa entalpia

L'energia geotermica è l'energia termica accumulata all'interno del globo terrestre.

Si tratta dell'insieme d'immense quantità di calore dovute in larga misura all'energia di decadimento di isotopi naturali radioattivi.

La potenza del flusso di calore risalente alla superficie e reso all'ambiente naturale è di 40 miliardi di kW, corrispondente ad un valore specifico di 0,08 W/mq.

Il gradiente medio di temperatura nella crosta terrestre è di 3K per ogni 100 m di profondità, ma le anomalie strutturali della crosta terrestre fanno sì che vi siano delle zone con gradienti di temperatura più elevati.

I motivi che inducono ad uno sfruttamento razionale dell'energia geotermica:

- è indigena;
- rispettosa dell'ambiente;
- sostitutiva alle energie fossili;
- non produce emissioni nocive e ancora meno CO₂;
- sempre disponibile;
- presente e non dipendente dalle condizioni climatiche stagionali.

Si conoscono, a livello di definizione, due tipi di geotermia che si differenziano per la profondità di posa delle parti attive di captazione:

- la geotermia di superficie
- la geotermia di profondità.

Nel caso di impianti con attivazione della massa si intende l'utilizzo della geotermia di superficie (dai 10 ai 100 m di profondità).

I nuovi impianti di geotermia di superficie combinati con l'attivazione della massa fanno capo a sistemi di prelievo o resa del calore basati su due principi:

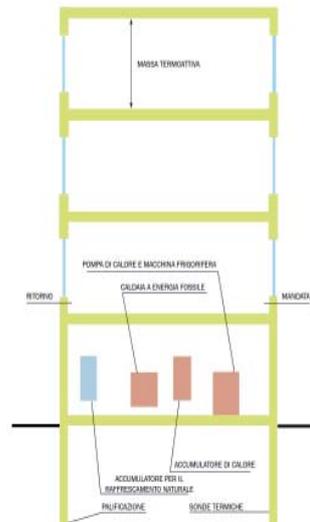
- sonde geotermiche uniche e campi di sonde geotermiche;
- palificazione o paratie termo attive per edifici.

Per tipologia di edificio e di terreno sottostante si è optato per delle fondazioni su pali (platea su pali).

Le palificazioni verranno quindi utilizzate come contenitori delle sonde per lo scambio termico.

I vantaggi sono prioritariamente di natura economica ed ecologica, in quanto si evitando perforazioni supplementari.

07.21
Schema semplificato di un impianto con attivazione della massa e prelievo o dissipazione del calore attraverso le sonde termiche nella palificazione



La massa di cemento armato ha il doppio vantaggio di proteggere le condotte da danni meccanici e fungere nello stesso tempo da buon conduttore del calore, con ampia superficie di scambio termico verso il sottosuolo.

In mancanza di TRT (thermal response test) si è trovato un valore applicabile nel paper «Case studies of vertical ground source heat pumps in Belgian hospitals» di Johan Desmedt:

«At the site of the hospital the ground, up to a depth of 150m, consists mainly of heavy clay with minor parts of sand and silt. In the western part of Flanders the content of heavy clay is more commonly found than sand layers. Based on our former experience, the thermal conductivity is estimated to 1.7 W/m.K and the specific heat capacity to 2.45 MJ/m³.K. The undisturbed soil temperature is 11 °C.»

Altri valori per determinare la temperatura di mandata dell'acqua possono essere ottenuti tramite le seguenti formule:

$$T_{ind} = T_{mamb} + 1 \text{ °K} = 15 + 1 = 16$$

(la media è fatta nei mesi tra maggio e ottobre in quanto, dalle analisi dei fabbisogni, sono i mesi che necessitano di essere raffrescati)

$$T_{mand} = T_{ind} + 1 \text{ °K} = 16 + 1 = 17$$

La temperatura di mandata dell'acqua nei TABS sarà verosimilmente di 18 °C nel periodo estivo.

8.5.5 Dimensionamento e confronto dei risultati

Il dimensionamento del sistema di attivazione termica della massa si svolge secondo le stesse procedure di calcolo degli altri sistemi a superficie radiante. L'influenza della distanza tra tubi, dello spessore dello strato di copertura (sopra e sotto) dei tubi, del diametro dei tubi, della temperatura e della portata dell'acqua, può essere calcolata sulla base delle stesse esperienze e norme valide per il riscaldamento a pavimento.

Negli edifici con attivazione termica della massa il funzionamento in raffrescamento è determinante ai fini del dimensionamento della portata d'acqua.

La portata d'acqua viene dimensionata in modo da mantenere una minima differenza tra mandata e ritorno (2-5 °C).

Sono due i metodi inclusi nell'UNI EN 15377

- calcolo semplificato prendendo come riferimento UNI EN1264
- calcolo agli elementi finiti.

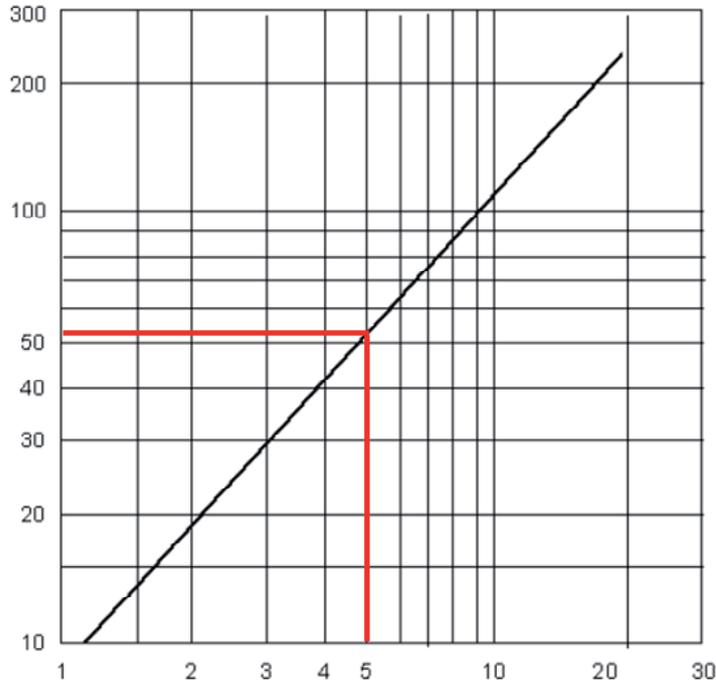
Metodo 1 : Coefficiente di scambio termico tra superficie e ambiente

La relazione tra l'intensità di flusso di calore e la differenza di temperatura (tra superficie e ambiente) dipende dal tipo di superficie (pavimento, muro, soffitto) e l'entità della differenza tra le due temperature.

*Grafico 07.02
Curva caratteristica di base per pavimento riscaldante e soffitto raffrescante in accordo con EN 1264*

asse x Differenza media di temperatura di superficie (in K)

asse y Intensità flusso di calore W/mq



Per un pavimento riscaldante e raffrescante, l'intensità di flusso di calore q è data dalla formula:

$$q = 8,92 (\theta_{s,m} - \theta)^{1,1} \quad (W/m^2)$$

Dove $\theta_{s,m}$ è la temperatura di superficie. Prendiamo il valore 21 °C che è stato estrapolato dal modello FEM prodotto con Heat

θ è la temperatura operativa interna

$$q = 52,38 \text{ W/m}^2$$

Metodo 2 Calcolo dell'emissione areica secondo UNI 1264-2

La norma UNI EN 1264 è specifica per i gli impianti a pavimento.

L'emissione areica q di un pavimento riscaldante è determinata dai seguenti paramentri:

- passo del tubo T (0,15 m)
- spessore s_u (0,15 m) e conduttività termica λ_e (2,30 W/m²K)
- resistenza termica $R_{\lambda,B}$ del rivestimento del pavimento
- diametro esterno del tubo D (0,02 m) e la conduttività termica del tubo λ_r (0,35 W/m²K).

L'emissione aerica per gli impianti con tubi annegati nello strato di supporto è uguale a:

$$q = B a_B a_T^{mT} a_u^{mu} a_D^{mD} \Delta\theta_H$$

dove B = 6,7 W/m²K

a_B è il valore del pavimento sottostante, secondo il prospetto A.1 ; $f(\lambda_e, R_{\lambda,B})$ a_B

= 0,85

a_T è il fattore di passo, secondo il prospetto A.2; $f(R_{\lambda,B})$

$a_T = 1,188$

a_u è il fattore di ricoprimento secondo il prospetto A.3; $f(T, R_{\lambda,B})$

$a_u = 1,046$

a_D è il fattore di diametro esterno del tubo, secondo il prospetto A.4; $f(T, R_{\lambda,B})$

$a_D = 1,034$

$m_T = -1$

$m_u = -10,5$

$m_D = 0$

$$\Delta\theta_H = \frac{\theta_V - \theta_R}{\ln \frac{\theta_V - \theta_i}{\theta_R - \theta_i}}$$

dove:

θ_V è la temperatura di mandata dell'acqua (18 °C)

θ_R è la temperatura di uscita dall'impianto dell'acqua (23 °C) il delta di 5 gradi è stato imposto.

θ_i è la temperatura interna dell'ambiente (26 °C)

$$q = -15,21 \text{ W/m}^2$$

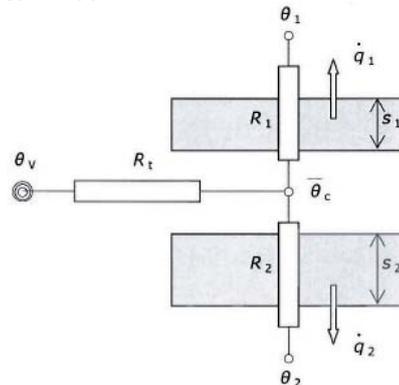
Il seguente valore verrà confrontato con i valori estrapolati tramite altri metodi di calcolo.

Metodo 3: Metodo della resistenza termica

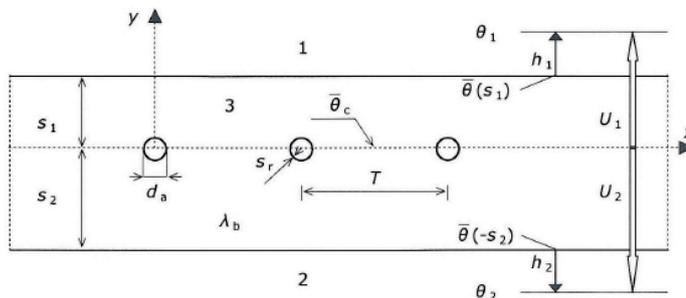
Il metodo della resistenza termica analizza il flusso di calore tramite le diverse superficie rappresentate dalle loro relative differenze: resistenza del fluido vettore acqua, resistenza del tubo, resistenza del c.a., resistenza degli altri strati, resistenza dell'aria.

Sulle medesime basi si sviluppano i metodi a elementi finiti.

La lastra attiva viene divisa in due parti, al di sopra e al di sotto del livello dei tubi contenenti il fluido vettore.



07.22
Connessioni base all'interno di una massa attivata termicamente
Fonte UNI EN 15377



07.23
Tubi immersi all'interno della soletta in c.a. sistema di tipo E e indicazione dei parametri in analisi
Fonte UNI EN 15377

A partire dai dati relativi alla nostra configurazione si calcola

- R_w , la resistenza derivante dal moto turbolento all'interno dei tubi e dipende dalla distanza tra turbi (0,15 m), dal diametro (0,02 m) e dallo spessore dei tubi (0,0023), dalla lunghezza del circuito (1 metro) e dalla massa di fluido che scorre al loro interno (1,26 Kg).

$$R_w = \frac{T^{0.13} \left(\frac{d_a - 2 \cdot s_r}{\dot{m}_{H,sp} \cdot l} \right)^{0.87}}{8,0 \pi} \quad \text{m}^2\text{K/W}$$

- R_r , la resistenza del tubo che dipende dalla distanza tra i tubi e dal diametro, spessore e conducibilità (0,38 W/m²K) di quegli stessi.

$$R_r = \frac{T \cdot \ln \left(\frac{d_a}{d_a - 2 \cdot s_r} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_r} \quad \text{(m}^2\text{K/W)}$$

- R_x , la resistenza tra la superficie esteriore dei tubi e la superficie a contatto con l'ambiente.

$$R_x \approx \frac{T \cdot \ln \left(\frac{T}{\pi \cdot d_a} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_b} \quad \text{(m}^2\text{K/W)}$$

I valori trovati sono:

$$R_w = 0,0007 \text{ m}^2\text{K/W} \quad R_r = 0,0164 \text{ m}^2\text{K/W} \quad R_x = 0,009 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_t = R_w + R_r + R_x = 0,03 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Il flusso di calore in stato stazionario viene determinato tramite le formule:

$$\dot{q}_1 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} [R_t (\theta_2 - \theta_1) + R_2 (\theta_v - \theta_1)] \quad \text{(W/m}^2\text{)}$$

$$\dot{q}_2 = \frac{1}{R_1 R_2 + R_1 R_t + R_2 R_t} [R_t (\theta_1 - \theta_2) + R_1 (\theta_v - \theta_2)] \quad \text{(W/m}^2\text{)}$$

θ_v è la temperatura del fluido vettore (18° C)

$\theta_1 = \theta_2 =$ temperatura degli ambienti a contatto (26° C)

$R_1 =$ resistenza tra il tubo e tutti gli strati a lui superiori (0,45 m²K/W)

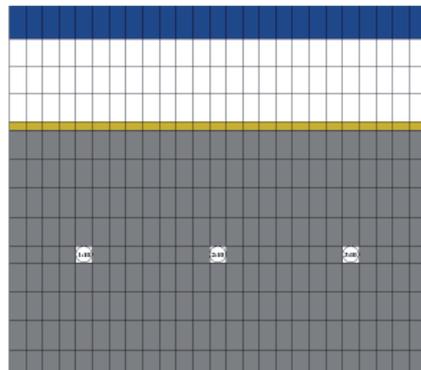
$R_2 =$ resistenza tra il tubo e tutti gli strati a lui inferiori (0,13 m²K/W)

$$q_1 = 13,38 \text{ W/m}^2$$

$$q_2 = 46,00 \text{ W/m}^2$$

Metodo 4: Dimensionamento tramite software FEM (heat)

La versione del software utilizzata è una versione freeware di prova quindi il numero di mesh implementabili è limitata. Per questo motivo si è scelto di fare un elemento di prova di lunghezza 50 cm in modo tale da poter aver un maggior numero di mesh e quindi una maggiore precisione di calcolo.



- Pannello truciolare con finitura in gres porcellanato; S = 0,04 m; $\lambda = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Aria; S = 0,1 m; $\lambda = 0,61 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Isolante acustico anticalpestio S = 0,01 m; $\lambda = 0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Soletta in C.A. gettata in opera S = 0,3 m; $\lambda = 2,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

- PE-X pipe S = 0,0023 m; $\lambda = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$

07.24
Modellazione in Heat
con indicazione delle
mesh

La verifica verrà effettuata a livello statico. La struttura è mostrata nella figura sovrastante con i materiali, le proprietà e le dimensioni.

Le condizioni al contorno sono:

- temperatura dell'ambiente superiore e inferiore uguale a 26°C
- temperatura immissione acqua nei tubi 18°C
- resistenza termica superiore data dall'aria = 0,1429 m2K/W
- resistenza termica inferiore data dall'aria = 0,0909 m2K/W
- distanza tra i tubi 15 cm
- diametro esterno tubi 2 cm
- i tubi si trovano sull'asse baricentro della soletta in c.a.

Il programma heat lavora con elementi finiti quadrangolari. L'elemento tubo è stato quindi modellizzato tramite il comando "internal modification": circular pipes with a given temperature.

I tubi sono stati semplificati con un quadrato che ha l'area del tubo reale.

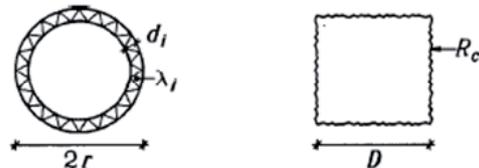
Ogni lato ha una lunghezza uguale a

$$D = \sqrt{\pi r} = 1,8 \text{ cm.}$$

Si è scelto di modellare anche la resistenza dovuta al materiale di cui è costituito il tubo e il fluido vettore stesso.

La resistenza interna è uguale a:

$$R_c = (2 D \ln(r/(r-d_1)))/(\pi \lambda_1) = 0,0079 \text{ K/W}$$



La resistenza trovata è stata poi applicata come boundary condition su ognuno dei 4 lati.

Inviando l'iterazione per la creazione di mesh questi sono i risultati ottenuti:

Start number for max cells: [7]

Level 1: iter=4944, N=143 (13,11) [7]

BC q [W/m] d [%] Gussed q* [W/m]

2 21.058 95.251

3 5.0864 80.34

sum:-0.0003 max:95.251 CPU:0.171s (total:0.171s)

Level 2: iter=5086, N=210 (15,14) [10]

BC q [W/m] d [%] Gussed q* [W/m]

2 21.409 1.6384 22.61

3 5.1712 1.6398 5.4616

sum: 0.0004 max:1.6398 CPU:0.125s (total:0.296s)

Level 3: iter=5235, N=506 (23,22) [15]

BC q [W/m] d [%] Gussed q* [W/m]

2 21.88 2.1542 22.472

3 5.2852 2.1571 5.4282

07.25
Modellizzazione Tubi
Fonte manuale Heat
2.5

sum:-0.0008 max:2.1571 CPU:0.156s (total:0.452s)

Level 4: iter=5372, N=350 (25,14) [22]

BC q [W/m] d [%] Gussed q* [W/m]

2 21.714 0.7664 no good

3 5.245 0.766 no good

sum: 0.0008 max:0.7664 CPU:0.156s (total:1s)

Level 4: iter=5402, N=350 (25,14) [25]

BC q [W/m] d [%] Gussed q* [W/m]

2 21.714 0.0013 no good

3 5.2449 0.0025 no good

sum: 3.3E-5 max:0.0025 CPU:0.078s (total:1s)

Finished last level!

Max diff. between solutions d=0.0025%.

Criteria is not OK! More nodes are needed!

More nodes are needed!

Mesh factor used: 1.5

Come si può osservare la precisione del modello è limitata ma comunque i risultati ottenuti sono verosimili (lo si può affermare tramite confronto con gli altri risultati ottenuti tramite le formule contenute nelle normative).

I risultati estrapolabili sono quindi:

Bound q q length BC

[W/m²] [W/m] [m]

1 43.427 21.714 0.5 [2] T=26 R=0.09

3 10.49 5.2449 0.5 [3] T=26 R=0.1429

Sum flows: 26.959 W/m

Sum pos flows: 26.959 W/m

Qtot = 54 W/m²

Ulteriore ipotesi analizzata è stata quella di eliminare il tappetino anticalpestio e utilizzare un materassino insonorizzante di spessore nominale 5 mm da inserire unicamente in corrispondenza dei piedini del pavimento galleggiante.

In questo modo i rumori da calpestio sono notevolmente diminuiti e la prestazione dell'impianto TABS ne ha tratto giovamento.

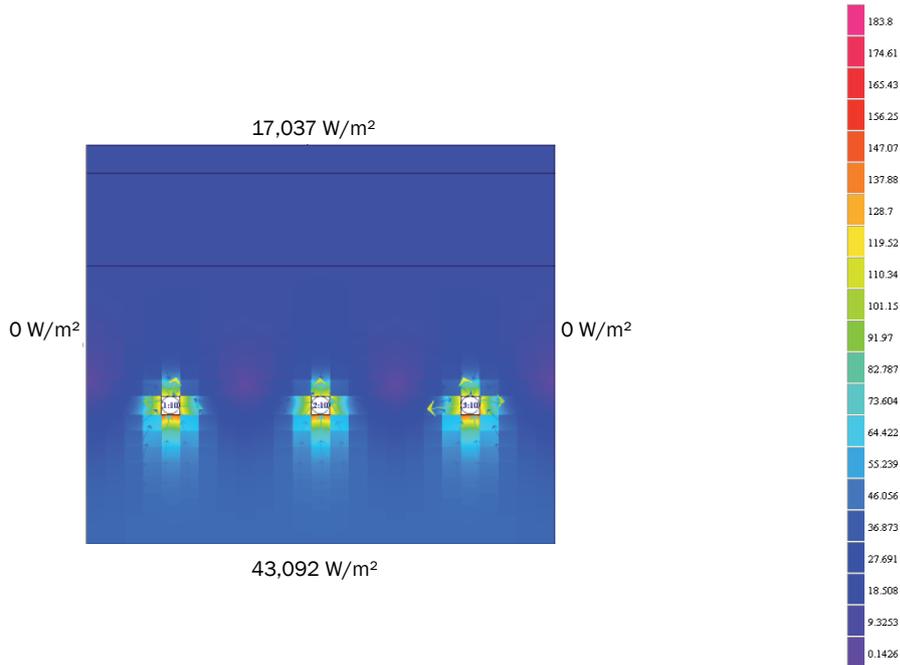
Bound q q length BC

[W/m²] [W/m] [m]

1 43.092 21.546 0.5 [2] T=26 R=0.09

3 17.037 8.5183 0.5 [3] T=26 R=0.1429

Qtot = 60 W/m²



07.26
Rappresentazione
flussi
Fonte Heat

Per quanto riguarda le temperature:

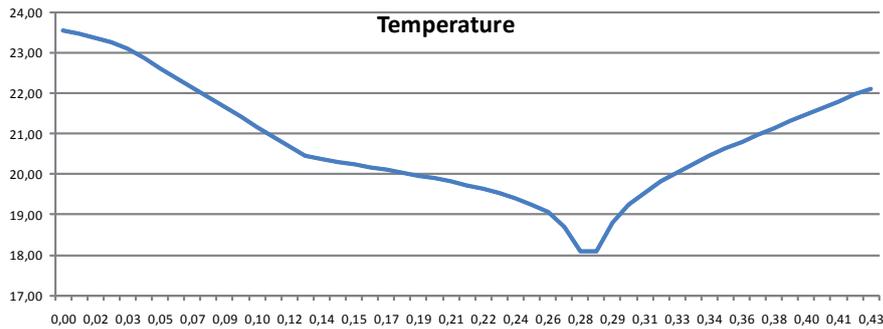
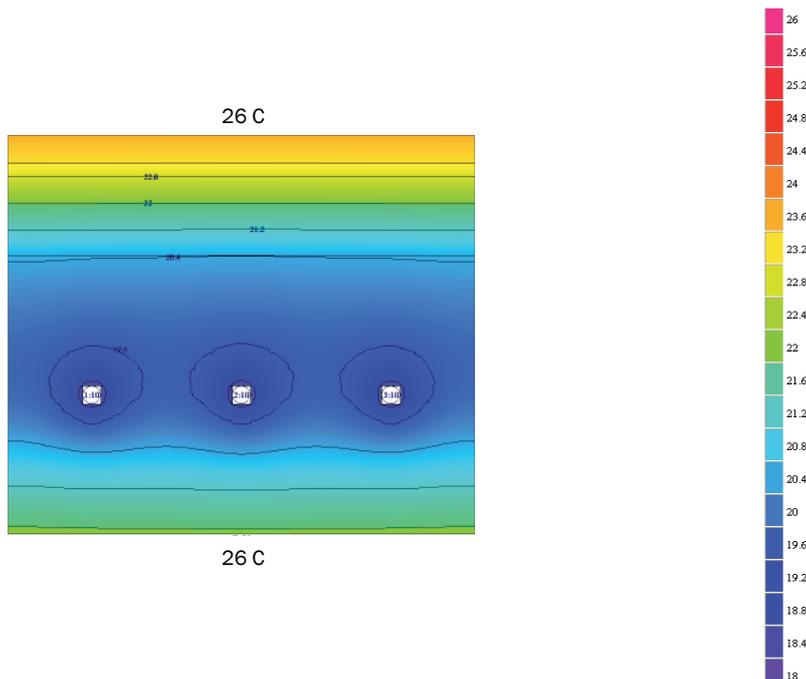


Grafico 07.03
Rappresentazione an-
damento delle tempe-
rature tramite valori
estrapolati dal softwa-
re HEAT



07.27
Rappresentazione an-
damento temperature
Fonte Heat

A partire dall'ultimo modello creato si è deciso di effettuare alcune simulazioni per analizzare i risultati, in termini di flusso e di temperature superficiali, facendo variare la temperatura di mandata dell'acqua sia nel caso estivo che nel caso invernale.

Caso estivo

$$T_{amb} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$16^{\circ}\text{C} < T_{imm} < 20^{\circ}\text{C}$$

Tabella 07.15
Risultati numerici simulazione attivazione della massa, caso estivo, al variare della temperatura di mandata

T immissione	16	17	18	19	20
T sopra	22,95	23,25	23,56	23,86	24,17
T sotto	21,13	21,62	22,11	22,59	23,08
Q sopra	21,30	19,17	17,04	14,91	12,78
Q sotto	53,87	48,48	43,09	37,71	32,32
Qtot	75,16	67,64	60,13	52,61	45,10

Come si può vedere dai risultati numerici, all'aumentare della temperatura di mandata aumentano in modo lineare le temperature superficiali mentre diminuiscono i flussi.

Grafico 07.04
Rappresentazione grafica della variazione di flusso sulla superficie superiore e inferiore al variare della temperatura di mandata dell'acqua

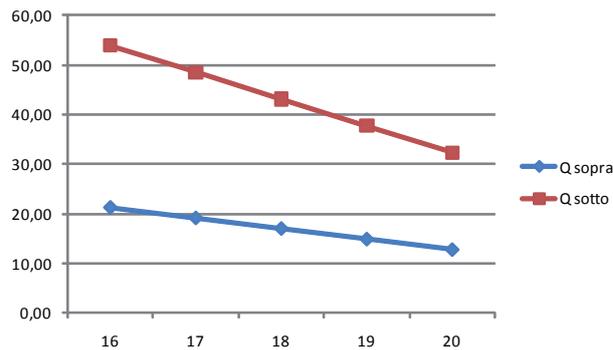
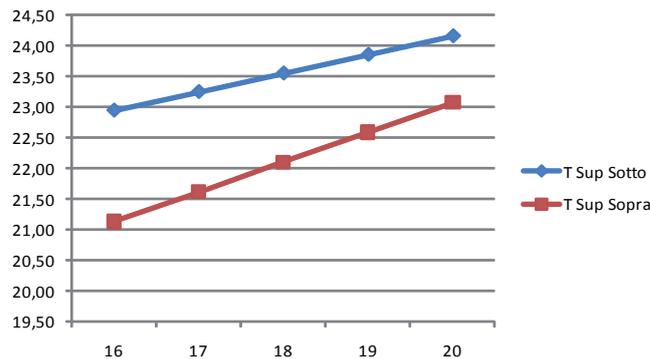


Grafico 07.05
Rappresentazione grafica della variazione delle temperature superficiali al variare della temperatura di mandata dell'acqua



Da ricordare che nella UNIEN 15377 sono presenti dei valori raccomandati per le temperature sia in caso estivo che in quello invernale: i limiti tengono conto del comfort degli utenti.

Nel caso estivo per i pavimenti la temperatura superficiale minima consigliata è 19 gradi, per i soffitti la differenza tra la temperatura ambientale e la temperatura radiante non deve essere superiore ai 14° (è comunque sconsigliato avvicinarsi troppo alla temperatura di rugiada dell'ambiente in analisi).

Caso invernale

$T_{amb} = 21^{\circ}\text{C}$
 $22^{\circ}\text{C} < T_{imm} < 26^{\circ}\text{C}$

T immissione	22	23	24	25	26
T sopra	21,31	21,81	21,92	22,22	22,53
T sotto	21,49	21,97	22,46	22,95	23,43
Q sopra	-2,13	-4,26	-6,39	-8,52	-10,65
Q sotto	5,39	-10,77	-16,16	-21,55	-26,93
Qtot	-7,52	-15,03	-22,55	-30,06	-37,58

Come si può vedere dai risultati numerici, all'aumentare della temperatura di mandata aumentano in modo lineare le temperature superficiali mentre, inversamente a quanto visto nel caso estivo, i flussi aumentano.

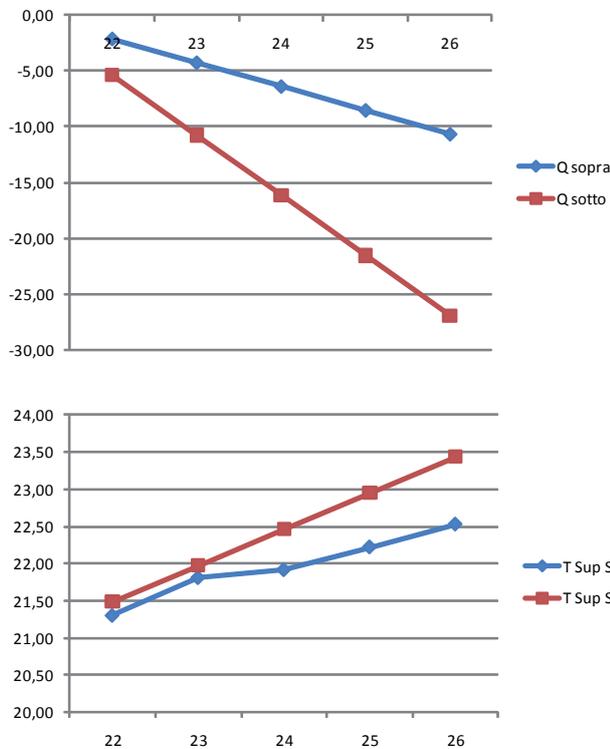


Tabella 07.16
 Risultati numerici simulazione attivazione della massa, caso invernale, al variare della temperatura di mandata

Grafico 07.06
 Rappresentazione grafica della variazione di flusso sulla superficie superiore e inferiore al variare della temperatura di mandata dell'acqua

Grafico 07.07
 Rappresentazione grafica della variazione delle temperature superficiali al variare della temperatura di mandata dell'acqua

Nel caso invernale per i pavimenti la temperatura massima consigliata è 29 °C, per i soffitti la differenza tra la temperatura ambientale e la temperatura radiante non deve essere superiore a 5 °C.

Confronto dei risultati ottenuti

A partire dal confronto tra i metodi calcolo utilizzati si può avere una stima realistica dell'accuratezza dei risultati ottenuti.

Tabella 07.17
Confronto dei risultati numerici ottenuti tramite i differenti metodi utilizzati

CONFRONTO RISULTATI			
	Qsup	Qinf	Qtot
Metodo 1	-	-	52,38
Metodo 2	-	-	30,42
Metodo 3	13,38	46,00	59,38
Metodo 4	17,04	43,09	60,13

Il Metodo 1 utilizza come dati unicamente la temperatura operante interna e la temperatura superficiale. La temperatura superficiale immessa è quella trovata tramite Heat, ma sta di fatto che questo metodo da una emissione areica (che dovrebbe essere quella inferiore) molto superiore rispetto a quella trovata con Heat (che senza dubbio è il valore più affidabile).

Il Metodo 1 è quindi un metodo di controllo o di dimensionamento inverso: ovvero a partire dalla temperatura interna e da una temperatura superficiale prefissata si potrebbe trovare la , dalla quale poi evincere portata d'acqua, temperatura dell'acqua e tutti i valori che ne conseguono.

Il Metodo 2 da un valore di Q_{tot} molto inferiore ai valori trovati con il metodo agli elementi finiti.

Sebbene sia consigliato l'utilizzo di questo metodo nella norma UNI EN 15377 (specifica per sistemi ad attivazione della massa), la formula è riconducibile alla norma UNI EN 1264, norma per il riscaldamento a pavimento.

Nella formula non si tiene conto della resistenza dell'aria (differente per flusso ascendente o discendente) e sebbene la resistenza degli strati al di sopra dei tubi sia presente in quasi tutti gli addendi, la sua variazione non determina cambiamenti importanti nel valore finale.

Questo fa sì che il valore di q sopra e il valore di q sotto siano pressochè identici e la loro somma sia notevolmente inferiore rispetto ai risultati trovati con gli altri metodi.

Se si analizza unicamente il dato di q verso l'altro si vedrà che il valore coincide con un buon margine di approssimazione al valore trovato con il metodo agli elementi finiti.

Molto probabilmente quindi si può ritenere che la formula della UNIEN 1264 funziona in maniera soddisfacente per descrivere il comportamento del pavimento ma non per quello del soffitto.

Sul metodo 3, ovvero quello basato sulle resistenze termiche, non possono essere fatte critiche sostanziali. Ovviamente si presentano tutti i limiti di un metodo statico applicato a un sistema che si basa proprio sulla risposta dinamica alle sollecitazioni ambientali, ma i valori sono molto vicini a quelli proposti dall'analisi FEM.

7.5.6 Dimensionamento dinamico del sistema

Il dimensionamento dinamico deve tener conto di una serie di variabili molto complesse.

Normalmente vengono quindi utilizzati software come TRNSYS o comunque a elementi finiti.

La UNI EN 15377 suggerisce alcuni metodi di calcoli semplificati, che tengono conto solamente di alcune variabili, in modo tale da avere un valore vicino alla realtà che potrà essere utilizzato per le fasi preliminari del progetto.

Le variabili di cui si tiene conto sono:

- θ_{comfort} : massima temperatura operativa permessa per le condizioni di comfort (26° C)
 - esposizione della stanza/esposizione che determina il picco di guadagni (SUD)
 - tipologia di impianto: soffitto e pavimento radiante, soffitto radiante, pavimento radiante (soffitto e pavimento attivi)
 - h ore di funzionamento (8 h)
 - R_{int} resistenza termica della lastra. (0,13 m²K/W)
 - θ_s è la temperatura superficiale della lastra. Il suo valore viene dedotto dalla formula
- $$\theta_s = \theta_{\text{comfort}} + \text{coeff } Q$$
- coeff è dato dall'esposizione e dal tipo di impianto. Tabella 1 e 2 EN UNI 15377 (-5,37)
 - Q è l'energia specifica che agisce sulla stanza in esame. Nel nostro specifico caso questa è l'incognita che verrà estrapolata conoscendo tutti gli altri dati di entrata
 - R_t è la resistenza termica del circuito che è già stata calcolata per il metodo di calcolo statico che utilizza le resistenze (0,03 m²K/W)
 - θ_w temperatura di mandata dell'acqua (18° C)

Metodo 6.2. della UNI EN 15377

Si applica la seguente formula (invertendola per trovare l'incognita Q) a partire dai dati sopra esposti.

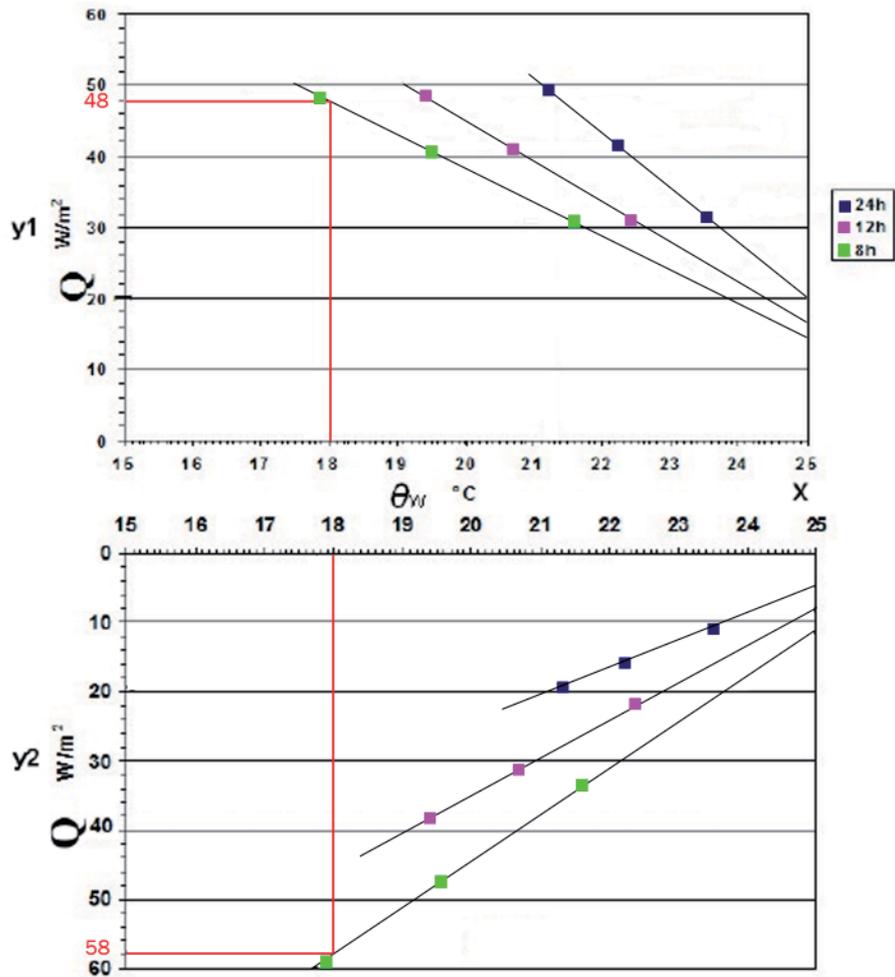
$$\theta_w = \theta_s - \frac{Q \cdot (R_{\text{int}} + R_t) \cdot 1000}{h}$$

Q = 340 Wh/m² che diventano 430 nell'ipotesi di funzionamento di 12 ore.

Metodo grafico

Ipotizziamo una temperatura di mandata di 18°C e un utilizzo dell'impianto di 8 ore. In questo modo sfruttiamo l'asincronia tra utilizzo dell'impianto e carico di picco: la soletta verrà raffrescata/riscaldata durante l'orario notturno, quando l'energia elettrica costa meno e si può combinare l'effetto dell'acqua con il raffrescamento tramite ventilazione notturna della massa.

Grafico 07.06
Grafici UNIEN 15377
per determinazione
potenza impianto, sti-
ma dinamica



Tramite i grafici troviamo che il calore asportabile dal sistema è uguale a 48 W/mq.

Analisi dei risultati dinamici

I risultati ottenuti non si discostano in maniera significativa da quelli ottenuti tramite analisi statica. Questo significa che in prima approssimazione i risultati statici sono comunque utilizzabili salvo poi utilizzare software che permettono vere e proprie simulazioni dinamiche in modo da poter controllare le condizioni interne al variare delle condizioni climatiche e dei carichi interni.

7.6.7 Raffrescamento tramite ventilazione naturale notturna

L'utilizzo di sistemi ad attivazione della massa ha tra i suoi pregi, nel caso estivo, quello di poter scaricare la massa durante la notte sia tramite il passaggio di acqua a basse temperature sia attraverso la ventilazione forzata.

L'aria fresca notturna può essere immessa all'interno degli ambienti per dissipare per convezione il calore accumulato dalle strutture e in maniera tale da realizzarne un pre-raffrescamento per il giorno successivo.

L'efficacia di questo sistema dipende dall'escursione termica giornaliera, dalla massa muraria esposta, dalla posizione e dimensione delle chiusure esterne.

I volumi di aria necessari al raffrescamento saranno immessi tramite l'impianto di areazione in modalità free-cooling sfruttando la temperatura dell'aria notturna.

Di seguito il metodo di calcolo semplificato per il calore asportabile tramite ventilazione notturna.

L'analisi verrebbe condotta sul mese di Agosto (mese più caldo):

$$T_{\text{design}} = 32^{\circ} \text{C}$$

$$T_{\text{Mmax}} = 22,5^{\circ} \text{C}$$

$$T_{\text{Mmin}} = 13,3^{\circ} \text{C}$$

$$\Delta T_{\text{M}} = 9^{\circ} \text{Ca}$$

In mancanza di dati precisi sulle temperature notturne si effettuerebbero i vari calcoli utilizzando un range di temperatura interna notturna molto vasto ($12^{\circ} < T_{\text{mnotte}} < 20^{\circ} \text{C}$).

Per calcolare la quantità di calore asportabile tramite ventilazione notturna si procederebbe:

1. Calcolo del calore accumulabile in 15 cm di C.A. variando sia la temperatura superficiale ($21^{\circ} < T_s < 26^{\circ} \text{C}$) sia la temperatura dell'ambiente ($21^{\circ} < T_i < 26^{\circ} \text{C}$)

$$Q_{\text{accumulabile}} = m \Delta T c$$

dove $m = 150.000 \text{ kg}$ e $c = 0,92 \text{ KJ/kgK}$

2. Calcolo dello scambio di energia tra aria e massa, variando sia la temperatura superficiale ($21^{\circ} < T_s < 26^{\circ} \text{C}$) sia la temperatura dell'aria notturna ($12^{\circ} < T_{\text{mnotte}} < 20^{\circ} \text{C}$)

$$Q = A h_c \Delta T$$

dove $A = 400 \text{ m}^2$ e $h_c = 10 \text{ W/m}^2\text{K}$

3. Calcolo dell'energia asportabile tramite 3 vol/h di ricambio notturno al variare sia della temperatura dell'ambiente ($21^{\circ} < T_i < 26^{\circ} \text{C}$) sia la temperatura dell'aria notturna ($12^{\circ} < T_i < 22^{\circ} \text{C}$)

$$Q = \rho c n V \Delta T h$$

dove $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$; $c = 1 \text{ kJ/kgK}$; $n = 3$; $V = 1710 \text{ m}^3$

7.6.8 Conclusioni

I sistemi di riscaldamento e raffrescamento a superficie radiante possono influenzare la temperatura dell'aria ma non l'umidità in un ambiente.

Un'umidità elevata non rappresenta solo un problema di confort termico (limite di afosità), ma può anche limitare la resa di raffrescamento di sistemi a superficie radiante a causa del pericolo di raggiungere il punto di rugiada. Per questo motivo l'attivazione termica della massa verrà realizzata in combinazione con un sistema di ventilazione e di aspirazione forzata, dimensionata per assicurare l'aerazione necessaria ai fini igienici (e trattare gli eventuali picchi) con un sistema di recupero del calore sensibile per limitare le dispersioni.

Al termine del capitolo sugli impianti degli uffici era stata stimata la portata di aria e la temperatura di immissione necessaria per avere il livello di confort interno richiesto.

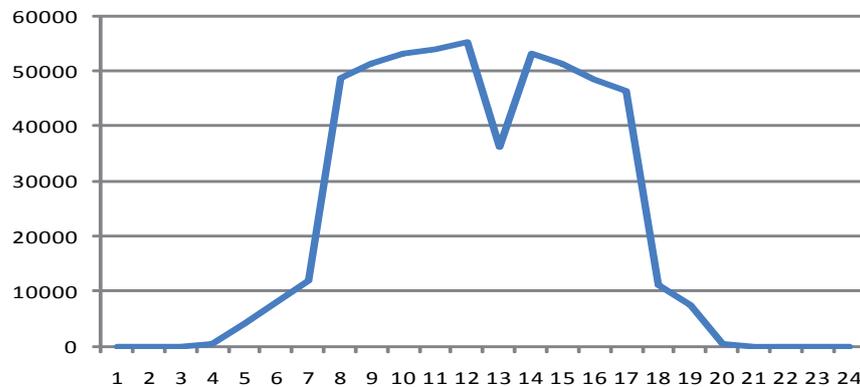
Grazie all'utilizzo dei TABS (durante il periodo estivo), l'impianto ad aria ha la funzione di ricambio d'aria igienico e di gestione di eventuali picchi che l'inerzia non riesce a gestire (a causa della sua limitata velocità di reazione).

Per dimensionare l'impianto ad aria il procedimento è differente data la presenza dei TABS. Infatti l'impianto non dovrà essere dimensionato sul carico di picco ma sul carico medio sulle 24 ore.

Analizziamo ora i carichi interni e i guadagni solari di un giorno di Giugno (i guadagni solari sono stati calcolati tramite il software solrad).

Per i carichi solari si fa riferimento ai carichi per gli uffici già determinati nel capitolo 7.

*Grafico 07.07
Grafico dei carichi interni e dei guadagni per una giornata tipo nel mese di agosto*



Il valore medio sulle 24 ore è uguale a 22550 W.

Tramite TABS riusciamo ad avere una emissione areica uguale a 16470 W, quindi tramite l'aria dobbiamo quindi ci si deve occupare dei rimanenti 6084 W.

Si debbono immettere 2700 m³/h di aria per il ricambio igienico; per abbattere il picco si ha bisogno di 2980 m³/h di aria a 20° C. Questo significa che unicamente con il ricambio minimo di aria richiesto da norma si può controllare l'eccesso di calore derivante dai carichi interni e mantenere un elevato confort.

L'allegato n° 07.08 mostra sul diagramma psicometrico il trattamento a cui l'aria dovrà essere sottoposta.

*Allegato 07.08
Grafico psicometrico comportamento estivo per uffici*

7.7 Il microeolico

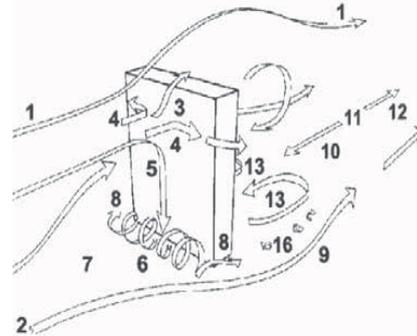
L'obiettivo dell'Unione Europea consiste nel coprire entro il 2020 il 20% dei bisogni energetici attraverso le energie rinnovabili. Ogni Stato Membro avrà una quota di energie rinnovabili da rispettare. Per il Belgio, si dovrà raggiungere un obiettivo del 13% di energie rinnovabili all'interno del consumo di energia.

Nella città di Bruxelles il potenziale di energie rinnovabili non è enorme a causa dell'ambiente urbano e dello spazio limitato. La tecnologia dal maggiore potenziale risulta perciò il solare, ma la Regione di Bruxelles-Capitale dovrebbe comunque prendere in considerazione la possibilità di installare altre fonti di energia rinnovabile, tra cui l'eolica.

Il maggior vantaggio di un sistema eolico è la possibilità di produrre buone quantità di energia anche dalle più piccole potenze installate, consentendo di installare dei generatori di piccole dimensioni anche in luoghi dove sarebbe impossibile installare impianti di grandi potenze, quali l'ambiente urbano, fungendo da centrali complementari, di utilizzo sul posto.

La visibilità di questi impianti in luoghi densamente popolati, se applicata secondo studi estetico-architettonici efficaci, svolge inoltre una funzione di immagine per gli edifici e la città stessa, sensibilizzando la popolazione nei confronti delle energie rinnovabili. La produzione di energia decentralizzata tramite il microeolico contribuisce a rendere consapevole la popolazione dell'utilizzo razionale dell'energia: quando qualcuno produce la propria energia, sarà più consciencioso nel suo utilizzo. Quindi, all'interno di un ambiente urbano denso, la sensibilizzazione della popolazione avrà un impatto ancora più importante.

Gli impianti eolici, qualsiasi essi siano, funzionano sempre in presenza di vento. Più il vento è potente e laminare, più l'eolico dovrà produrre energia. Ora, in ambiente urbano, le turbolenze dovute alla presenza di edifici sono importanti, e il comportamento del vento è di conseguenza di difficile valutazione.



07.28
Schematizzazione degli effetti turbolenti generati intorno ad un edificio.

La realizzazione di simulazioni del comportamento del vento permette di localizzare i potenziali luoghi dove installare generatori eolici urbani, individuando le tre soluzioni ottimali:

- collocazione su edifici più alti della media, ottenendo una velocità del vento più elevata, malgrado le turbolenze;
- collocazione in maniera tale da poter sfruttare corridoi di vento artificiali, generati dalla configurazione degli edifici esistenti;
- integrazione dei generatori nella struttura di edifici di nuova costruzione.

E' però necessario sviluppare uno studio di fattibilità che consenta di conoscere l'impatto, sotto diversi aspetti, generato dall'installazione di un generatore eolico, soprattutto nel caso di un impianto in ambito urbano, dove la densità di popolazione è molto più rilevante rispetto all'ambiente rurale.

Rumore

Il primo inconveniente additato ai generatori eolici è l'inquinamento sonoro, che può essere di diverse nature: meccanica, aerodinamica, vibratoria.

Per ciò che riguarda i grandi impianti, l'allontanamento dagli spazi abitativi e la creazione di nuove tecnologie più silenziosi ha consentito una riduzione del rumore prodotto, ma per quanto riguarda i piccoli generatori le informazioni sono ancora poche e poco attendibili.

Nella Regione di Bruxelles-Capitale sono state definite delle norme regolanti la produzione di rumore in base alle zone determinate dal PRAS ('Plan Régional d'Affectation du Sol': piano regionale di destinazione d'uso del suolo), limitando i periodi di funzionamento degli impianti (ad esempio interrompendolo di notte e nei fine settimana). Sfortunatamente i valori limite di queste norme sul rumore non tengono conto dei numerosi parametri che possono influenzare il rumore emesso e percepito: l'ambiente costruito, il rilievo, la velocità del vento, il livello sonoro ambientale, eccetera.

Paesaggio

Per ciò che riguarda l'impatto visivo, esso dipenderà principalmente dalla tipologia utilizzata, dalla sua forma ed altezza, dal posizionamento e dalla sua visibilità dagli spazi pubblici.

Un sistema eolico può costituire una cicatrice nel volto della città come può contribuire all'abbellimento dell'ambiente cittadino se studiato come elemento architettonico e di design urbano.

Biodiversità

Studiando il posizionamento delle pale eoliche di grandi dimensioni, è necessario prendere in considerazione le rotte di volo e di migrazione degli uccelli e la reperibilità del loro cibo. Per quanto riguarda i piccoli impianti, in particolare se situati in aree cittadine, è fondamentale l'impatto sui chiropteri, i quali, con il loro sistema di orientamento ad ultrasuoni, non sono in grado di notare la differenza di pressione improvvisa che si sviluppa in prossimità delle pale, subendo gravi danni ai polmoni. Poiché a Bruxelles si trovano numerose specie protette di pipistrelli, questo fattore va tenuto presente nella definizione delle aree adatte ad impianti eolici.

Impianti Micro-eolici

Generalmente, per definire un impianto come micro-eolico, si fa riferimento ad una potenza installata inferiore ai 100kW, in analogia all'idroelettrico, pur sapendo che al di sotto di 20-30kW si tratterà di un impiego domestico, mentre al di sopra risulterà facilmente ad utilizzo industriale, tipicamente di qualche centinaio di kW.

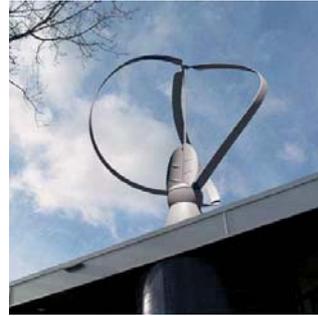
Esistono differenti tipi di turbine eoliche di piccole potenze:

- generatori ad asse orizzontale
(HAWT: Horizontal Axis Wind Turbines)



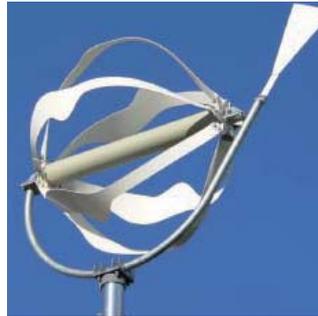
07.29
Turbina micro-eolica ad asse orizzontale, di tipo multipala.

- generatori ad asse verticale
(VAWT: Vertical Axis Wind Turbines)



07.30
Turbina micro-eolica ad asse verticale (macchina tipo Darrieus).

- generatori Venturi



07.30
Turbina micro-eolica di tipo Venturi.

La tecnologia più matura è rappresentata dal generatore ad asse orizzontale: escludendo la tipologia monopala e multipala che hanno applicazioni particolari, il mercato si è concentrato sul bipala e tripala, orientandosi prevalentemente su quest'ultima configurazione in quanto caratterizzata da coppia motrice più uniforme (e quindi di durata maggiore), energia prodotta leggermente superiore (cioè rendimento maggiore in linea di principio), nonché minore disturbo visivo, in virtù di una configurazione più simmetrica e di una minore velocità di rotazione, più riposante per li occhi di chi la osserva. Il rotore orizzontale però non risulta adatto all'applicazione in ambiente urbano a causa della presenza di turbolenze.

I generatori ad asse verticale invece, presentano il vantaggio di poter funzionare con vento proveniente da qualunque direzione, ma si caratterizzano per un minor rendimento. Si caratterizzano inoltre per una minor velocità di rotazione, inducendo minori vibrazioni e produzione sonora.

Le VAWT si distinguono principalmente in due tipologie: la macchina Savonius, applicabile solo con potenze ridotte essendo caratterizzata da una forte coppia di spunto, che consente un avviamento a basse velocità ma alta vulnerabilità a velocità elevate, e la macchina Darrieus, caratterizzata da un buon rendimento, ma da una scarsa coppia di spunto che non le permette di avviarsi spontaneamente.

7.7.1 Fattibilità in RBC

La Région de Bruxelles-Capitale ha approfondito lo studio di fattibilità dell'installazione di impianti eolici, rilevando una grossa limitazione indotta dalla prossimità dell'aeroporto di Zaventem: tutta la regione infatti si situa all'interno dell'area di controllo di Belgocontrol, dove, per la sicurezza degli aerei, nessun generatore eolico di medie e grandi dimensioni è tollerato, viste le interferenze con i sistemi di comunicazione aerea. I generatori eolici possono infatti mascherare il segnale degli aerei oppure provocare falsi eco ed effetti doppler. Rimangono utilizzabili solamente alcune aree poste a Sud-Ovest della regione.

E' stato però ugualmente previsto un approccio a lungo termine per l'integrazione dell'energia eolica all'interno di una riflessione globale di sviluppo regionale, prevedendo possibili misurazioni per l'introduzione della fattibilità all'interno dei piani attuativi di sviluppo.

Al momento sono state solo individuate delle macroaree di particolare interesse per l'introduzione dell'eolico, in particolare di piccole dimensioni.

07.31
Aree di interesse per l'installazione di generatori micro-eolici nella regione di Bruxelles-Capitale.
(fonte: www.bruxelles-environnement.be)

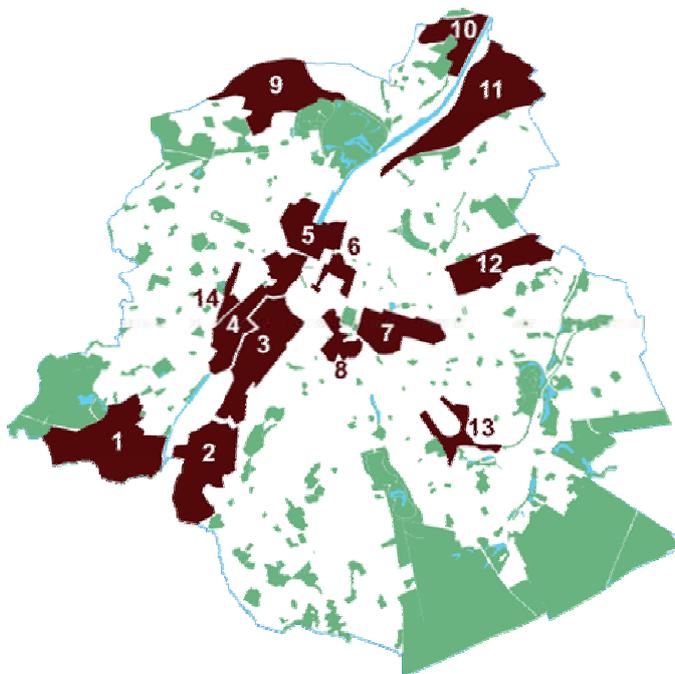


Tabella 07.19
Possibilità di installazioni eoliche nei differenti quartieri in RBC.
(fonte: www.bruxelles-environnement.be)

ZONES	P D I	Z I R	POSSIBILITES D'INTEGRATION ULTERIEURES			INTERVENTIONS POSSIBLES
			Petit éolien	Moyen éolien	Grand éolien	
1 Erasme			oui	oui	oui	SD, PPAS, RCU
2 Forest			oui	oui	oui	SD, PPAS, RCU
3 Midi	X		oui	non	non	SD, PPAS, RCU
4 Canal			oui	non	non	SD, PPAS, RCU
5 Tour & Taxis	X	X	oui	p-e	non	PPAS, RCU
6 Botanique	X		oui	non	non	PPAS, RCU
7 Europe	X		oui	non	non	PPAS, RCU
8 Toison d'Or	X		oui	non	non	SD, PPAS, RCU
9 Heysel	X	X	oui	p-e	non	SD, PPAS, RCU
10 Hôp. Milit.			oui	(non) ¹	non	SD, PPAS, RCU
11 Schaerbeek	X	X	oui	(non) ¹	non	PPAS, RCU
12 RTBF-VRT			oui	non	non	PPAS, RCU
13 Delta	X		oui	non	non	PPAS, RCU
14 Gare Ouest	X	X	oui	p-e ²	non	PPAS, RCU

Dato l'alto potenziale eolico presente nella regione, scarsamente sfruttabile, le istituzioni locali si propongono di sostenere gli studi mirati ad un utilizzo della tecnologia micro-eolica all'interno della città, in particolare studiando gli effetti dell'inserimento nel sistema di una produzione energetica decentralizzata ed i possibili problemi conseguenti.

7.7.2 Applicazione

Osservando lo studio di fattibilità effettuato dalla RBC, si è scelto di sperimentare l'introduzione di pale micro-eoliche nel quartiere della Toison d'Or, indicata come una delle possibili aree destinabili a quest'applicazione.

Trovandosi in un ambiente urbano dalla morfologia e edificazione irregolari, gli effetti turbolenti sviluppati risultano rilevanti, perciò si è optato per l'applicazione di VAWT, integrandole sia nell'arredo urbano che nel T.I.N.-Tin Building.

Osservando il grafico del vento, si è notato come la direzione prevalente coincidesse con la direzione del boulevard de Waterloo, spingendo quindi verso la decisione di inserire lungo tutta la sua lunghezza un parco eolico.

Il restringimento del passaggio consentito al vento indurrà un incremento della velocità dello stesso dovuto all'effetto Venturi, aumentando di conseguenza la produttività dell'impianto.

Si è scelto di inserire delle turbine ad asse verticale, tipo S594 della Helix Wind, caratterizzate da un forte impatto estetico, dell'altezza di circa 10m, inserite a lato della passeggiata centrale.

I possibili disturbi sonori producibili risultano qui di scarsa rilevanza, trovandosi le turbine immerse in un ambiente pubblico, già facilmente rumoroso, ed essendo isolate rispetto agli edifici affacciati sul boulevard dalla cortina di alberi inseriti a fianco dei marciapiedi laterali.

Altre turbine saranno inserite in corrispondenza della copertura d'ingresso all'hotel del T.I.N.-Tin Building.

Si sono inserite poi anche delle turbine anche in cima alla torre, a 75m circa, sfruttando in questo modo i venti più forti dovuti alla quota.

Essendo gli effetti turbolenti in copertura particolarmente rilevanti, si sono inserite turbine sempre ad asse verticale, di tipo 'UGE 4k' della UrbanGreenEnergy, meno attraenti esteticamente, ma caratterizzate da una maggiore potenza.

Anche in questo caso, il disturbo arrecabile dall'inquinamento acustico risulta poco rilevante, non interagendo le turbine con gli edifici circostanti ed essendo protette anche dal prolungamento delle facciate vetrate del corpo uffici.

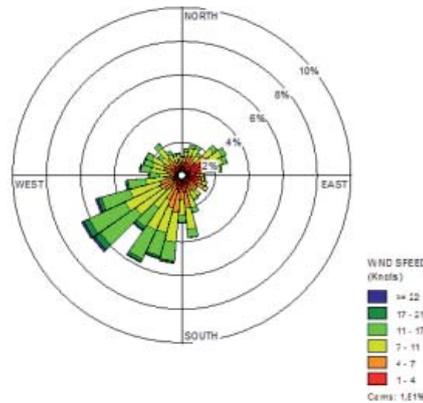


Grafico 07.08
Vento in RBC, velocità e percentuali.
(fonte: Belgocontrol)



07.32
Generatore micro-eolico tipo Helix Wind S592.
(fonte: www.helixwind.net)



07.33
Generatore micro-eolico tipo UGE4k.
(fonte: www.urban-greenenergy.com)

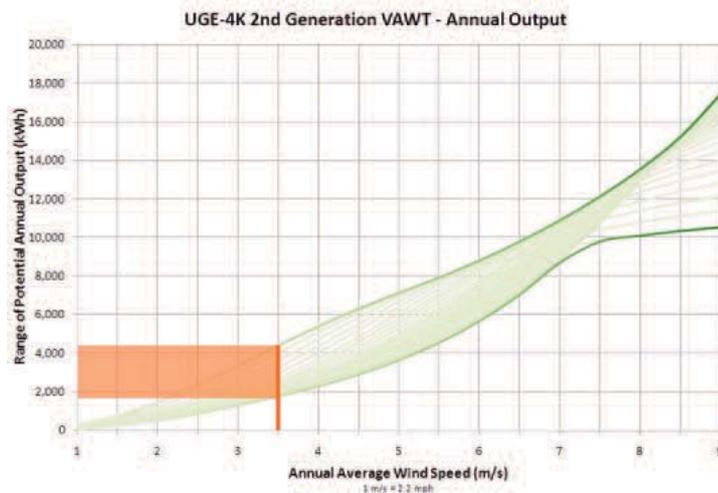
Produttività

Le turbine eoliche scelte sono caratterizzate da una potenza di picco di 4kWh ciascuna, producibile con un vento della velocità di 12m/s circa, con una velocità operativa compresa tra i 3,5 ed i 30 m/s.

Considerando la velocità media annuale nella città di Bruxelles pari a 3,5m/s (fonte: Institut Royal Meteorologique), le turbine risultano mediamente operative con continuità durante l'anno.

La velocità prevalente, in particolare per il vento proveniente da Sud-Ovest, risulta compresa tra i 3,6m/s e gli 11m/s, rientrando quindi perfettamente nel range operativo delle pale

07.34
Produttività annuale
della turbina UGE4k.
(fonte: www.urban-greenenergy.com)



Dal grafico fornito dal produttore, si ottiene un'energia complessiva prodotta in un anno di 1800-4000 kWh per ogni turbina.

Data la possibile installazione di 30 turbine sulla copertura e 7 turbine di fronte all'ingresso, si possono ottenere, connettendo queste sorgenti all'edificio in un sistema ad uso privato connesso alla rete, circa 110000 kWh/anno di produzione elettrica.

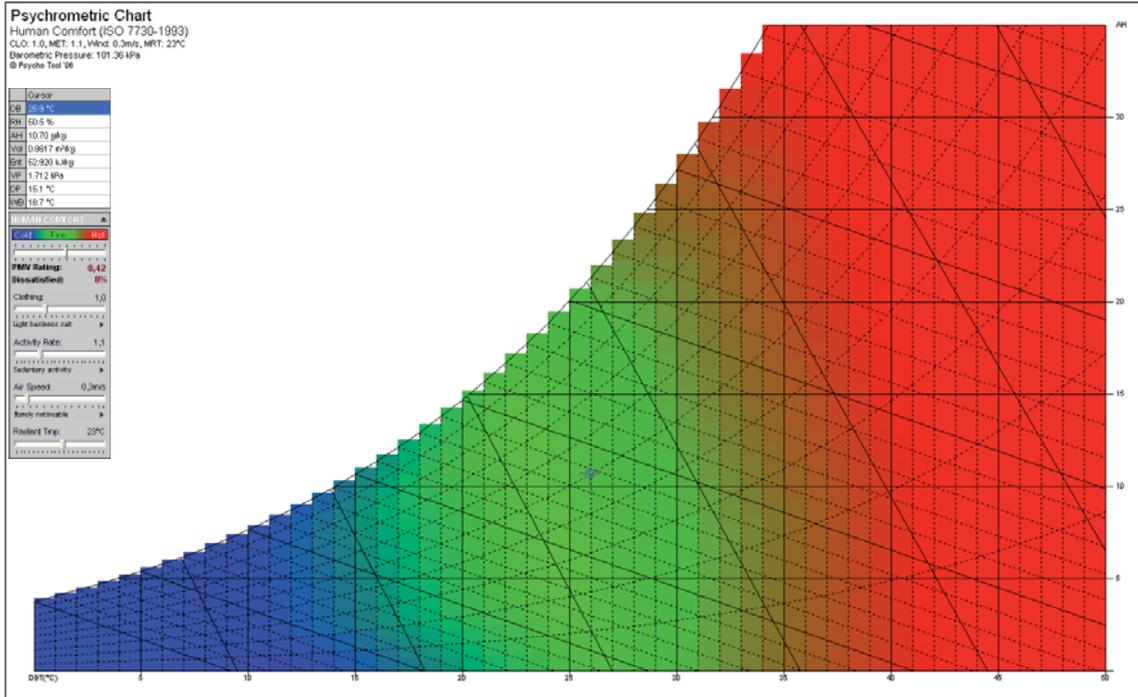
Per quanto riguarda il boulevard, si tratterà di un parco eolico cittadino, quindi di un sistema *grid-connected*, dotato di 160 pale da 4,5 kW di potenza di picco, operative con una velocità di cut-in di 5m/s, capaci di produrre, in media, circa 3300kWh/anno (fonte: Helix Wind).

Si ottiene quindi una produzione annua complessiva di circa 530000 kWh.

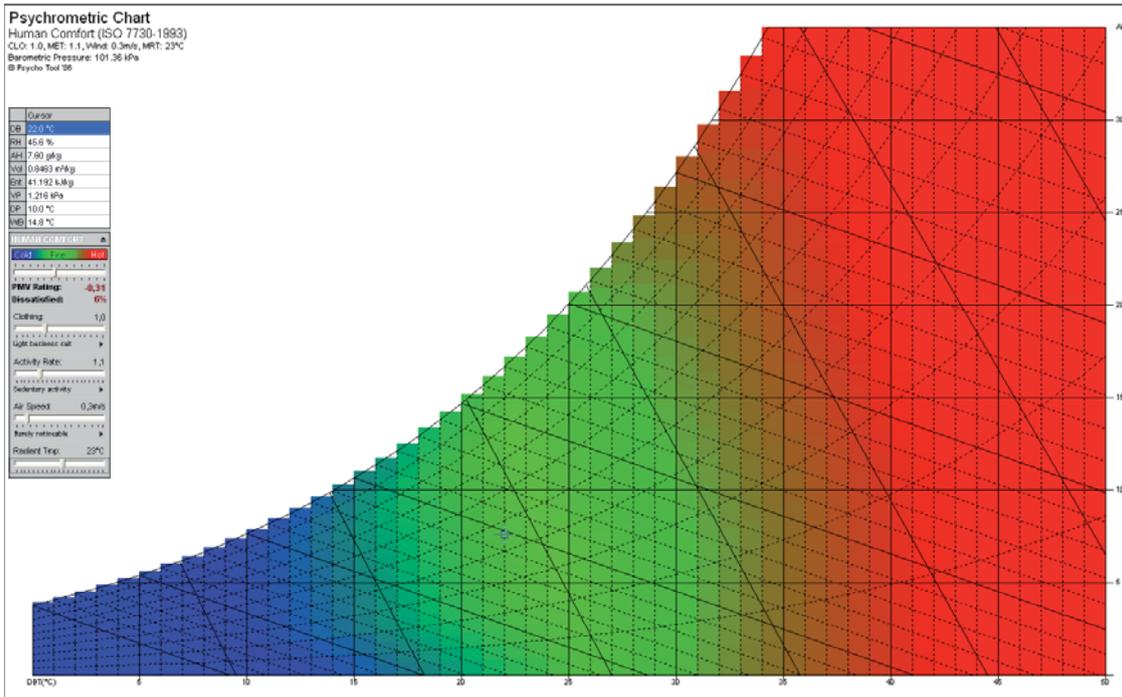
ALLEGATI

- Il Progetto Impiantistico -

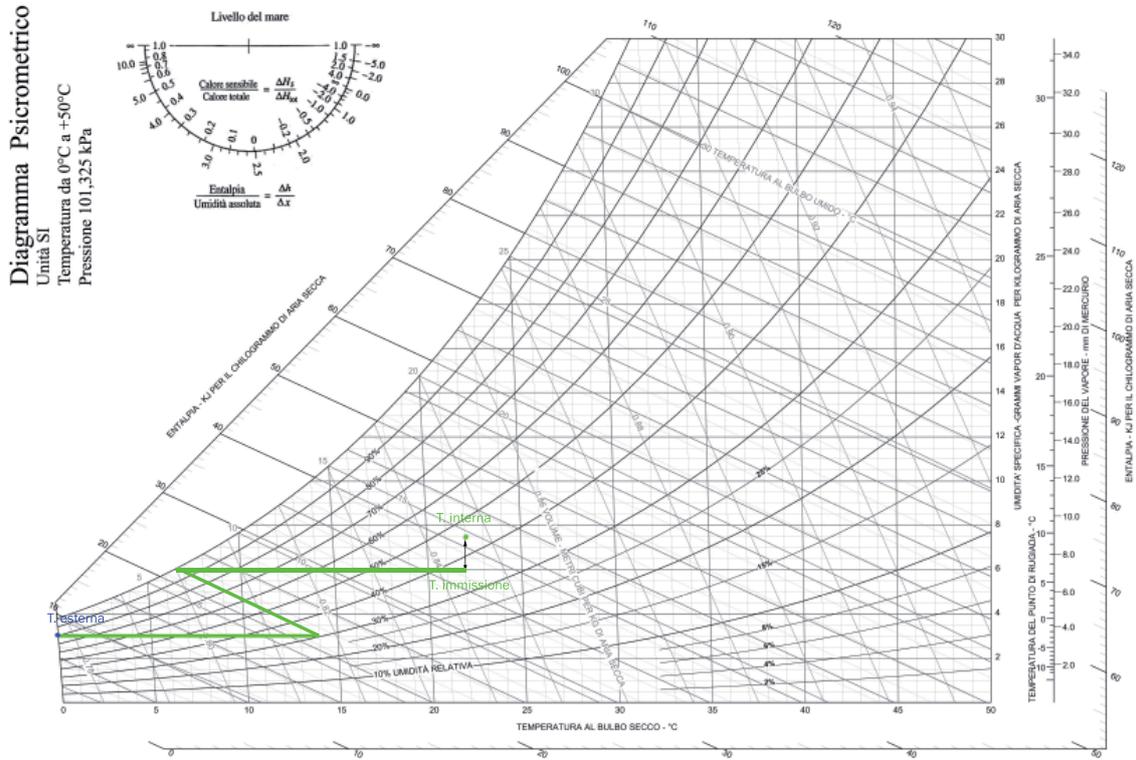
Allegato 07.01 Determinazione situazione di comfort, caso estivo, nella stanza



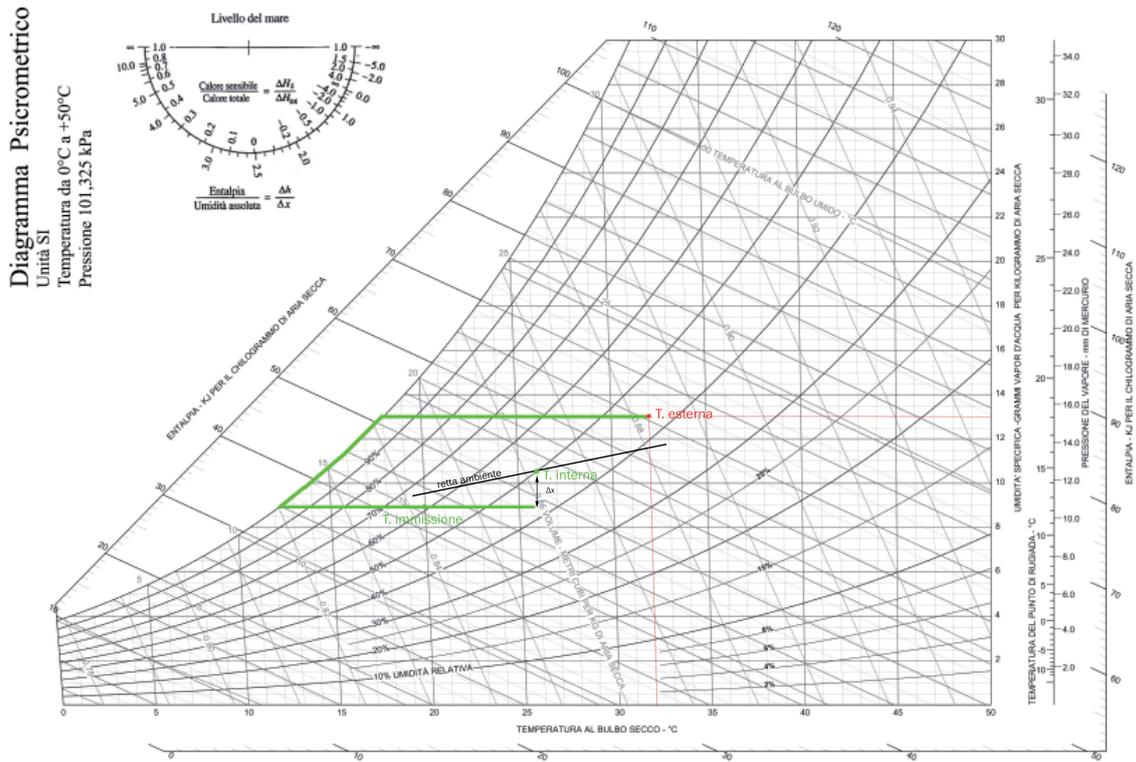
Allegato 07.02 Determinazione situazione di comfort, caso invernale, nella stanza



Allegato 07.03 Trattamento aria invernale stanza



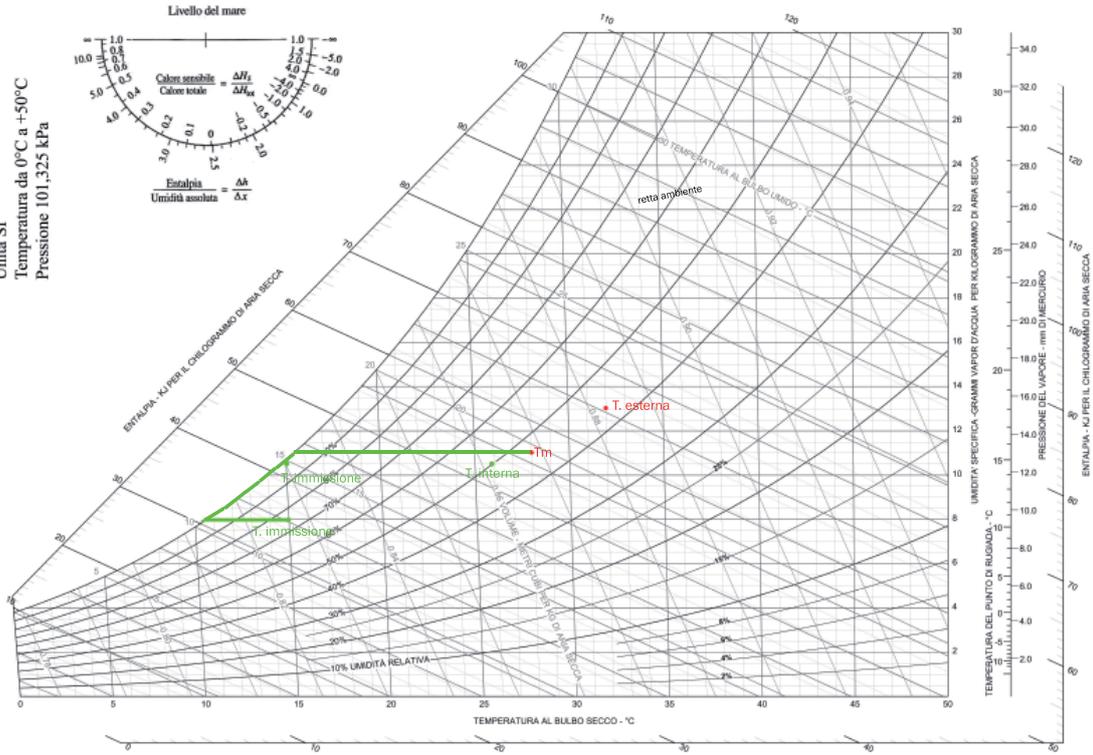
Allegato 07.04 Trattamento aria estiva stanza



Allegato 07.07 Trattamento aria estiva uffici

Diagramma Psicrometrico

Unità SI
 Temperatura da 0°C a +50°C
 Pressione 101,325 kPa



Bibliografia

- [01] A.A.V.V. , *L'invention de la tour européenne*, Barcelone 2009
- [02] ARREDI MARINA PIA, *Edilizia per uffici : uffici, banche, studi professionali, pubblica amministrazione*, UTET Scienze Tecniche 2004
- [03] BARI FILIPPO, *Corti solari: residenze energeticamente efficienti*, Tesi di laurea, Politecnico Milano 2009
- [04] BETTO GUGLIELMO, *Le piante rampicanti*, Milano 1986
- [05] BORGHI ANDREA, LOBACCARO GABRIELE, ZANI GIULIO, *Strategie progettuali per un grattacielo ecosostenibile a Torino Porta Susa* , Tesi di laurea, Politecnico Milano 2006/07
- [06] BOTTAZZI ANDREA, *Green wind tower : grattacielo bioclimatico a Newcastle – Australia*, Tesi di laurea, Politecnico Milano 2006/07.
- [07] BUCCINO GIANPAOLO, *Il Grattacielo strutturalmente considerato*, Prospettive Edizioni, Roma, 2003
- [08] BUNGALE S. TARANATH, *Steel, concrete, and composite design of tall buildings* , McGraw-Hill, New York 1998
- [09] CARLINO A., GIORGETTA E., PITTAU F., *Innovazione verso l'alto e sostenibilità verso l'ambiente : progetto di un edificio a torre multifunzionale*, Tesi di laurea, Politecnico di Milano 2007/08
- [10] CORBO LEONARDO; CORBO ANTONIO ED EMANUELA, *Manuale di prevenzione incendi nell'edilizia e nell'industria*, Il Sole 24 Ore Pirola, Milano 2004
- [11] CORRADO LATINA, MARIA CHIARA TORRICELLI, *Edilizia per il turismo e la ristorazione : alberghi, motel, villaggi turistici, agriturismo, ristoranti, bar*, UTET Scienze Tecniche, Torino 2007
- [12] DARIO TRABUCCO, *Pelle ed Energia*, Modulo 340, Aprile 2008
- [13] DELL'ORO DAVIDE, GALMOZZI VALENTINA, *Strategie progettuali, strutturali ed energetiche per una torre bioclimatica a Pechino*, Tesi di laurea - Politecnico Milano 2003/04
- [14] DESSÌ SIMONE, *Vento di levante : progetto di un edificio a torre a Pechino con caratteri di risparmio energetico e controllo del rumore negli spazi confinanti*, Tesi di laurea, Politecnico di Milano 2003
- [15] DUNNETT NIGEL KINGSBURY NOEL, *Toits et murs vegetaux*, Editions du Rouergue 2008
- [16] FAVRE R. JACCOUD J.P.; KOPRNA M. RADOJICIC A., *Progettare in calcestruzzo armato: piastre, muri, pilastri e fondazioni*, Hoepli 1994
- [17] GAMBAROVA P. G., CORONELLI D., BAMONTE P., *Linee guida per la progettazione delle piastre*

in c.a., Patron 2008

- [18] GISSEN DAVID, *Big & green : toward sustainable architecture in the 21. century* Washington, National building museum 2002
- [19] GOTTFRIED A. , *L'edilizia turistica e alberghiera*, Hoepli 2007
- [20] GRASSI WALTER , SCATIZZI GIANPAOLO, *Moderne soluzioni impiantistiche per il risparmio energetico*, Maggioli Editore 2001
- [21] HARRIS POIRAZIS, *Double Skin Façades for Office Buildings*, Lund University, 2004
- [22] HERZOG T., LANG W., KRIPPNER R., *Atlante delle facciate*, Utet Scienze Tecniche 2004
- [23] JOHANN EISELE, ELLEN KLOFT, *High-Rise manual : typology and design, construction and technology*, Basel 2002
- [24] MOLteni MATTEO EDOARDO, RINI LUCA, *Ti.Co.SA. Torre in Como in un'area sostenibile : ri-qualificazione del quartiere e studio di un edificio*, Tesi di laurea, Politecnico Milano 2005/06
- [25] MONCADA LO GIUDICE GINO, DE SANTOLI LIVIO, *Progettazione di impianti tecnici: problemi ed applicazioni*, CEA 2000
- [26] OBSERVATOIRE DES BUREAUX, *Bruxelles ses bureaux ses employés*, Bruxelles 2009
- [27] OESTERLE EBERHARD, *Double-skin facades: integrated planning; building physics, construction, aerophysics, air-conditioning, economic viability* , Monaco di Baviera 2001
- [28] P. VAN BRABANT, *Regards sur le développement urbain de Bruxelles (dossier pédagogique)*, Musée de la Ville de Bruxelles 2009
- [29] PACCATI RICCARDO, RIVA CRISTIAN, *Energy tower : Concorso internazionale «Abitare a Milano 2» : Progettazione di un nuovo spazio urbano per l'insediamento di edilizia sociale nel quartiere Giambellino*, Tesi di Laurea, Politecnico di Milano 2006/07
- [30] ROSSI NICOLA, *manuale del termotecnico: fondamenti, riscaldamento, condizionamento, refrigerazione*, Hoepli Editore 2003
- [31] SCAWTHORN CHARLES, *Fire safety in tall buildings*, council on tall buildings and urban habitat, Committee 8A, Cliff Barnett , editorial group Duiliu Sfantescu, Joseph Zicherman, McGraw-Hill, New York 1992
- [32] SCHUITEN LUC, *Vegetal City*, éd. P. Mardaga, Bruxelles 2009
- [33] SCOTT JOHNSON, *Tall building : imagining the skyscraper* , Balcony Press, Glendale 2008
- [34] WELLS MATTHEW, *Skyscrapers : structure and design*, Laurence King Publishing, London 2005

- [35] WILLIS CAROL, *Empire state building : 21 mesi per costruire il grattacielo più alto del mondo*, Mondadori Electa, Milano 2004
- [36] YEANG KEN , *Designing with nature : the ecological basis for architectural design*, New York 1995
- [37] YEANG KEN, *Bioclimatic skyscrapers*, London, Zurich ,Munich, Artemis, 1994
- [38] YEANG KEN, *Ecodesign: a manual for ecological design*, Press Academy 2006
- [39] YEANG KEN, *Reinventing the skyscraper : a vertical theory of urban design*, Wiley-Academy, 2002
- [40] YEANG KEN, *The green skyscraper : the basis for designing sustainable intensive building*, UK, Prestel Publihsers, 2000