POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Architettura e Design

Corso di Laurea Magistrale
in Architettura per la Sostenibilità

Tesi di Laurea Magistrale

Progettare con il clima:
applicazioni contemporanee del metodo Olgyay in architettura.

Relatore:
Sergio Pace

Correlatore:
Roberto Giordano

Candidato:
Pietro Bartalini
s333209

Anno Accademico 2025/2026

INDICE ANALITICO

Pag.

1. Lista delle figure e delle tabelle 6

1.1 Lista delle figure 6

1.2 Lista delle tabelle 8

2. Introduzione 12

3. Contesto storico e interpretazione del metodo Olgyay 14

3.1 Formazione e studi 14

3.2 Casi studio 15

3.2.1 Introduzione 15

3.2.2 Tschögl Building, Olgyay & Olgyay, Budapest, 1939-1941 15

3.2.3 Stühmer Chocolate Factory, Olgyay & Olgyay, Budapest, 1939-1941 16

3.2.4 Ena de Silva House, Geoffrey Bawa, Colombo, 1960-1962 17

3.2.5 Parekh House, Charles Correa, Ahmedabad, 1967-1968 19

3.2.6 Kelbaugh House, Douglas Kelbaugh, Princeton, New Jersey, 1974-1975 20

3.2.7 Magney House, Glenn Murcutt, Bingie Point, 1982-1984 21

3.2.8 Commerzbank Tower, Foster & Partners, Francoforte, 1994-1997 23

3.2.9 Grattacielo Intesa Sanpaolo, Renzo Piano, Torino, 2009-2015 25

3.2.10 Conclusione 27

4. Spiegazione del metodo Olgyay 30

4.1 Glossario dei termini 30

4.2 Lavorare con il clima 31

4.3 La zona di comfort 34

4.4 Maschere d'ombra 40

4.5 Calcolo della radiazione solare 43

4.6 Conclusioni 47

5. Scritti successivi 50

5.1 Introduzione 50

5.2 Manuali tecnici 50

5.2.1 Givoni B.: *Man, climate and architecture*; 1969 5

5.2.2 Izard J.-L.; Guyot A.: *Archi Bio: architettura bioclimatica*; 1979 5

5.2.3 Grosso M.: *Il raffrescamento passivo degli edifici in zona a clima temperato*; 1997 57

5.2.4 Rogora A.: *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*; 2012 61

5.3 Articoli scientifici 62

5.3.1 Sayigh A.A.M., Alajlan S.: *Bioclimatic Approach to Building Design*; 1995 62

5.3.2 Sayad B. et al.; *Designing for optimum thermal comfort using bioclimate simulation and analysis as an urban and architectural design and educational support tool*; 2022 67

5.3.3 Herb S.; *Beyond the Bioclimatic Chart*; 2024 71

6. Applicazione 74

6.1 Introduzione 74

6.2 Perchè usare il clima temperato europeo come metro di riferimento 74

6.3 Panoramica del software 74

6.4 Torino 80

6.5 Conclusione 83

7. Validità del metodo nella progettazione corrente 84

7.1 Introduzione 84

7.2 BcChart v2.0 84

7.3 Andrew Marsh 84

7.3.1 3D Sun Path 85

7.3.2 Psychrometric Chart 86

7.3.3 Dynamic Overshadowing 92

7.4 Windfinder 94

7.5 Conclusione 97

8. Conclusioni 98

9. Bibliografia 100

10. Sitografia 102

1. Lista delle figure e delle tabelle

1.1 Lista delle figure

Capitolo 3 Pag.

Fig. 3.1: *Victor e Aladár Olgyay, c. 1951.* 14
Fig. 3.2: *Facciata sud della Reverse House.* 16
Fig. 3.3: *Vista aerea della Reverse House.* 16
Fig. 3.4: *Sezione planimetrica e sezione prospettica di un balcone della Reverse House.* 16
Fig. 3.5: *Stühmer Chocolate Factory, Budapest.* 17
Fig. 3.6: *Cortile interno della Ena de Silva House.* 18
Fig. 3.7: *Planimetria del piano terra della Ena de Silva House.* 18
Fig. 3.8: *Sezione prospettica della Ena de Silva House.* 18
Fig. 3.9: *Facciata esterna della Ena de Silva House.* 18
Fig. 3.10: *Parekh House, Ahmedabad.* 19
Fig. 3.11: *Planimetria del piano terra della Parekh House.* 20
Fig. 3.12: *Facciata sud della Kelbaugh House.* 20
Fig. 3.13: *Schema di funzionamento del muro di Trombe della Kelbaugh House.* 21
Fig. 3.14: *Interno della Magney House.* 22
Fig. 3.15: *Facciate nord e est della Magney House.* 22
Fig. 3.16: *Facciata nord della Magney House.* 22
Fig. 3.17: *Corte interna della Magney House.* 23
Fig. 3.18: *Facciate sud e est della Magney House.* 23
Fig. 3.19: *Commerzbank Tower.* 23
Fig. 3.20: *Atrio della Commerzbank Tower, visto dall'alto* 24
Fig. 3.21: *Dettaglio di uno dei giardini interni della Commerzbank Tower.* 24
Fig. 3.22: *Grattacielo Intesa Sanpaolo, visto dai Giardini Nicola Grosa.* 25
Fig. 3.23: *Pannelli fotovoltaici della facciata sud.* 26
Fig. 3.24: *Serra Bioclimatica.* 26

Capitolo 4 Pag.

Fig. 4.1: *Schema riassuntivo del metodo Olgyay.* 31
Fig. 4.1a: *Fase 1.* 31
Fig. 4.1b: *Fase 2.* 32
Fig. 4.1c: *Fasi 3 e 4.* 32
Fig. 4.1d: *Fase 5.* 33
Fig. 4.1e: *Fase 6.* 34
Fig. 4.2: *Grafico Bioclimatico.* 35
Fig. 4.3: *Dati climatici dell'area New York-New Jersey.* 37
Fig. 4.4: *Andamento della temperatura e dell'umidità nell'area New York-New Jersey.* 37
Fig. 4.5: *Tabella dei bisogni climatici dell'area New York-New Jersey.* 38
Fig. 4.6: *Periodo Sovrariscaldato della città di Minneapolis.* 41
Fig. 4.7: *Composizione del diagramma di percorso solare.* 41
Fig. 4.8: *Sovrapposizione tra diagramma di perorso solare e periodo sovrariscaldato in quattro regione climatiche americane.* 41
Fig. 4.9: *Tipologie principali di frangisole, accompagnate dalle rispettica maschere d'ombra.* 42
Fig. 4.10: *Relazione tra inclinazione dei raggi solari ed intensità della radiazione solare.* 44
Fig. 4.11: *Diagrammi di percorso solare.* 44
Fig. 4.12: *Calcolatori della radiazione solare su superfici orizzontali e verticali.* 45
Fig. 4.13: *Sovrapposizione tra diagramma di percorso solare e calcolatore della radiazione solare.* 46

Capitolo 5 Pag.

Fig. 5.1: *Tipologie di frangisole, ereditate da Olgyay.* 50
Fig. 5.2: *Goniometro della radiazione solare einterazione con il diagramma di percorso solare.* 51
Fig. 5.3: *Relazione tra pressione di vapore media mensile ed escursione termica esterna.* 53
Fig. 5.4: *Grafici psicrometrici di Givoni, contenenti i parametri N, M e V.* 53
Fig. 5.5: *Grafici psicrometrici di Givoni, contenenti i parametri N, M, V, W, H, E.C. e A.C..* 54
Fig. 5.6: *Poligono Psicrometrico di Vogt e Miller-Chagas.* 56
Fig. 5.7: *Diagramma del percorso solare e temperature medie orarie della città di Torino.* 60
Fig. 5.8: *Diagrammi dei frangisole e maschere d'ombra di alcuni esempi.* 60
Fig. 5.9: *Maschere d'ombra di alcuni esempi di frangisole (1).* 60
Fig. 5.10: *Maschere d'ombra di alcuni esempi di frangisole (2).* 60
Fig. 5.11: *Applicazione del grafico bioclimatico di Olgyay alla città di Riyad.* 62
Fig. 5.12: *Tabella della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa medie mensili della città di Riyad.* 62
Fig. 5.13: *Applicazione del grafico psicrometrico di Givoni alla città di Riyad.* 63
Fig. 5.14: *Applicazione della tabella di Mahoney degli indicatori di umidità e aridità alla città di Riyad.* 64
Fig. 5.15: *Raccomandazioni architettoniche per la progettazione di un edificio nella città di Riyad.* 65
Fig. 5.16: *Grafico Psicrometrico con le tre zone di comfort di Szokolay.* 66
Fig. 5.17: *Control Potential Zones della città di Riyad.* 66
Fig. 5.18: *Grafico Psicrometrico con le strategie passive applicabili ad un edificio nella città di Riyad.* 66
Fig. 5.19: *Range delle temperature mensili della città di Guelma.* 67
Fig. 5.20: *Media delle precipitazioni mensili della città di Guelma.* 67
Fig. 5.21: *Media delle radiazioni solari mensili della città di Guelma.* 68
Fig. 5.22: *Media delle velocità del vento mensili della città di Guelma.* 68
Fig. 5.23: *Calcolo del quoziente di precipitazione della città di Guelma.* 68
Fig. 5.24: *Correlazione tra andamento delle precipitazioni e della temperatura nella città di Guelma.* 69
Fig. 5.25: *Grafico Psicrometrico della città di Guelma, diviso in periodi climatici.* 69
Fig. 5.26: *Diagramma delle zone climatiche della città di Guelma.* 69

Capitolo 7 Pag.

Fig. 7.1: *Schermata di avvio della webapp 3D Sun Path di Andrew Marsh.* 85
Fig. 7.2: *Pannello con le coordinate geografiche, la data, l'ora e i principali parametri solari.* 86
Fig. 7.3: *Diagramma di percorso solare equidistante, all'interno di 3D Sun Path di Andrew Marsh.* 86
Fig. 7.4: *Diagramma giorno-notte, con indicazione di alba, tramonto e durata dell'illuminazione diurna.* 86
Fig. 7.5: *Comparazione grafica tra il diagramma psicrometrico rappresentato da Andrew Marsh e il grafico bioclimatico di Olgyay.* 91
Fig. 7.6: *Schermata di avvio della webapp Dynamic Overshadowing di Andrew Marsh.* 92
Fig. 7.6a: *Maschera d'ombra sovrapposta a diagramma di percorso solare.* 93
Fig. 7.7: *Foto globoscopica sovrapposta al diagramma di percorso solare.* 93
Fig. 7.8: *Confronto tra tre diverse condizioni di luminanza del cielo applicate alla maschera d'ombra e sovrapposte al diagramma di percorso solare.* 94
Fig. 7.8a: *Cielo bianco-azzurro, con corona distinta.* 94
Fig. 7.8b: *Cielo parzialmente nuvoloso con presenza di sole.* 94
Fig. 7.8c: *Cielo coperto con variazione marcata della luminanza.* 94
Fig. 7.9: *Rappresentazione della velocità e della direzione del vento all'interno di Windfinder.* 95
Fig. 7.10: *Rappresentazione della temperatura dell'aria all'interno di Windfinder.* 95
Fig. 7.11: *Rappresentazione della quantità di precipitazione all'interno di Windfinder.* 95
Fig. 7.12: *Ingrandimento alla scala urbana di Torino della rappresentazione del vento in Windfinder.* 95
Fig. 7.13: *Sezione "Bollettino" di Windfinder per l'Aeroporto di Torino, con dati meteorologici in tempo reale e andamento della velocità e della direzione del vento.* 96

1.2 Lista delle tabelle

Capitolo 6 Pag.

Tab. 6.1: *Schermata di avvio di BcChart v2.0.* 75
Tab. 6.1a: *Dati climatici della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunti come esempio.* 76
6.1b: *Andamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunto come esempio.* 76
Tab. 6.1c: *Andamento della radiazione solare, dei gradi giorno di riscaldamento e dei gradi giorno di raffrescamento della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunto come esempio.* 76
Tab. 6.2: *Grafici bioclimatici, base e modificato, della città di Torino relativi al periodo 2020-2025, assunto come esempio.* 77
Tab. 6.3: *Schermata di analisi del potenziale bioclimatico della città di Torino relativo al periodo 2020-2025, assunto come esempio.* 79
Tab. 6.4: *Schermata della sezione "About" del software BcChart v2.0, contenente informazioni sugli autori, sulla base teorica di riferimento e sui termini d'uso.* 79
Tab. 6.5: *Dati climatici della città di Torino nel periodo 2003-2023.* 80
Tab. 6.6: *Andamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa della città di Torino nel periodo 2003-2023.* 80
Tab. 6.7: *Andamento della radiazione solare, dei gradi giorno di riscaldamento e dei gradi giorno di raffrescamento della città di Torino nel periodo 2003-2025.* 80
Tab. 6.8: *Grafico bioclimatico base della città di Torino relativo al periodo 2003-2025.* 81
Tab. 6.9: *Grafico bioclimatico modificato della città di Torino relativo al periodo 2003-2025.* 81
Tab. 6.10: *Ripartizione annuale del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, rappresentata tramite grafico a torta.* 82
Tab. 6.11: *Ripartizione annuale del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, espressa in percentuale rispetto alle strategie climatiche individuate da BcChart v2.0.* 82
Tab. 6.12: *Andamento mensile del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, con indicazione della variazione stagionale delle strategie passive e delle condizioni di comfort.* 82

Capitolo 7 Pag.

7.1: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, nella visualizzazione di partenza.* 87
7.2: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante i range di efficacia delle strategie passive.* 87
7.3: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante l'indice di stress termico per attività lavorative all'aperto.* 88
7.4: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante il voto medio previsto, secondo lo standard ISO 7730:2005.* 88
7.5: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante la distribuzione delle condizioni termoigrometriche.* 89
7.6: *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante il range termoigrometrico di ciascun mese.* 89
7.6a: *Slider della temperatura media esterna.* 89
7.7: *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 10 °C.* 90
7.8: *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 19 °C.* 90
7.9: *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 26 °C.* 90
7.10: *Diagramma psicrometrico rappresentato con il metodo di Givoni.* 91
7.11: *Diagramma psicrometrico rappresentato con il metodo di Olgyay.* 91
7.12a-b: *Esempio di calcolo della temperatura percepita a partire da una temperatura dell'aria di 10 °C, con variazione del risultato in funzione dell'aumento della velocità del vento da 10 km/h (Tab. 7.12a) a 20 km/h (Tab. 7.12b).* 96

Ringraziamenti

Voglio dedicare questo lavoro di tesi:

Ai professori **Sergio Pace** e **Roberto Giordano**, per avermi accompagnato nella ricerca e nella redazione di questo lavoro.

A **Laura**, **Marta**, **Edin**, **Michela**, **Filippo**, **Margherita** e **Alessandro** per il grande supporto che mi hanno dato nello studio.

All'intera **Unità Special Needs**, per il grande lavoro che hanno fatto, che fanno, e che continueranno a fare per aiutare gli studenti nel loro percorso.

Alla mia famiglia, per aver sempre creduto in me e per avermi aiutato a non farmi sentire pesato dal percorso intrapreso.

A **Carlo**, per aver creduto nelle mie capacità come tirocinante.

A **Laura**, **Alessia**, **Alessandra**, **Clarissa** e **Giulia**, per avermi supportato quando ne avevo bisogno.

Ad **Antonio**, **Leonardo** e **Giuliana**, per essere stati un gruppo di lavoro (e di cucina) sempre al top.

Alla grande ciurma di **Quinta Tinta**, che mi ha fatto passare momenti di risate e di formazione fondamentali.

E, infine, **a me stesso**, per aver saputo superare quelle difficoltà che si sono potute presentare in questo percorso.

2. Introduzione

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è analizzare le basi teoriche del metodo di progettazione bioclimatica sviluppato dagli architetti ungheresi Victor e Aladár Olgyay, in modo da verificare in che misura i principi da loro formulati possano ancora essere letti e applicati nel progetto contemporaneo. Elaborato a partire dal rapporto tra clima, comfort umano e forma dell'edificio, il metodo Olgyay ha rappresentato un passaggio fondamentale nello sviluppo dell'architettura bioclimatica, poiché ha contribuito a trasformare i dati climatici in criteri progettuali. La ricerca parte dalla ricostruzione del percorso biografico dei due fratelli e dall'illustrazione del contesto storico e scientifico in cui viene elaborato il loro metodo. In questa prospettiva, il clima non viene considerato come una semplice condizione esterna all'edificio, ma come un parametro attivo del processo progettuale, capace di influenzare scelte come, ad esempio, l'orientamento dell'edificio, la disposizione degli spazi, il controllo solare e la ventilazione naturale. Nell'illustrare questo contesto, viene posta particolare attenzione al percorso accademico da loro svolto negli Stati Uniti, che contribuì a orientare la loro ricerca verso un'integrazione più stretta tra analisi scientifica del clima e progettazione architettonica.

A partire da queste premesse, la tesi si interroga su quale sia oggi il ruolo del metodo Olgyay: può ancora essere considerato uno strumento operativo per la progettazione? Oppure il suo valore risiede soprattutto nelle capacità di fornire una struttura teorica per leggere il rapporto tra clima e architettura? In particolare, il lavoro intende verificare fino a che punto un metodo elaborato in un contesto tecnico e climatico specifico possa essere applicato a condizioni differenti, quali aspetti risultino ancora efficaci e quali, invece, richiedano l'integrazione con strumenti più aggiornati. La domanda di fondo riguarda quindi la possibilità di considerare il metodo Olgyay non come una procedura da applicare in modo letterale, ma come una base interpretativa da adattare al progetto contemporaneo.

La parte successiva della tesi è dedicata all'analisi di otto casi studio architettonici, scelti secondo un criterio cronologico e climatico, con l'obiettivo di mostrare come i principi bioclimatici siano stati progressivamente interpretati nel tempo. Il percorso prende avvio da due edifici realizzati dagli stessi Olgyay, la Tschögl House e la Stühmer Chocolate Factory, nei quali il controllo ambientale viene affrontato attraverso l'orientamento, i dispositivi d'ombra, il dimensionamento delle aperture e la costruzione di involucri capaci di filtrare le condizioni esterne. I casi successivi, invece, permettono di osservare l'adattamento di tali principi a climi e contesti diversi: nella Ena de Silva House di Geoffrey Bawa il comfort è ricercato attraverso la porosità dell'involucro e la ventilazione naturale continua; nella Parekh House di Charles Correa la strategia si sposta invece verso la protezione degli ambienti e il ricorso alla massa termica; nella Kelbaugh House il muro di Trombe diventa la strategia principale per il riscaldamento solare passivo, mentre nella Magney House di Glenn Murcutt il rapporto con il clima viene interpretato attraverso una struttura leggera, regolabile e aperta verso l'ambiente. Gli ultimi due casi, la Commerzbank Tower e il Grattacielo Intesa Sanpaolo, mostrano il passaggio ad una scala più ampia, in cui le strategie passive vengono integrate con sistemi impiantistici e con l'uso di risorse rinnovabili.

Una parte centrale del lavoro è dedicata a illustrare e spiegare il metodo Olgyay nella sua struttura originaria, contenuta nei due manuali da loro pubblicati durante la loro carriera. Questa sezione consente di chiarire la struttura interna del metodo, fondata sulla raccolta dei dati climatici, sulla valutazione delle condizioni di comfort e sulla successiva traduzione dei risultati in strategie progettuali. A seguito di questa lettura, sono presi in esame manuali tecnici, articoli scientifici e strumenti digitali che consentono di comprendere come il metodo dei fratelli Olgyay sia stato ripreso, modificato e ampliato nel corso degli anni. L'analisi si sofferma, quindi, sia sulla formulazione originaria del metodo, introducendo concetti come zona di comfort, bisogni climatici, maschere d'ombra e calcolo della radiazione solare, sia sulle sue successive interpretazioni. Successivamente, viene condotta una verifica pratica del metodo sul clima della città di Torino, attraverso il software BcChart v2.0, che rielabo-

ra in forma digitale alcuni principi dell'analisi bioclimatica originaria degli Olgyay.

Attraverso questo percorso, quindi, la tesi intende costruire gli strumenti necessari per valutare il possibile ruolo del metodo Olgyay nella progettazione attuale. L'obiettivo è comprendere se il metodo possa ancora offrire un contributo alla lettura climatica del progetto e, se necessario, in quali condizioni debba invece essere reinterpretato alla luce delle esigenze della progettazione contemporanea.

3. Contesto storico e interpretazione del metodo Olgyay

3.1 Formazione e studi

I gemelli Victor e Aladár Olgyay (pronunciato “Oldiai”) (Fig. 3.1) nascono a Budapest il 1° settembre 1910 e studiano architettura al Royal Hungarian Polytechnic di Budapest, laureandosi nel 1934. La loro educazione è caratterizzata da una forte mobilità internazionale, che permise loro di entrare in contatto con professionisti provenienti da campi disciplinari diversi. Infatti, nel 1935 Victor ottiene la possibilità di studiare per un anno a Roma, alla Scuola Superiore di Architettura. Durante questo periodo italiano, Victor ha modo di studiare come le architetture vernacolari locali sono pensate per rapportarsi al clima, mediante controllo della luce e della ventilazione ricevute. Un momento molto importante per i loro studi fu il loro soggiorno alla Columbia University di New York - dal 1936 al 1937 - a seguito dell’ottenimento di una borsa di studio Kendall. Durante questo primo soggiorno americano, i due fratelli entrarono in contatto con la cultura urbanistica statunitense e in particolare con il pianificatore urbano Henry Wright (1878 - 1936), che in quegli anni stava conducendo degli studi sull’influenza esercitata dai fattori climatici nella definizione dell’assetto planimetrico delle città giardino. Attraverso il contatto con Wright e, più in generale, con il pragmatismo accademico americano, i fratelli Olgyay poterono inquadrare il clima come un dato misurabile e in grado di dettare la forma e l’orientamento degli edifici. Questo periodo rappresenta una tappa importante nel loro percorso anche perché. più in generale, consentì loro di maturare una mentalità più analitica e scientifica, portandoli a comprendere, ad esempio, come il percorso solare potesse essere sfruttato nella progettazione di edifici.

Al loro rientro in Ungheria nel 1938, i due fratelli aprirono a Budapest il loro studio professionale, che divenne il luogo in cui iniziarono ad applicare le conoscenze acquisite nel contesto statunitense.
Nel 1947, motivati dal clima di instabilità politica in Ungheria, emigrarono nuovamente negli Stati Uniti, dove svolgeranno il resto della loro attività architettonica e accademica. Questa fase segna il passaggio dall’attività edilizia ad una fase prevalentemente dominata dalla ricerca accademica, come



Fig. 3.1; *Victor e Aladár Olgyay, c. 1951*; immagine presa da https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-architectural-reviews/a8866-book-in-focus-design-with-climate-bioclimatic-approach-to-architectural-regionalism-by-victor-olgyay/

professori e ricercatori prima all’università di Notre Dame (Indiana, 1947 - 1949) e successivamente al Massachusetts Institute of Technology (Boston, 1949 - 1952). Nel 1952 vengono assunti dalla Princeton University per svolgere ricerca al Princeton Architectural Laboratory. Il contesto americano offrì loro la possibilità di collaborare con scienziati specializzati in diverse discipline, come la pioniera dell’energia solare Maria Telkes (1900 - 1995) e il geografo Paul Siple (1908 - 1968). Questa seconda esperienza americana permise loro di codificare un metodo di progettazione basato su principi universalmente applicabili, in cui l’architettura non era più considerata una semplice opera estetica, ma come un filtro ambientale capace di alleviare il carico ambientale dell'abitante. Nel 1955, durante la loro permanenza all’università di Princeton, ebbero modo di sviluppare un dispositivo fisico in grado di simulare il movimento e l’effetto del sole su modelli architettonici in scala, il Thermoheliodon, che sebbene fosse imperfetto dal punto di vista tecnico, rappresenta ancora oggi una delle basi teoriche dietro software di simulazione ambientale come Ecotect (Autodesk).
Nello sviluppo della loro ricerca, un ruolo rilevante fu svolto dal Climate Control Project (da qui in avanti abbreviato come CCP), un

progetto di ricerca e divulgazione avviato tra il 1949 e il 1952 dalla collaborazione tra l'American Institute of Architects (AIA) e la rivista House Beautiful[1]. Questa collaborazione nasceva con l'obiettivo di tradurre in linguaggio visivo e architettonico i dati meteorologici rappresentanti il clima americano, in modo da comunicare al pubblico - progettisti e clienti - i vantaggi di un'architettura costruita per migliorare il comfort termico, prendendo in considerazione il microclima circostante. Oltre a collaborare loro stessi alla definizione dei parametri di progettazione durante gli anni al MIT, i due fratelli trovarono in questo progetto una base per la loro ricerca di un metodo di rappresentazione architettonica dei dati climatici. Infatti, se da una parte il CCP aveva rappresentato un passo in avanti nella comunicazione visiva dei dati climatici, è attribuibile ai fratelli Olgyay il merito di aver tradotto in linguaggio progettuale e architettonico le tabelle e i diagrammi climatici pubblicati in quegli anni.
Nel 1957 viene pubblicato il loro manuale *Solar Control and Shading Devices*, libro che intende esporre e mettere in pratica i principi e le formule matematiche dietro alla progettazione dei dispositivi di controllo solare. I fratelli ungheresi definiscono gli shading devices ("dispositivi d'ombra") come dei filtri - naturali o artificiali - che si pongono di schermare l'abitante dalla luce solare indesiderata, a seconda del periodo considerato. Allo scopo di fornire dati climatici precisi, i fratelli pubblicarono all'interno del manuale una versione adattata delle tabella climatiche precedentemente redatte da Paul Siple nel 1949 all'interno del CCP. Nel 1963 Victor pubblica *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*, manuale che sintetizza oltre otto anni di ricerche condotte insieme al fratello nell'ambito del rapporto tra l'architettura e le condizioni di comfort del suo abitante. Al suo interno venivano spiegati e illustrati i fattori fisiologici che definivano il comfort termoigrometrico. Aladár morì a Princeton il 10 settembre 1963 mentre Victor morì, sempre a Princeton, il 22 aprile 1970. Ancora oggi, la loro ricerca è considerata un contributo importante per lo sviluppo dell'architettura bioclimatica , poiché ha permesso di collegare in modo diretto l'architettura e gli effetti climatici sul comfort.
Ancora oggi, la loro ricerca è considerata un contributo importante per lo sviluppo dell'architettura bioclimatica , poiché ha permesso di interpretare il clima non come semplice condizione esterna, ma come parametro attivo che influenza il processo progettuale in architettura e urbanistica.

3.2 Casi studio

3.2.1 Introduzione

Il presente capitolo intende analizzare otto architetture che, attraverso strategie differenti, possono essere messe in relazione con i principi teorici e progettuali sviluppati dai fratelli Olgyay. I casi studio sono stati selezionati prendendo come punto di partenza due opere realizzate direttamente dai fratelli Olgyay durante il loro periodo di attività in Europa, tra la seconda metà degli anni '30 alla prima metà degli anni '40 del Novecento, per poi estendersi ad una serie di progetti realizzati da altri architetti. La scelta dei casi studio segue un criterio cronologico, con l'obiettivo di rappresentare le decadi che separano il periodo di attività degli Olgyay dai giorni nostri, quindi prendendo in considerazione il periodo tra gli anni '60 e gli anni duemila. Attraverso questa selezione, il capitolo intende mostrare come i concetti teorici dei fratelli Olgyay - e più in generale l'approccio bioclimatico alla progettazione architettonica - siano stati progressivamente interpretati e applicati nel tempo.

3.2.2 Tschögl House, Olgyay & Olgyay, Budapest, 1939-1941

La Tschögl House, anche chiamata *Reverse House* (Fig. 3.2), è uno degli edifici progettati dai due fratelli in Ungheria dopo il primo periodo trascorso in America. Prende il suo soprannome dal suo orientamento invertito rispetto al contesto architettonico locale, dove le stanza principali degli appartamenti erano orientate verso la strada. Infatti, in questo caso gli ambienti principali - salotto

1 Le informazioni in questo sottocapitolo sono state ricavate da Barber, D. A. (2020); pag. 160-246.



Fig. 3.2; *Facciata sud della Reverse House*; immagine presa da Olgyay, V., & Olgyay, A. (1957); pag. 165.

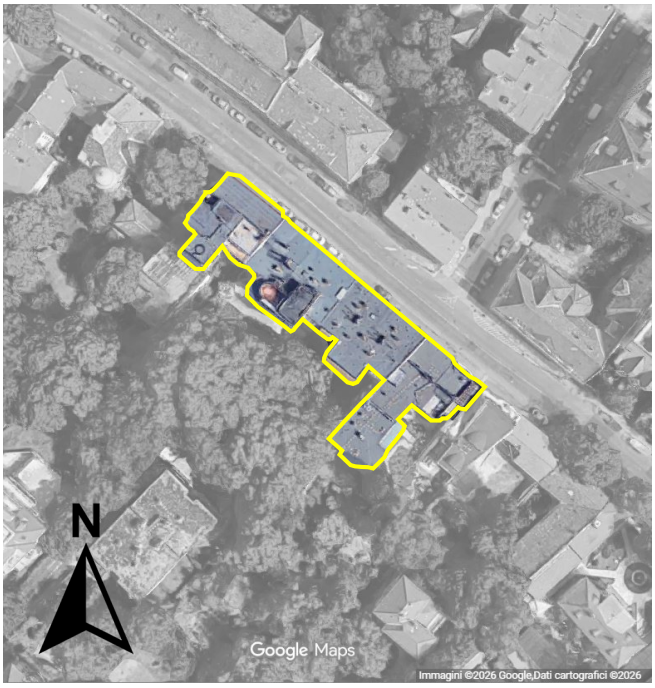


Fig. 3.3; *Vista aerea della Reverse House*; immagine presa da https://maps.app.goo.gl/Fj1ftXzow44zebD39.

e camera da letto - sono orientati verso il cortile situato sul lato opposto alla strada, verso sud-est, in modo da garantire più luce naturale (Fig. 3.3). Uno dei motivi dietro a questo orientamento era legato alle richieste del committente Tschögl Miklós, che ammirava la disposizione più "riservata" tipica delle antiche domus romane. Avendo orientato la facciata principale verso sud-est (Fig. 3.3), i due fratelli progettano di conseguenza dei balconi dalla struttura "a portauova" (eggcrate, vedi paragrafo 4.4 della seguente tesi), in modo da mitigare l'irraggiamento solare durante il periodo estivo e, al tempo stesso, favorire il massimo apporto solara nel periodo invernale. In aggiunta, le finestre esposte a sud-est sono dotate di frangisole mobili, che possono essere orientati a seconda delle necessità di comfort termico degli abitanti. In Fig. 3.4 è possibile vedere una sezione dei frangisole della facciata esposta a sud-est, in cui si può notare come le sporgenze svolgono la duplice funzione di balcone e controllo della luce solare.

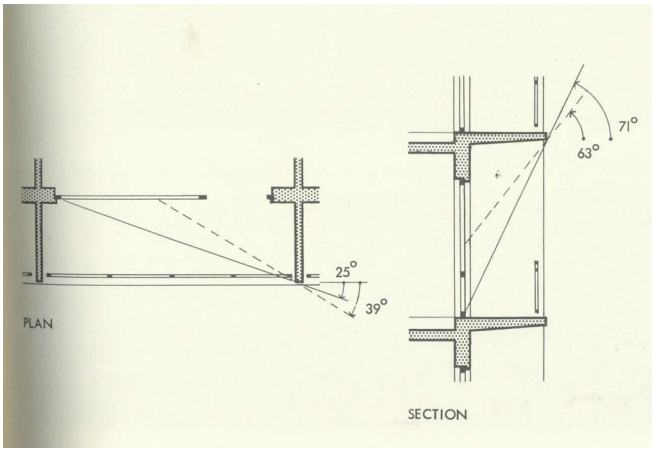


Fig. 3.4; *Sezione planimetrica e sezione prospettica di un balcone della Reverse House*; immaginepresa da Olgyay, V., & Olgyay, A. (1957); pp. 165.

3.2.3 Stühmer Chocolate Factory, Olgyay & Olgyay, Budapest, 1939-1941

L'edificio venne commissionato alla fine degli anni '30 dall'azienda ungherese produttrice di cioccolato Stühmer, in modo da ampliare la dimensione di uno stabilimento situato a Budapest, che risultava troppo piccolo per sostenere la

crescita della produzione. Questo edificio rappresenta un tentativo di applicazione della progettazione bioclimatica all'architettura industriale (Fig. 3.5). La produzione e la conservazione del cioccolato erano attività molto sensibili ai cambi di temperatura, quindi era necessario un edificio che rispondesse a un'esigenza di controllo della temperatura.

Era necessario, infatti, che i depositi fossero collocati in aree buie, mentre le aree di lavoro fossero collocati in aree luminose
Per il dimensionamento delle aperture e per il posizionamento degli ambienti, i fratelli ungheresi ricorsero quindi a numerosi calcoli e simulazioni su modelli, in modo da poter ottenere un maggiore controllo sulla luce diurna. Un'ulteriore innovazione è rappresentata dal trattamento riservato alle facciate nord e sud: entrambe sono state progettate come un sistema di pareti ventilate, con una seconda pelle in pannelli d'acciaio smaltato, che svolgono la duplice funzione di riflettere la radiazione solare e di fornire un'intercapedine che lascia fluire verso l'alto l'aria calda.

La Stühmer Chocolate Factory rappresenta un importante passo in avanti rispetto alla Residenza Tschögl, poiché segna il passaggio da una progettazione ancora molto basato sull'intuizione, ad un approccio basato su veri e propri calcoli e simulazioni scientifiche. Questo è in parte dovuto al passaggio da una committenza di tipo residenziale-privato ad una committenza industriale di larga scala, che necessitava di ragionare in funzione di molteplici funzioni, a volte diverse tra loro, come la presenza simultanea di spazi illuminati e spazi freddi. La Residenza Tschögl si concentrava sull'uso di dispositivi frangisole, mentre lo stabilimento Stühmer usa il calcolo numerico per trovare il giusto dimensionamento delle finestre. Inoltre, vediamo il passaggio ad un sistema di facciata ventilata d'acciaio smaltato, che rappresenta il concetto teorico degli Olgyay secondo il quale i dispositivi d'ombra e di controllo termico devono essere esterni e separati dall'edificio, agendo come una "seconda pelle". In conclusione, nello stabilimento i dati climatici diventano il punto di partenza dietro il processo architettonico.



Fig. 3.5; *Stühmer Chocolate Factory, Budapest*; immagine presa da https://pestbuda.hu/en/cikk/20211129_sweet_life_in_happy_times_of_peace_the_stuhmer_factory_from_foundation_to_nationalisation.

3.2.4 Ena de Silva House, Geoffrey Bawa, Colombo, 1960-1962

Questa abitazione è stata progettata dall'architetto srilankese Geoffrey Bawa (1919 - 2003), su committenza dell'aristocratica Ena de Silva. La committente, originaria della città di Kandy, aveva in mente un'abitazione che rispecchiasse la tradizione costruttiva della sua città. Le scelte progettuali di Bawa riflettono sia la richiesta della committente di richiamare le tradizioni srilankesi, sia la necessità di adattarsi al clima caldo-umido dello Sri Lanka.

Bawa agisce progettando la casa come una serie di padiglioni collegati tra loro e orientati verso un cortile interno (Fig. 3.6 e 3.7). In aggiunta, le stanze sono collegate ad altri cinque piccoli cortili ester-

ni, circondati da un muro perimetrale. Questa disposizione crea un ambiente sia aperto, sia collegato con l'esterno, che permette all'aria di circolare liberamente e di ventilare gli ambienti in modo naturale.



Fig. 3.6; *Cortile interno della Ena de Silva House*; immagine presa da https://www.youtube.com/watch?v=QQM92-_D3BM.

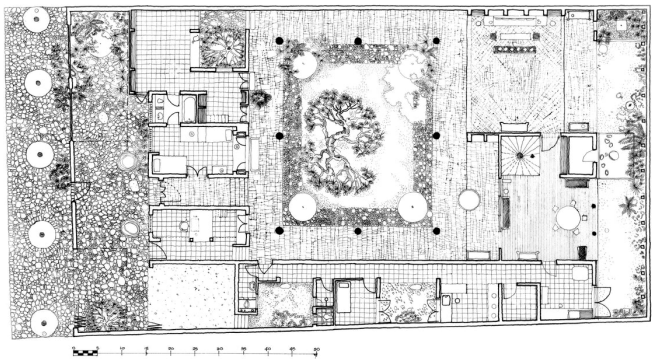


Fig. 3.7; *Planimetria del piano terra della Ena de Silva House*; immagine presa da https://geoffreybawa.myshopify.com/products/gbt-drawing-poster-ena-house-plan.

Il tetto presenta una sporgenza importante, in modo da proteggere l'interno sia dai raggi del sole, sia dalle forti piogge. Inoltre, il tetto è costituito da più superfici, inclinate e stratificate, in modo da permettere al calore accumulato dentro casa di uscire verso l'alto (Fig. 3.8).
I muri sono dipinti di bianco per riflettere la radiazione solare e minimizzare il calore.
Su richiesta della committente, inoltre, la casa non presenta vetri alle finestre: vengono chiuse da grate di legno (Fig. 3.9), che permettono di filtrare la luce e

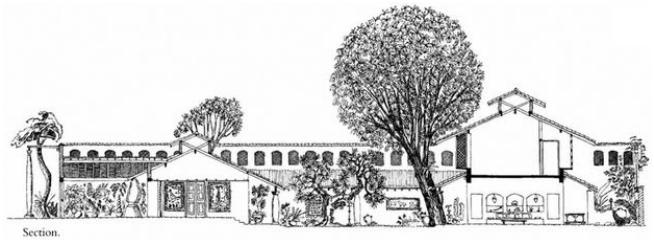


Fig. 3.8; *Sezione prospettica della Ena de Silva House*; immagine presa da https://www.sundaytimes.lk/160731/plus/the-house-that-bawa-built-that-bawa-trust-rebuilt-202772.html.



Fig. 3.9, *Facciata esterna della Ena de Silva House*; immagine presa da https://www.wallpaper.com/architecture/residential/ena-de-silva-house-geoffrey-bawa-sri-lanka.

garantire ventilazione naturale continua, condizione importante in un clima tropicale, dove l'umidità è molto alta.

Mentre la Stühmer Chocolate Factory dei fratelli Olgyay rappresenta un tentativo di costruzione di una "seconda pelle", la Ena de Silva House usa un approccio basato sulla "porosità" dell'involucro edilizio, facilitata dal carattere residenziale dell'edificio. Inoltre, se lo stabilimento - e in maniera simile la Tschögl House - usano materiali ricercati per ottenere la migliore performance architettonica e climatica, Bawa utilizza, anche a causa delle condizioni economiche del sito di progetto, materiali locali e poco costosi, come mattoni intonacati e granito grezzo. Questo si può vedere come un'applicazione del pensiero dei fratelli Olgyay riguardo all'architettura bioclimatica. Come vedremo in seguito nel capitolo

4.2 i fratelli teorizzavano che il linguaggio e l'espressione architettonica si fossero - storicamente - formati in funzione del clima circostante e delle risorse disponibili. Le differenze tra queste architetture diventano, quindi, evidenti se si considerano i due climi - temperato e tropicale - molto lontani tra loro. Nei progetti degli Olgyay si cerca di schermare la struttura tramite frangisole e intercapedini, in questo caso si apre la struttura verso l'esterno per permettere di ventilare e mitigare le alte temperature.

3.2.5 Parekh House, Charles Correa, Ahmedabad, 1967-1968



Fig. 3.10; *Parekh House, Ahmedabad*; immagine presa da https://charlescorreafoundation.org/2022/03/13/parekh-house/.

Questa abitazione è stata progettata dall'architetto indiano Charles Correa (1930 - 2015), ed è situata nella città indiana di Ahmedabad. Questa architettura è stata scelta perché si posiziona all'interno di un clima caldo-arido, condizione che - come vedremo nel capitolo 5.3.1 - rappresenta un caso distante dalla teoria degli Olgyay.

Dal punto di vista dei materiali, la casa è composta da una combinazione di mattoni a vista e calcestruzzo armato (Fig. 3.10). Questi materiali sono stati scelti sia per il loro essere facilmente reperibili localmente, sia per la loro capacità di garantire massa termica all'edificio, caratteristica importante per ritardare l'assorbimento del calore all'interno degli spazi abitativi. Questo è accentuato dal fatto che la casa risulta - a causa delle restrizioni del lotto urbano - orientata su un asse nord-sud, con i lati più lunghi esposti a est e ovest.
Dal punto di vista della distribuzione degli spazi, la casa è divisa in tre campate principali (Fig. 3.11), disposte parallelamente nella direzione nord-sud del lotto. Per far fronte al clima caldo della città - con estati che raggiungono i 45 °C - le campate sono divise in:

- **Sezione Estiva** (Fig. 3.11, in blu)
  Contiene la sala da pranzo ed è situata al centro della casa. È pensata per essere vissuta di giorno.

- **Sezione Invernale** (Fig. 3.11, in rosso)
  Contiene il soggiorno, una delle camere da letto e il terrazzo. È esposta verso l'esterno ed è pensata per essere vissuta nei momenti più freschi.

- **Sezione dei servizi** (Fig. 3.11, in verde)
  Contiene la cucina, il bagno e le scale. È esposta verso l'esterno ed è pensata per essere una zona per il passaggio degli abitanti.

Questa disposizione svolge un preciso ruolo climatico: a causa del clima caldo-arido, il lato ovest risulta essere quello più esposto alla radiazione solare. Di conseguenza, le due sezioni esterne sono disposte sull'asse est-ovest ed agiscono come uno "scudo termico" nei confronti della sezione più interna, che risulta più fresca e ombreggiata.
Rispetto alla Ena de Silva House, la Parekh House rappresenta un modo diverso di soddisfare i bisogni climatici dell'abitante. Nel progetto di Bawa, in un clima caldo-umido, il comfort termico si ottiene tramite l'apertura verso l'esterno, la porosità dell'involucro e la ventilazione-

naturale costante. Nella Parekh House, invece, l'architetto cerca una soluzione basata sulla protezione degli ambienti e sulla massa termica, a causa del clima caldo-arido e della forte escursione termica. Questa attenzione alla posizione degli ambienti dovuta alla loro funzione rappresenta un piccolo passo in avanti rispetto al progetto di Bawa, in quanto la casa non si "apre" al clima, ma funziona come un unico dispositivo di controllo ambientale. In entrambi i casi vengono usati materiali locali a causa della loro facile reperibilità, ma con finalità diverse: mentre nel progetto di Bawa traspare un riferimento alle tradizioni locali, nel progetto di Correa i materiali hanno un valore più prestazionale, in quanto mattoni e calcestruzzo contribuiscono alla massa termica.

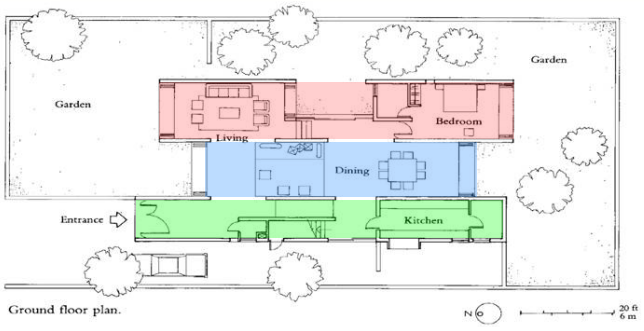


Fig. 3.11; *Planimetria del piano terra della Parekh House*; immagine presa da https://thearchiblog.wordpress.com/2011/01/09/charles-correa-parekh-house/.

3.2.6 Kelbaugh House, Douglas Kelbaugh, Princeton, New Jersey, 1974-1975



Fig. 3.12; *Facciata sud della Kelbaugh House*; immagine presa da https://www.witoldrybczynski.com/architecture/douglas-kelbaugh-1945-2023/.

L'edificio è stato progettato per essere la casa privata dell'architetto Douglas Kelbaugh (1945 - 2023) e della sua famiglia. In un articolo di giornale del 1975 viene definita, dal suo architetto, come la prima casa negli Stati Uniti ad usare un muro in cemento passivo per il riscaldamento[2]. La crisi petrolifera del 1973 è stata una delle cause che ha spinto il progettista a concepire un'architettura riscaldata principalmente in modo passivo, che avrebbe permesso di risparmiare considerevolmente in gas per il riscaldamento. A causa sia di questo sia del clima temperato del New Jersey - con inverni molto freddi - la casa è stata progettata per massimizzare il riscaldamento solare passivo. A questo proposito, si trova nella parte di lotto più esposta al sole. L'architetto ricorre quindi ad una strategia passiva denominata *Muro di Trombe*[3], un sistema costruttivo che regola la temperatura interna dell'edificio usando la radiazione solare e la massa termica. La

2 https://www.nytimes.com/1975/11/16/archives/sun-to-heat-a-princeton-home.html

3 Il nome deriva dall'ingegnere francese Félix Trombe (1906 - 1985), che contribuì a perfezionare questa strategia nel contesto architettonico.

facciata a sud (Fig. 3.12) è costituita da un muro in cemento, spesso 38 cm e dipinto di nero in modo da massimizzare l'assorbimento della radiazione solare, su cui sono state praticate delle feritoie per far passare l'aria. Davanti al muro è posto uno strato di vetro, in modo da formare un'intercapedine. I raggi solari passano attraverso il vetro e colpiscono la superficie nera del muro, riscaldandolo. L'aria riscaldata diventa più leggera e sale, entrando nell'ambiente abitativo attraverso le feritoie superiori, mentre l'aria più fredda fuoriesce dalle feritoie inferiori, formando un ciclo continuo (Fig. 3.13). Durante la notte, la massa termica del muro rilascia gradualmente all'interno il calore accumulato durante il giorno, riscaldando l'ambiente abitativo. Tutte le stanze della casa - eccetto i servizi - sono di conseguenza orientate verso sud. In inverno, quando il sole è basso sull'orizzonte, i raggi colpiscono la facciata perpendicolarmente, massimizzando l'assorbimento da parte del cemento, mentre d'estate colpiscono la facciata con un angolo più inclinato, di conseguenza gran parte della radiazione incidente viene riflessa.
Sulla facciata nord sono stati invece situati i locali adibiti a servizi - ripostiglio, bagno e ingresso - in modo da costituire una "zona cuscinetto" che protegga le zone principali dal freddo durante l'inverno.

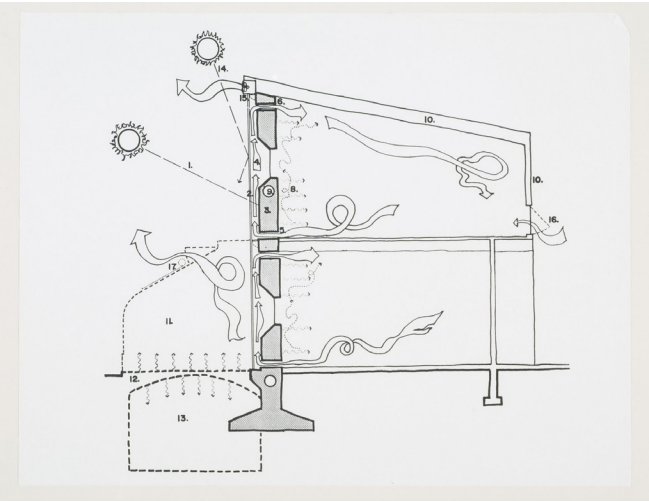


Fig. 3.13; *Schema di funzionamento del muro di Trombe della Kelbaugh House*; immagine presa da, https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/19/the-planet-is-the-client/33741/the-kelbaugh-house.

In continuità con la Parekh House, la Kelbaugh House rappresenta un ulteriore passaggio nella traduzione architettonica dei bisogni climatici dell'occupante. In entrambi i casi la disposizione degli spazi costituisce un contributo importante nell'ottenimento del comfort termico, poiché entrambi gli architetti decidono di distinguere tra spazi vissuti dall'occupante e spazi di servizio, che funzionano come un cuscinetto termico. Tuttavia, se nel progetto di Correa - in un clima caldo-arido - il controllo ambientale viene principalmente affidato alla definizione di queste "campate" agenti come scudo termico, nel progetto di Kelbaugh il comfort è raggiunto utilizzando un vero e proprio dispositivo costruttivo - il muro di Trombe - , progettato avendo in mente il clima locale.

3.2.7 Magney House, Glenn Murcutt, Bingie Point, 1982-1984

L'edificio fu commissionato come casa per le vacanze della famiglia Magney e progettato dall'architetto australiano Glenn Murcutt (1936 -). La casa si trova sulla costa del New South Wales, in Australia, in un contesto caratterizzato da un clima costiero e temperato, con temperature che variano dai 5 °C in inverno ai 40 °C in estate. La struttura esterna è realizzata in acciaio tubolare, mentre gli ambienti interni sono separati da pareti in mattoni a vista e poggiano su un pavimento in cemento (Fig. 3.14): questi elementi contribuiscono a garantire massa termica. Le pareti interne, inoltre, non raggiungono il soffitto, ma sono interrotte da pannelli in vetro che favoriscono la diffusione della luce naturale negli spazi abitativi.



Fig. 3.14; *Interno della Magney House*; immagine presa da https://ofhouses.com/post/717811983362195456/1048-glenn-murcutt-magney-house-bingie.

Rispetto agli altri casi studio analizzati in questo capitolo, la Magney House si colloca nell'emisfero australe; di conseguenza, il percorso del sole nel cielo privilegia un'esposizione a nord per ottenere guadagno termico. L'orientamento dell'edificio risulta quindi invertito rispetto ai casi studio situati nell'emisfero boreale: la facciata nord riceve la maggiore quantità di irraggiamento solare ed è interamente costituita da superfici vetrate (Fig. 3.15 e 3.16), così da favorire l'ingresso del sole nei mesi invernali. Durante l'estate, invece, le persiane poste sulle vetrate permettono di controllare l'apporto solare, mentre la sporgenza del tetto metallico consente di bloccare i raggi estivi, più alti sull'orizzonte, lasciando entrare quelli invernali, che hanno un'inclinazione più bassa. Oltre alla superficie vetrata, è presente una corte pavimentata (Fig. 3.17) che mette in relazione le due zone living tra di loro, rafforzando il rapporto tra gli spazi interni della casa e l'ambiente esterno.



Fig. 3.15; *Facciate nord e est della Magney House*; immagine presa da https://plansmatter.com/view-rentals/magney-house-bingie-nsw-australia.



Fig. 3.16; *Facciata nord della Magney House*; immagine presa da https://www.ozetecture.org/magney-house-bingie-point.

La facciata sud, al contrario, è quasi interamente chiusa (Fig. 3.18), con l'obiettivo di proteggere l'edificio dai venti freddi provenienti da sud. Essa è composta da uno strato esterno in alluminio, che protegge la struttura dagli agenti atmosferici e riflette l'intensa radiazione solare ricevuta, da uno strato intermedio di isolamento in lana minerale e da uno strato interno in mattoni a vista, che contribuisce alla massa termica e all'accumulo termico e alla conservazione del calore ricevuto in inverno attraverso la facciata nord. Lungo questo prospetto è inoltre presente una fascia vetrata in corrispondenza del soffitto, pensata per favorire



Fig. 3.17; *Corte interna della Magney House*; immagine presa da https://arxiubak.blogspot.com/2014/09/magney-house-glenn-murcutt.html.



Fig. 3.18; *Facciate sud e est della Magney House*; immagine presa da https://ofhouses.com/post/717811983362195456/1048-glenn-murcutt-magney-house-bingie.

l'ingresso della luce naturale; su di essa sono collocate bocchette regolabili che permettono di controllare la ventilazione naturale.

Il tetto, realizzato in acciaio per riflettere la radiazione solare, presenta una forma curva che genera uno spazio che funziona come una grande grondaia per la raccolta dell'acqua piovana, convogliata successivamente in un serbatoio. A ciò si aggiunge l'installazione di pannelli solari, attraverso i quali l'edificio sfrutta l'irraggiamento disponibile anche per la produzione di energia.

La Magney House si distingue dalla Kelbaugh House per il suo modo di interpretare il rapporto tra l'abitazione e il clima. Mentre la seconda affida il controllo termico alla massa termica del muro di Trombe e all'accumulo di calore all'interno, l'edificio di Murcutt appare come una struttura leggera e aperta verso l'ambiente. La struttura tubolare in acciaio, le ampie superfici vetrate e il sottile tetto metallico non costituiscono solo un diverso linguaggio architettonico, ma costituiscono delle strategie tecnologiche con cui la casa regola il proprio apporto di calore. In questo caso il comfort non è cercato tramite la massa termica e l'accumulo di calore, ma con il controllo dell'irraggiamento e della ventilazione naturale. Di conseguenza, la casa assume un carattere più "adattivo" e "filtrante" rispetto al clima, invece di "chiudersi" rispetto ad esso.

3.2.8 Commerzbank Tower, Foster & Partners, Francoforte, 1994-1997



Fig. 3.19; *Commerzbank Tower*; immagine presa da https://www.urbansystems.design/commerzbank-hq-frankfurt-germany.

Progettata dallo studio dell'architetto britannico Norman Foster (1935 -), questo grattacielo di 259 metri (Fig. 3.19) costituisce la sede principale della banca Commerzbank, a Francoforte. Alla base della sua progettazione vi è il principio secondo cui ogni spazio di lavoro debba poter avere accesso ad un apporto adeguato di luce e ventilazione naturali. A questo proposito, la pianta dell'edificio è di forma triangolare ed è caratterizzata da nove giardini interni, denominati "Giardini nel cielo" (*Sky Gardens*, Fig. 3.20 e 3.21).

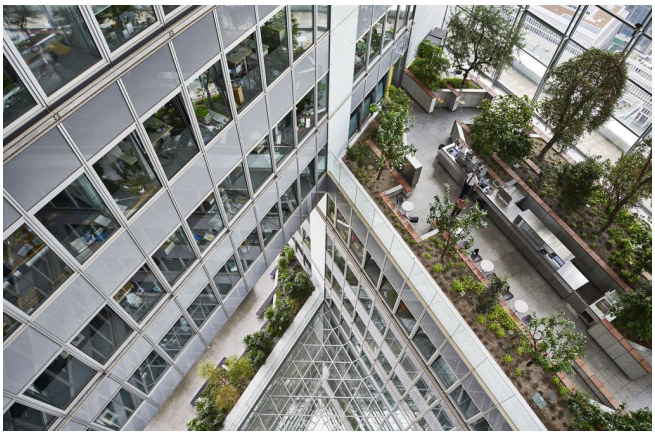


Fig. 3.20; *Atrio della Commerzbank Tower, visto dall'alto*; immagine presa da https://www.bernerzeitung.ch/berner-retten-frankfurts-gruenes-wahrzeichen-775089086668.



Fig. 3.21; *Dettaglio di uno dei giardini interni della Commerzbank Tower*; immagine presa da https://alustory.international-aluminium.org/green-building/commerzbank-building/.

Ognuno di questi giardini consente di incanalare la luce e la ventilazione naturale verso gli spazi adibiti ad ufficio, agendo come una serie di camini. Inoltre, poiché i giardini sono disposti seguendo una rotazione di 120°, l'edificio è in grado di garantire luce e ventilazione naturale indipendentemente dalla direzione del sole e del vento. Per permettere all'aria di entrare, le facciate esterne comprendono finestre apribili in vetro e alluminio (Fig 3.21) mentre per impedire la dispersione di aria e calore, questi giardini sono divisi da partizioni in vetro, acciaio e alluminio situate all'interno dell'atrio. I sistemi di ventilazione artificiale, riscaldamento e ombreggiamento sono gestiti da un Sistema di Gestione dell'Edificio (*Building Management System*, o BMS), che utilizza una serie di sensori per regolare questi sistemi, sulla base del clima esterno. Ad esempio, fa in modo che la ventilazione artificiale sia attiva solo quando le finestre sono chiuse.

Nei paragrafi precedenti si è parlato delle caratteristiche bioclimatiche passive del grattacielo, è tuttavia necessario considerare anche i sistemi artificiali integrati al suo interno, poiché contribuiscono in modo significativo al suo funzionamento energetico. Per il condizionamento dell'aria - in aggiunta alla ventilazione naturale - sono adottati soffitti "rinfrescati" in cui scorre acqua fredda, che abbassa la temperatura dell'aria e contrasta i guadagni termici. A sua volta, l'acqua fredda usata per il raffrescamento è prodotta da refrigeratori ad assorbimento, che utilizzano il vapore della rete di teleriscaldamento cittadina. Per il riscaldamento è invece sfruttata l'energia termica dell'aria espulsa dall'interno, che viene riciclata per ridurre il consumo energetico del grattacielo. Infine, l'acqua di scarto dei refrigeratori ad assorbimento viene usata per lo scarico dei servizi igienici

Questi accorgimenti fanno in modo che, da una parte, la struttura sia ventilata

tramite ventilazione naturale per l'85% dell'anno - permettendo di risparmiare in sistemi di condizionamento dell'aria artificiali -, e che, dal 2008, sia interamente alimentata da energia elettrica proveniente da fonti rinnovabili, rendendola un edificio a emissioni zero.

Con la Commerzbank Tower abbiamo visto ulteriori avanzamenti nell'applicazione dei principi bioclimatici, dovuti in parte al grande cambio di scala. Nella casa di Murcutt il rapporto con il clima dipende da una struttura leggera, aperta e regolabile, che filtra l'irraggiamento solare e la ventilazione naturale attraverso elementi costruttivi relativamente semplici. Nella Commerzbank Tower, invece, gli stessi principi di adattamento climatico sono applicati ad un edificio complesso e massivo, in cui controllo solare e ventilazione non sono solo qualità dell'involucro, ma criteri che contribuiscono a definire l'intera impostazione architettonica dell'edificio. I giardini interni, l'atrio centrale e i sistemi di riciclaggio delle risorse mostrano un'applicazione più complessa e articolata dell'approccio bioclimatico: l'edificio non si limita a rapportarsi in modo passivo con l'ambiente, ma coordina in modo continuo le aperture e i sistemi di condizionamento in funzione delle condizioni esterne. In questo senso, rispetto alla Magney House, la Commerzbank Tower rappresenta un passaggio verso un approccio bioclimatico meno passivo e più tecnologicamente controllato, mantenendo però l'obiettivo originale dei fratelli Olgyay di ridurre il ricorso ai sistemi artificiali e risparmiare energia.

3.2.9 Grattacielo Intesa Sanpaolo, Renzo Piano, Torino, 2009-2015



Fig. 3.22; *Grattacialo Intesa Sanpaolo, visto dai Giardini Nicola Grosa*; immagine presa da https://www.majowiecki.com/grattacielo-intesa-sanpaolo/se5c49e46.

Commissionato dall'omonimo istituto bancario e progettato dall'architetto Renzo Piano (1937 -), il Grattacielo Intesa Sanpaolo (Fig. 3.22) è stato concepito per minimizzare il consumo energetico attraverso un uso ottimizzato delle risorse naturali disponibili. Alla base del progetto vi è il tema della trasparenza e della qualità della luce, motivo per cui il rivestimento esterno è costituito da acciaio e cristallo. In particolare, le facciate est e ovest sono configurate come un sistema a doppia parete, con un'intercapedine di circa 2,5 metri che favorisce la ventilazione naturale e consente la dissipazione del calore. Su queste facciate sono presenti aperture, il cui movimento è regolato da sensori, così da adattare le condizioni interne

di temperatura e luminosità alle variazioni meteorologiche esterne, riducendo le dispersioni termiche d'inverno e gli accumuli di calore in estate.

La facciata a sud, maggiormente esposta al sole, è ricoperta da 1600 m^2 di pannelli fotovoltaici (Fig. 3.23), mentre la climatizzazione dell'edificio sfrutta l'energia geotermica. Anche l'illuminazione artificiale contribuisce alla riduzione dei consumi, dal momento che l'energia elettrica utilizzata dal grattacielo proviene da fonti idroelettriche. Inoltre, per l'80% del fabbisogno vengono utilizzate lampade a LED, collegate ad un meccanismo di autoregolazione che agisce in funzione dell'intensità della luce naturale. Sulla



Fig. 3.23; *Pannelli fotovoltaici della facciata sud*; immagine presa da https://torino.repubblica.it/cronaca/2015/10/08/news/torino_il_grattacielo_intesa_sanpaolo_e_il_piu_ecologico_d_europa-124607019/.



Fig. 3.24; *Serra Bioclimatica*; immagine presa da https://group.intesasanpaolo.com/it/sezione-editoriale/sedi-intesa-sanpaolo-milano-torino/grattacielo-intesa-sanpaolo/serra-bioclimatica.

sommità dell'edificio si trova uno spazio di 15.000 m^3 denominato Serra Bioclimatica (Fig. 3.24), che svolge sia funzioni sociali sia ambientali. Durante il periodo estivo, essa contribuisce a impedire l'accumulo di calore sulla copertura e il surriscaldamento dei piani sottostanti; in inverno, invece, agisce come cuscinetto termico, limitando la dispersione del calore interno. L'irrigazione delle specie vegetali presenti al suo interno avviene tramite acqua piovana raccolta e immagazzinata in appositi serbatoi.

Il controllo ambientale dell'edificio non è affidato a un sistema convenzionale di condizionamento dell'aria, ma a pannelli radianti sospesi al soffitto, alimentati non da combustibili fossili, ma dall'energia termica dell'acqua di falda. Questa soluzione consente da una parte una distribuzione omogenea dell'aria a tutti gli occupanti, e dall'altra che, in condizioni di funzionamento regolare, il grattacielo non produca emissioni inquinanti.
Il grattacielo, infine, non è stato concepito esclusivamente come ambiente di lavoro, ma anche come elemento integrato nel tessuto urbano cittadino. Oltre alla Serra Bioclimatica, l'edificio ospita un auditorium polifunzionale destinato a eventi e concerti; inoltre, l'intera struttura si relazione con i Giardini Nicola Grosa, uno spazio verde pubblico che contribuisce a collegare il grattacielo con il quartiere circostante.
Nell'ultimo passaggio, dalla Commerzbank Tower al Grattacielo di Renzo Piano, emerge un ulteriore evoluzione dell'approccio bioclimatico, legata non solo all'integrazione tra edificio e clima, ma anche alla gestione energetica complessiva della struttura. Nel caso della Commerzbank Tower, il controllo ambientale si basa soprattutto sulla combinazione tra i giardini interni, l'atrio centrale e i sistemi impiantistici regolati in base alle condizioni climatiche esterne. Nel Grattacielo Intesa Sanpaolo, invece, questo approccio viene ampliato usando

un sistema più ampio, in cui le facciata a doppia pelle, la Serra Bioclimatica e il ricorso a fonti rinnovabili contribuiscono alla riduzione del consumo energetico complessivo.
L'edificio non abbandona i principi passivi, ma li integra con sistemi artificiali in grado di gestire in modo più preciso il rapporto tra clima, comfort e fabbisogno energetico. Le facciate ventilate, la regolazione automatica delle aperture e la serra mostrano una continuità con l'approccio bioclimatico, mentre i pannelli solari, il raffrescamento a pannelli radianti e l'energia geotermica introducono una componente più attiva nella gestione ambientale dell'edificio. In questo senso, il grattacielo di Renzo Piano rappresenta il passaggio verso un bioclimatismo maggiormente integrato, in cui l'obiettivo originale degli Olgyay di ridurre il ricorso a sistemi artificiali viene aggiornato usando tecnologie capaci di usare in modo più consapevole le risorse ambientali disponibili e ridurre, quindi, i consumi.

3.2.10 Conclusione

In questo capitolo abbiamo visto come l'approccio bioclimatico applicato all'architettura si è evoluto nel corso del tempo, partendo da due importanti progetti realizzati in vita dai fratelli Olgyay e arrivando ad un progetto realizzato tra gli anni duemila e duemiladieci. Le diverse strategie architettoniche adottate in questi casi studio ci permettono anche di capire meglio come diverse zone climatiche influenzano le scelte progettuali. Partendo con la Tschögl House, ci troviamo ancora in una fase molto teorica della metodologia Olgyay, in cui il controllo ambientale è affidato soprattutto all'orientamento della struttura e ad un sistema di frangisoli. Quest'ultima strategia, in particolare, rimane ancora una traduzione molto letterale delle forme geometriche teorizzate dai fratelli ungheresi nei loro manuali. Con la Stühmer Chocolate Factory non avviene soltanto un passo in avanti nella definizione delle strategie, ma anche un cambio di scala - da residenziale a industriale -. A causa del cambio di scala, i due fratelli dovettero prendere in considerazione molteplici funzioni che avrebbero dovuto far parte dello stesso edificio. Compaiono quindi per la prima volta concetti come il sistema a seconda pelle e il ricorso a calcoli e simulazioni ambientali, in modo da poter basare parte della progettazione sui dati climatici locali.
Successivamente si è analizzata la Ena de Silva House di Geoffrey Bawa, con cui ci si è spostati verso un clima tropicale, lontano dalle condizioni temperate europee ed americane, ma comunque appartenente alle tipologie climatiche previste dal grafico bioclimatico degli Olgyay. Qui sono applicati i principi secondo cui nei climi caldo-umidi sarebbe preferibile massimizzare la ventilazione naturale, condizione che viene soddisfatta dalla struttura porosa e aperta verso l'esterno dell'edificio. Inoltre, con questo caso studio si nota la scelta di utilizzare materiali da costruzione reperibili localmente, sia per una questione di tradizioni culturali, sia - ai fini di questa tesi - per mostrare come la performance bioclimatica possa essere ottenuta senza ricorrere a materiali studiati da zero per il progetto. La Parekh House invece, per la sua posizione in un clima caldo-arido, rappresenta un importante esempio di ottenimento del comfort termico in un clima che, come vedremo nel capitolo 5.3.1, è molto lontano dalle condizioni equilibrate su cui si basano i grafici dei due fratelli. Se il clima tropicale srilankese aveva ispirato Bawa a concepire un edificio "traspirante" e ventilato, Correa si adatta al clima indiano posizionando gli ambienti abitativi in modo da "schermarli" dalle condizioni esterne. Nell'ottica di questa tesi, è il primo caso studio che adotta in modo predominante la massa termica, strategia che in seguito troverà un'applicazio

ne più tecnologica e avanzata nella Kelbaugh House. Qui si assiste all'aggiunta di un sistema che sfrutta materiali diversi - cemento e vetro - in modo da ottenere allo stesso tempo massa termica e illuminazione naturale. Infatti, se nella casa di Correa l'illuminazione naturale è un fenomeno da cui schermare gli ambienti, in quest'ultimo caso diventa una risorsa importante a causa delle condizioni climatiche più temperate. In più, le motivazioni economico-energetiche dell'epoca - la crisi petrolifera del 1973 - rappresentano un punto di vista più "tangibile" dietro alle scelte progettuali dell'architetto. Questa attenzione all'illuminazione naturale si vede in forma più estesa nella Magney House, che fa del sole e dell'acqua le sue risorse più importanti. L'uso di ampie vetrate, pannelli fotovoltaici e sistemi di raccolta dell'acqua rappresentano un passo verso un approccio bioclimatico che sfrutta in modo più diretto le risorse ambientali disponibili, senza per questo incidere sull'equilibrio climatico circostante. Gli ultimi due casi studio costituiscono un grande salto di scala, passando da strutture abitative a grandi grattacieli adibiti a uffici. Nella Commerzbank Tower di Norman Foster si ritrovano alcune strategie passive osservate nei casi studio precedenti, come il controllo della luce e della ventilazione naturale, ma applicate su una scala più grande. I giardini interni all'edificio costituiscono uno spazio intermedio situato tra gli ambienti di lavoro e l'esterno e svolgendo una funzione bioclimatica, poiché consentono di filtrare l'ingresso di aria, luce e calore. Più in generale, la performance bioclimatica di questo grattacielo è regolata da sistemi tecnologici e accompagnata da strumenti artificiali che traggono energia dal riciclo delle risorse naturali - acqua piovana, vapore e aria calda - per ridurre a zero il ricorso ai combustibili fossili. L'integrazione tra strategie bioclimatiche passive e risorse rinnovabili trova una forma più ampia e sistematica nel Grattacielo Intesa Sanpaolo, dove la doppia pelle e la Serra Bioclimatica agiscono insieme ad un sistema energetico artificiale che funziona ad elettricità, ma sfruttando le risorse naturali rinnovabili come il geotermico e l'idroelettrico.

4. Spiegazione del metodo Olgyay

4.1 Glossario dei termini

Bisogni climatici: insieme delle condizioni di temperatura, vento e umidità necessarie a riportare l'abitante in una situazione di comfort.

Comfort termoigrometrico: condizione in cui i valori di temperatura e umidità sono compatibili con il benessere dell'abitante, senza causargli di disagio fisico.

Controllo ambientale: insieme delle strategie progettuali e tecnologiche attraverso cui l'edificio regola le condizioni interne di temperatura, luce, umidità e velocità dell'aria per garantire il comfort dell'abitante.

Dispositivi d'ombra: elementi artificiali o naturali che hanno il compito di bloccare la radiazione solare prima che colpisca l'involucro dell'edificio.

Equilibrio termico: condizione di stabilità che si verifica quando la variazione netta del calore corporeo (in relazione all'ambiente) è nulla.

Grafico bioclimatico: diagramma che mette in relazione temperatura, umidità e altri parametri climatici con le condizioni di comfort dell'abitante.

Grafico psicrometrico: diagramma utilizzato per analizzare le condizioni di comfort termico dell'abitante e per individuare le strategie architettoniche più adatte al controllo ambientale, come ventilazione e intercettazione dei raggi solari.

Guadagno termico: apporto di calore che un edificio riceve da fonti esterne (come il sole) e interne (come gli elettrodomestici).

Isoterme: luogo dei punti, in un grafico, in cui la temperatura ha lo stesso valore.

Luminanza: grandezza fisica che misura l'intensità della luce emessa o riflessa in una specifica direzione.

Massa (o inerzia) termica: capacità di un materiale di assorbire, immagazzinare e rilasciare calore nel tempo.

Parametri ambientali: valori numerici che consentono di definire le condizioni climatiche di una determinata area. Comprendono, ad esempio, temperatura, umidità, velocità dell'aria e radiazione solare.

Raffrescamento evaporativo: Fenomeno in cui l'acqua, passando dallo stato liquido a quello aeriforme, assorbe calore dall'ambiente, diminuendo la temperatura dell'aria circostante.

Ritardo termico: tempo, misurato in ore, impiegato dal calore per attraversare un materiale e raggiungere l'ambiente interno.

Soluzioni tecnologiche: strategie progettuali usate per sfruttare gli elementi climatici a vantaggio dell'abitante.

Temperatura di bulbo secco: temperatura dell'aria misurata senza considerare gli effetti dell'umidità e dell'evaporazione.

Temperatura di neutralità: temperatura alla quale l'abitante prova il più alto livello di comfort termico.

Zona climatica: fascia territoriale della Terra comprendente zone caratterizzate da un clima simile.

Zona di comfort: Insieme di combinazioni di temperatura e umidità (interne o esterne all'edificio) nelle quali l'individuo non percepisce condizioni di discomfort termico.

4.2 Lavorare con il clima

Confrontando le somiglianza architettoniche tra zone caratterizzate dalle stesse condizioni climatiche - a volte molto distanti tra loro, come New Mexico e Tunisia - Olgyay intende dimostrare che il carattere architettonico regionale non è definito dai confini nazionali, ma dalla necessità biologica dell'uomo di adattarsi al clima locale, usando i materiali che ha naturalmente a disposizione. Da questa osservazione deriva l'obiettivo centrale del suo metodo: lavorare insieme alle forze naturali e non contro di esse, per stabilire migliori condizioni abitative, ovvero puntare ad un'abitazione che riduce gli stress climatici indesiderati ed allo stesso tempo utilizza, a questo scopo, tutte le risorse naturali disponibili.

L'immagine seguente (Fig. 4.1) mostra, in sequenza, i passaggi della metodologia progettuale di Olgyay, correlando a ciascuna fase delle miniature semplificate dei diagrammi che venivano utilizzati per leggere le condizioni climatiche:

La prima fase, intitolata *Climate data* (Fig. 4.1a), indica le tre scale geografiche rispetto alle quali si devono considerare i dati sulla temperatura, sull'umidità relativa e sul vento (i tre parametri ambientali).
Prima vengono considerati **(A)** i dati climatici a scala geografica "ampia", ovvero i dati che possono essere ottenuti dalle stazioni meteorologiche, dalle medie matematiche e dalle carte climatiche.
Poi si passa ad una scala umana **(B)**, in cui il clima viene traslato alla quota dell'uomo, quindi circa a 2 metri da terra. Di conseguenza, i dati del vento subiscono delle modifiche, perchè alla scala umana ci sono degli ostacoli che influenzano l'effetto del vento (alberi ed edifici).

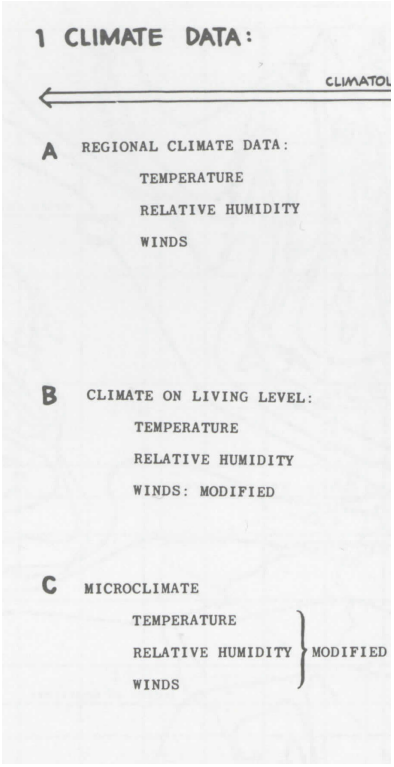


Fig. 4.1a; *Fase 1*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 12.

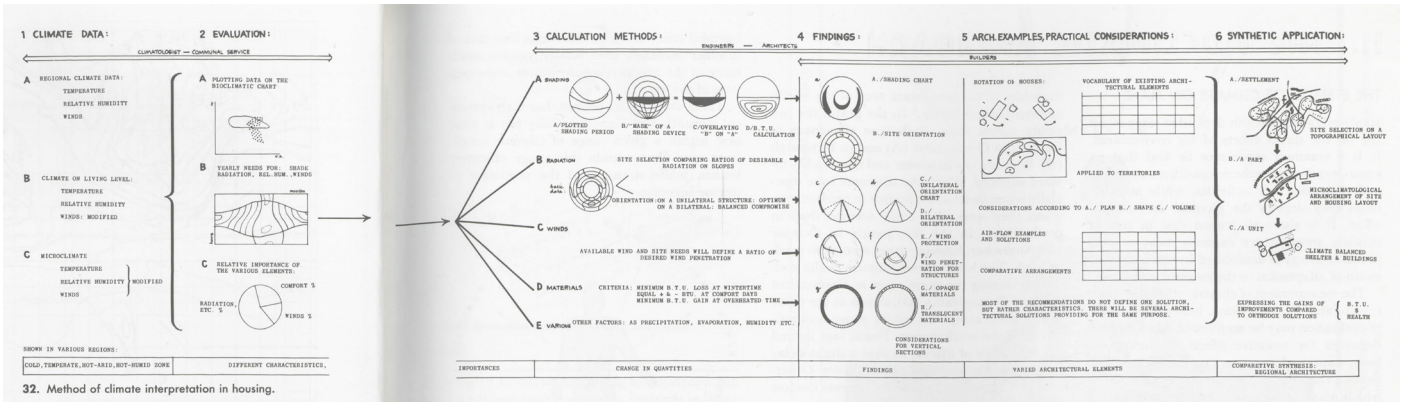


Fig. 4.1; *Schema riassuntivo del metodo Olgyay*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 12-13.

Detto diversamente, è come se si cominciasse a riformulare i dati dal punto di vista del comfort umano reale.
L'ultima scala geografica **(C)** è la scala locale, dove tutti e tre i parametri subiscono modifiche dovute ad esempio a: **(I)** Orientamento dell'edificio, **(II)** Materiali da costruzione, **(III)** Posizione del sole, **(IV)** Presenza di acqua o vegetazione.

La seconda fase, intitolata *Evaluation* (Fig. 4.1b), è la fase di interpretazione dei dati trovati precedentemente, utilizzando due sistemi principali, il grafico bioclimatico (*bioclimatic chart*, figura A) e lo schema temporale delle esigenze climatiche (timetable of climatic needs, figura B).
Il grafico bioclimatico (di cui si parlerà più nel dettaglio nel capitolo 4.3) è usato per leggere i dati di temperatura e di umidità relativa.
Il grafico a torta (figura C) indica che alla fine della lettura dati si calcola l'importanza di ciascun parametro ambientale, assegnando a ognuno una percentuale.
Nella terza e quarta fase, intitolate *Calculation Methods e Findings* (Fig. 4.1c), sono mostrati in forma semplificata e riassunta alcuni grafici e criteri che vengono utilizzati per:

- Individuare il periodo dell'anno in cui serve ombreggiatura.

- Scegliere sia il sito in base alla quantità di radiazione solare, sia l'orientamente dell'edificio (indicando l'orientamento a sud che massimizza la radiazione solare ricevuta e l'orientamento est-ovest che divide la radiazione ricevuta su due facciate).

- Bloccare e filtrare il vento a seconda del vento presente nel sito e della desiderabilità del vento per il raggiungimento del comfort.

- Scegliere i materiali seguendo i criteri di **(I)** Minimizzazione delle perdite di calore in inverno, **(II)** Bilanciamento del calore nei periodi di comfort e **(III)** Riduzione dei guadagni di calore nei periodi caldi.

- Tenere sotto controllo altri parametri climatici come la pioggia, l'evaporazione e l'umidità.

Le due fasi sono collegate, infatti nella fase 3 sono illustrati i grafici usati per il processo e nella fase 4 sono illustrati i risultati del processo:

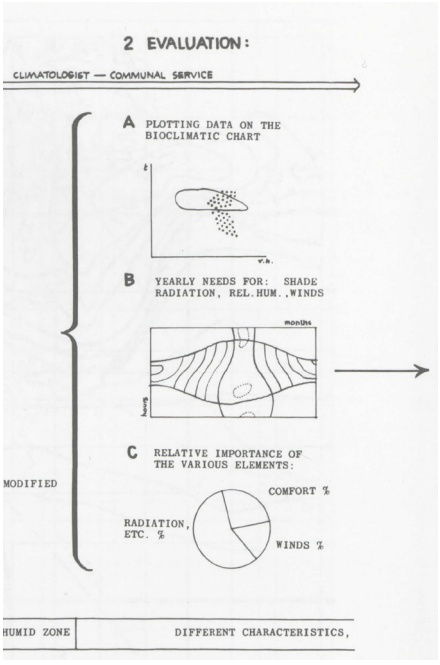


Fig. 4.1b; Fase 2; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 12.

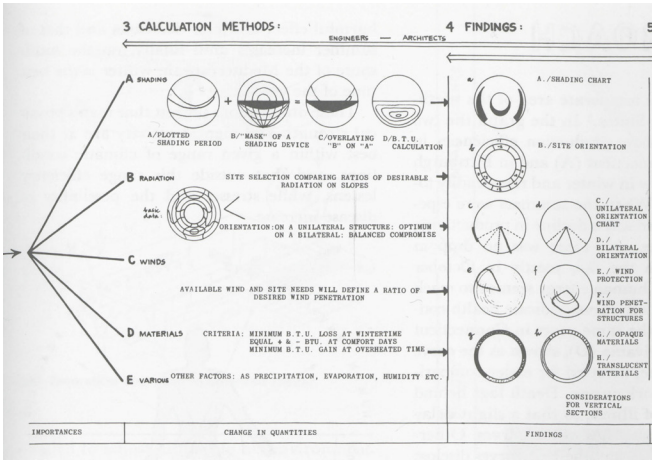


Fig. 4.1c; *Fasi 3 e 4*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 13.

a) Orientamento e dimensioni delle schermature solari

b) Orientamento del sito di costruzione

c-d) Orientamento dell'edificio

e-f) Direzione e intensità del vento

g-h) Opacità e trasparenza dei materiali

Nella fase 5, intitolata *Arch. examples, practical considerations* (Fig. 4.1d), gli autori mostrano le applicazioni architettoniche dei diagrammi mostrati in precedenza.

In particolare, si soffermano su questi aspetti aspetti progettuali per mettere in pratica i risultati ambientali:

Rotation of houses: ancora prima di progettare l'edificio vero e proprio, ruotarlo cambia completamente l'esposizione solare e il rapporto con il vento.

Vocabulary of existing architectural elements: esiste un vocabolario di elementi architettonici, quindi non è necessario inventare una soluzione da zero, ma è sufficiente scegliere e combinare elementi esistenti.
Non vengono riportati esempi, ma nel contesto della protezione dal sole e dal vento si può ipotizzare che con elementi architettonici l'autore intenda ad esempio **(I)** logge, **(II)** porticati, **(III)** schermature, **(IV)** tetti, **(V)** finestre.

Applied to territories: le strategie climatiche non valgono solo per edifici singoli ma anche su scala territoriale per i quartieri e gli insediamenti.

Air-flow examples and solutions: abbinare a ciascun esempio di flusso d'aria una soluzione progettuale.

Comparative arrangements: la griglia indica un approccio basato sul confronto

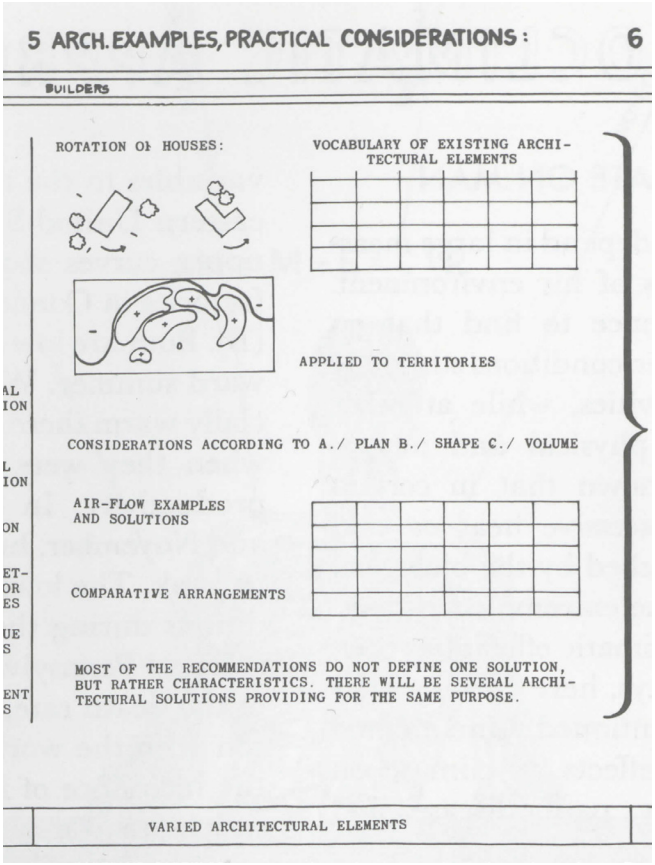


Fig. 4.1d; *Fase 5*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 13.

di diverse soluzioni architettoniche.
Non vengono fatti esempi perché ci troviamo ancora in una parte del libro in cui vengono illustrate le basi teoriche del metodo.

La frase finale recita:

"*Most of the recommendations do not define one solution, but rather characteristics. There will be several architectural solutions providing for the same purpose.*"[4]

Evidenzia come i risultati dell'analisi bioclimatica di un caso specifico non ottengano come risultato un' unica soluzione progettuale, ma forniscano dei criteri

4 "La maggior parte delle raccomandazioni non definisce una soluzione, ma delle caratteristiche. Ci potranno essere diverse soluzioni architettoniche adatte per lo stesso obiettivo."
(Olgyay V. (1963); pag. 13.)

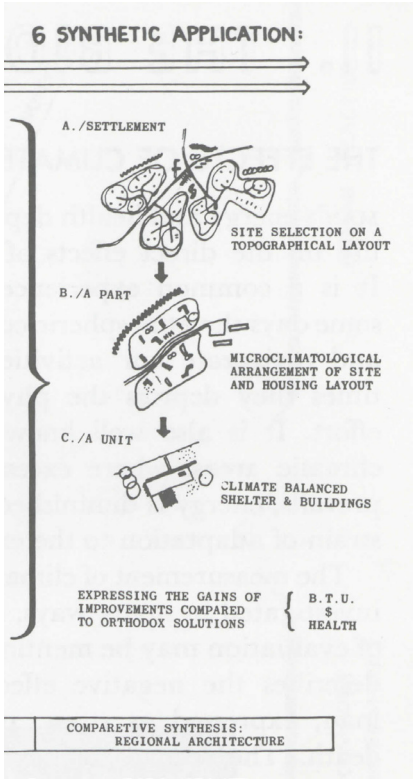


Fig. 4.1e; *Fase 6*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 13.

che possono essere applicati usando elementi architettonici già esistenti. Questo permette di sviluppare diverse soluzioni, tutte valide e adatte allo stesso modo per soddisfare lo stesso obiettivo.
Nella fase 6, intitolata Synthetic application (Fig. 4.1e), è mostrata l'applicazione concreta sul territorio delle soluzioni trovate nella fase 5.
Questa fase si sviluppa su tre livelli:

1. Si pare dalla scelta del sito, basata sulla conformazione del terreno e dell'analisi topografica

2. Si passa poi alla disposizione degli edifici e degli spazi aperti ("*Microclimatological arrangement*"), tenendo conto delle condizioni microclimatiche locali come sole, vento e ombreggiamento.

3. Si arriva infine alla progettazione dell'edificio vero e proprio, pensato per migliorare il comfort rispondendo in modo equilibrato al clima.

Questa prima parte è stata inserita in modo da poter introdurre il capitolo 4 con una panoramica della metodologia di cui si parlerà nel dettaglio nei paragrafi successivi.
Infatti, ciascuno dei sottoparagrafi seguenti è un'espansione più dettagliata di una delle fasi elencate prima.
Un altro motivo per cui si è scelto di partire commentando questa immagine è dovuto al fatto che, da sola, permetta di divulgare, seppur in modo riassuntivo, la metodologia ad un grande pubblico.

4.3 La zona di comfort

I parametri ambientali e quelli umani costituiscono, nel metodo di Olgyay, la base per la definizione di una zona di comfort, intesa come la condizione verso cui l'essere umano tende naturalmente. Tale condizione rappresenta, secondo l'autore, lo stato in cui il corpo impiega la minima quantità di energia per adattarsi all'ambiente circostante, permettendo così di destinare la maggior parte delle sue risorse energetiche alle attività produttive.

All'interno delle sei fasi precedentemente descritte, questa tematica si colloca nella fase 2, che prevede l'utilizzo di uno strumento specifico sviluppato dai fratelli ungheresi:
Il Grafico Bioclimatico (*Bioclimatic Chart*, Fig. 4.2).

Questo strumento consente di mettere in relazione i parametri climatici con le condizioni di comfort umano, offrendo un supporto analitico alla progettazione.
Il termine "bioclimatico" deriva dall'unione del prefisso bio (dal greco *bìos*, "vita") e dal termine climatico (dal greco *klíma*, "inclinazione", originariamente riferita all'inclinazione dei raggi solari su una determinata regione, e successivamente estesa a indicare l'insieme delle caratteristiche atmosferiche di un luogo).

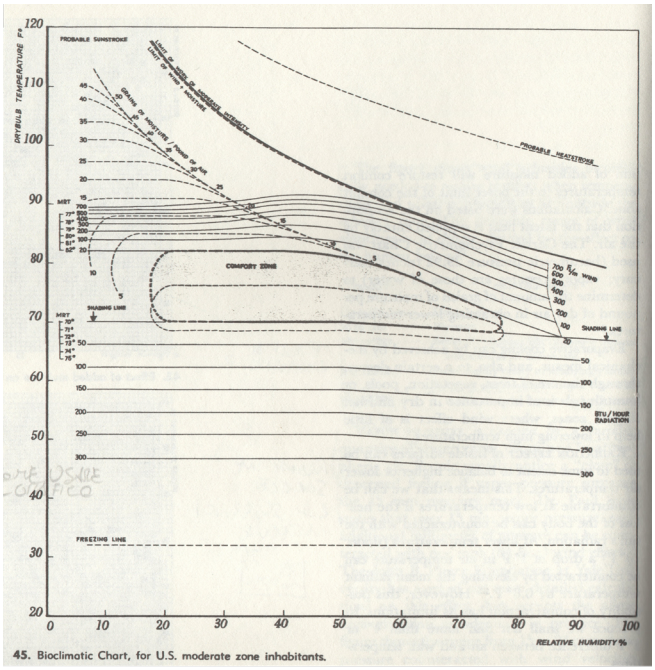


Fig. 4.2; *Grafico Bioclimatico*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 22.

Il concetto di bioclimatico si riferisce quindi all'interazione tra gli esseri viventi e il clima.

In questo senso, il grafico bioclimatico assume un ruolo fondamentale, in quanto rappresenta uno dei primi tentativi sistematici di integrare l'analisi climatica nel processo progettuale architettonico, attraverso l'impiego di strumenti grafici e metodologie standardizzate, applicabili a contesti differenti.

Nei paragrafi successivi verranno illustrati e analizzati gli elementi che compongono il grafico, evidenziando le modalità con cui essi interagiscono tra loro al fine di determinare le condizioni di comfort.

- **Zona di comfort** (*Comfort zone*).
  E' la regione del grafico a cui corrispondono le combinazioni di temperatura e umidità che non hanno bisogno di nessun accorgimento (eccetto l'ombra) per rimanere in una condizione di comfort. Se le condizioni di temperatura e umidità ricadono nella zona di comfort, non sentiamo nessun disagio, ammesso che ci sia ombra. Se ricadono al di sotto, è necessario il riscaldamento solare, se ricadono al di sopra, sono necessarie umidità e/o vento.

  Notiamo che sono in realtà presenti due sagome di comfort:

  - **Linea piena:** zona di comfort estiva
  - **Linea tratteggiata, traslata più in basso:** zona di comfort invernale. I suoi limiti (superiore e inferiore) sono traslati verso il basso di circa due gradi centigradi, questo perché in condizioni invernali percepiamo il comfort a temperature inferiori.

  A loro volta, le due zone di comfort sono suddivise, orizzontalmente, in range desiderabile (*desirable range*, nel mezzo, linea piena o più spessa) e range pratico (*practical range*, linea tratteggiata o più sottile, ai lati).

  - **Range desiderabile:** rappresenta la situazione ideale di benessere. Si situa nella parte centrale della zona di comfort, all'incirca tra il 30% e il 65% di umidità relativa.
    In questo intervallo l'equilibrio termico del corpo è mantenuto senza un particolare sforzo.
  - **Range pratico:** è la situazione che si trova ai lati più estremi di umidità relativa.
    Sebbene l'umidità sia al di fuori dell'intervallo ideale, non si verificano ancora stress termici evidenti per l'uomo.

  Olgyay specifica che il range pratico è accettabile per la progettazione architettonica ma non è consigliabile per periodi prolungati.

- **Linee del comfort tramite vento** (ft / min).

  A lato, la scritta mrt indica i valori di

temperatura media radiante, ovvero la temperatura percepita sulla pelle in quella determinata condizione di vento.

- **Linee del comfort tramite presenza di umidità nell'aria** (Grani di umidità per libbra di aria secca.

  Un grano di umidità per libbra d'aria corrisponde a circa 0,143 grammi di umidità per kilogrammo di aria secca)

- **Linee del comfort tramite radiazione solare**
  (btu / h. Equivale a 1055,06 joule / h)

- **Linea del possibile colpo di calore** (*Probable heatstroke*)
  Le coppie di dati che risultano in un punto al di sopra di questa linea indicano una condizione di colpo di calore per l'occupante.

- **Linea del limite dell'efficacia del vento e dell'umidità.**
  Al di sopra di queste linee, l'intensità del vento che sarebbe necessaria per ristabilire il comfort è troppo forte e causerebbe danni all'occupante.

- **Linea del limite del lavoro di moderata intensità.**
  Al di sopra di questa linea, svolgere un lavoro fisico di moderata intensità non è più considerato una condizione compatibile con il comfort.

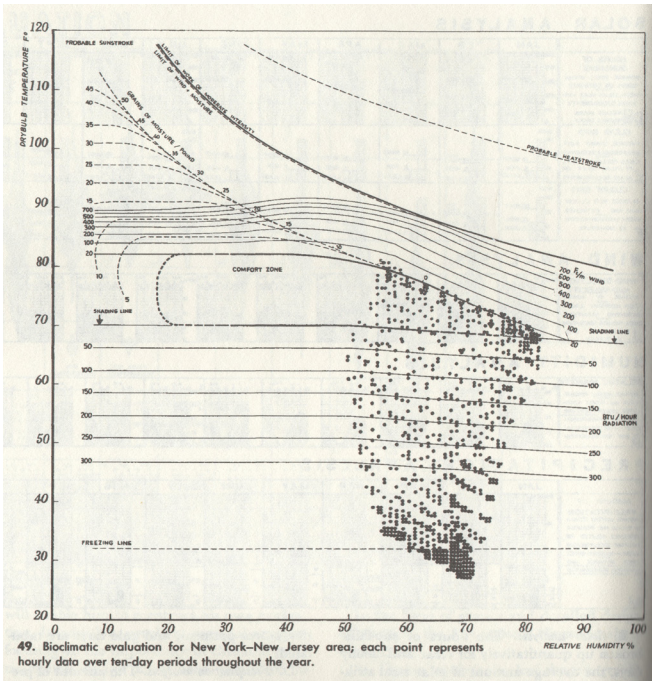
- **Linea di congelamento** (*Freezing line*)**.** Situata in corrispondenza del punto in cui l'acqua gela (32 °F o 0 °C), indica una soglia critica.
  Al di sotto di questa soglia, le strategie di progettazione passiva (come il riscaldamento solare passivo e l'isolamento termico) perdono la loro autosufficienza.
  Per garantire il comfort sono necessari sistemi di riscaldamento meccanico.

- **Linea d'ombreggiatura** (*Shading line*)**.**
  Corrisponde al limite inferiore della zona di comfort. Al di sopra di questa linea, l'ombreggiatura è necessaria per raggiungere una condizione di comfort.

- **Asse dell'umidità relativa** (ascisse) (%)**.**

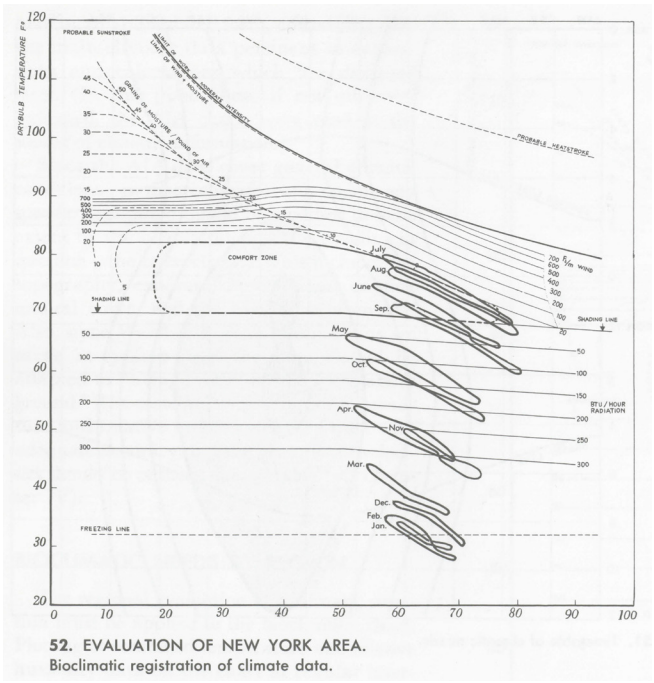
- **Asse della temperatura di bulbo secco** (ordinate) (gradi Fahrenheit F°)**.**

Nel grafico bioclimatico, il movimento dell'aria svolge un ruolo fondamentale nella percezione del comfort termico. L'aumento della velocità del vento favorisce infatti l'evaporazione del sudore della superficie corporea, generando una sensazione di raffrescamento. Questo fenomeno comporta un innalzamento del limite superiore della zona di comfort: tuttavia, tale incremento non è lineare, ma tende a ridursi progressivamente con l'aumentare della temperatura dell'aria. Inoltre, il vento contribuisce a mitigare gli effetti della pressione di vapore, facilitando ulteriormente i processi evaporativi.
In condizioni di temperature elevate, l'evaporazione di umidità aggiuntiva può riportare valori di temperatura di bulbo secco eccessivamente alti entro il range di comfort. Al contrario, in situazioni di basse temperature, la radiazione solare naturale assume un ruolo compensativo, contribuendo a bilanciare la perdita di calore corporeo e rendendo più tollerabili condizioni altrimenti sfavorevoli.
Dal punto di vista costruttivo, il grafico bioclimatico si configura come un diagramma cartesiano che mette in relazione due variabili principali: l'umidità relativa e la temperatura di bulbo secco, ovvero la temperatura dell'aria.
I dati climatici vengono rilevati simultaneamente a intervalli regolari di dieci



49. Bioclimatic evaluation for New York–New Jersey area; each point represents hourly data over ten-day periods throughout the year.

Fig. 4.3; *Dati climatici dell'area New York-New Jersey*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 26.



52. EVALUATION OF NEW YORK AREA.
Bioclimatic registration of climate data.

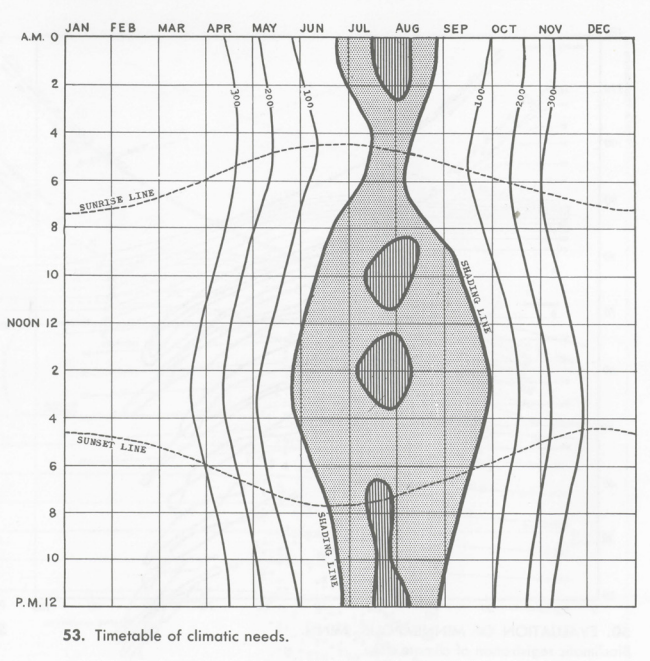
Fig. 4.4; *Andamento della temperatura e dell'umidità nell'area New York-New Jersey*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 26.

giorni nel corso dell'anno e rappresentati nel grafico sotto forma di punti, in cui l'ascissa corrisponde all'umidità e l'ordinata alla temperatura (Fig. 4.3).
Questa modalità di rappresentazione consente una prima lettura immediata delle caratteristiche climatiche di un determinato contesto: osservando la distribuzione dei punti è infatti possibile individuare quali siano i parametri ambientali predominanti e, di conseguenza, le strategie progettuali più appropriate. Ad esempio, nel caso riportato in Fig. 3a, relativo all'area degli stati di New York e New Jersey, la distribuzione dei punti evidenzia come sia generalmente più frequente la necessità di ricorrere a strategie di riscaldamento passivo per raggiungere condizioni di comfort, piuttosto che a sistemi basati sulla ventilazione.

Inserendo i puntini e collegandoli a seconda del loro mese di appartenenza, si ottengono delle curve chiuse che rappresentano l'andamento della temperatura e dell'umidità per ogni mese dell'anno (Fig. 4.4).

Tutto questo viene riassunto come Valutazione Bioclimatica (Bioclimatic Evaluation) o Analisi Bioclimatica (*Bioclimatic Analysis*).
Successivamente i risultati di quest'analisi sono trasferiti in una tabella temporale (in Fig. 4.5 la tabella dell'area New York - New Jersey) in cui si possono leggere (approssimativamente) i periodi dell'anno (ascisse) durante le ore del giorno (ordinate).
Questa tabella consente di leggere immediatamente i bisogni climatici di una regione in relazione alle ore del giorno e al periodo dell'anno.
Con *regioni* l'autore intende le regioni (o zone) climatiche, ovvero delle porzioni di territorio che possiedono simili caratteristiche climatiche e, per estensione, simili bisogni climatici.
L'autore ne identifica quattro: **(I)** zona temperata, **(II)** zona fredda, **(III)** zona caldo-arida, **(IV)** zona caldo-umida.

Dal momento che la ricerca di Olgyay era stata svolta negli Stati Uniti, egli associa



53. Timetable of climatic needs.

Fig. 4.5; *Tabella dei bisogni climatici dell'area New York-New Jersey*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 28.

un'area degli Stati Uniti a ciascuna categoria di zona: **(I)** New York - New Jersey, **(II)** Minneapolis, Minnesota, **(III)** Phoenix, Arizona, **(IV)** Miami, Florida. Specifica inoltre che il grafico bioclimatico non è uno strumento fisso, ma va adattato a ciascuna zona spostando leggermente i confini della zona di comfort:

- Per ogni 5° di latitudine di spostamento verso l'equatore, il perimetro inferiore della zona di comfort estiva deve essere alzato di circa 0,75 °F.
- Anche il limite superiore può essere spostato di conseguenza, ma non sopra gli 85 °F.

In generale, la ricerca di Olgyay prende in considerazione solo gli Stati Uniti, pur specificando che le zone climatiche si trovano ovunque.

Oltre a temperatura e umidità, ci sono numerosi parametri che influenzano il comfort termico dell'occupante.
I parametri ambientali principali sono:

- **Temperatura dell'aria**
  Olgyay la esprime in Fahrenheit, ma al fine di comprendere meglio il testo userò dei valori equivalenti in Celsius °C secondo la formula:

$$C = \frac{F - 32}{1,8}$$

- **Radiazione solare**
  British Thermal Unity, o Btu. Rappresenta la quantità di energia necessaria a far salire di un grado Fahrenheit una libbra d'acqua. Equivale a 1055,06 joule.

- **Movimento dell'aria**
  Piedi al minuto, o fpm. Equivale a $5*10^{-3}$ m/s.

- **Umidità relativa**
  Rapporto percentuale % tra la quantità di vapore acqueo presente nell'aria e la quantità massima che l'aria sarebbe in grado di contenere a quella temperatura.

Questi dati sono utilizzati nelle seguenti equazioni mostrate da Olgyay, che li combinano con il metabolismo umano per spiegare come il corpo mantenga l'equilibrio termico.

Equazione di equilibrio termico del corpo umano:

$$\Delta H = M - E \pm C \pm R$$

Dove:

ΔH = Variazione della temperatura corporea
M = Tasso metabolico (quantità di energia che il corpo produce in un certo tempo) (Cal / m^2 / hr; Calorie per metro quadro all'ora)
E = Tasso di raffrescamento dovuto a evaporazione del sudore (Cal / m^2 / hr)
C = Tasso di raffrescamento per convezione tra il corpo e l'aria circostante (Cal

/ m^2 / hr)
R = Scambio di energia per irraggiamento da parte dei raggi solari (Cal / m^2 / hr)

Questa equazione, sviluppata da Douglas H.K. Lee[5], tiene traccia del consumo di energia del corpo umano, considerando sia l'energia prodotta dal corpo, sia lo scambio di calore tra il corpo e l'ambiente.

Equazione della temperatura operativa:

$$T_0 = t_s - \frac{M - E \pm S}{K_R + K_C} = \frac{K_C}{K_R + K_C} mrt + \frac{K_C}{K_R + K_C} \left[\sqrt{\frac{V}{V_0}} t_a - \left(\sqrt{\frac{V}{V_0}} - 1.0 \right) t_s \right]$$

Dove:

T0 = Temperatura operativa, parametro sviluppato da Winslow, Herrington e Gagge[6] (°C).
ts = Temperatura media della pelle (°C).
M = Tasso metabolico (Cal / m^2 / hr).
E = Tasso di raffrescamento dovuto a evaporazione del sudore (Cal / m^2 / hr).
S = Accumulo/Deficit di calore corporeo (Cal / m^2 / hr).
KR = Costante di radiazione totale, esprime il tasso con cui il corpo scambia energia radiante con l'ambiente circostante ($4{,}92 \times 10^{-8}$ × superficie effettiva radiante dell'oggetto (m^2)).
Kc = Costante di scambio termico per convezione tra corpo e aria. Indica il tasso di guadagno o di perdita di calore del corpo nei confronti dell'ambiente, a causa del movimento dell'aria. Dipende dalla quantità di pelle esposta all'aria, quindi sia dalla dimensione che dalla postura. Non viene indicata un'unità di misura precisa, ma considerando le unità di misura di **M**, **E** ed **S** (Cal / m^2 / hr) al numeratore e considerando l'unità di misura del risultato **T0** (°C), si calcola l'unità di misura in Cal / m^2 / hr / °C.

Rappresenta quindi il tasso di scambio termico per ogni metro quadro del corpo, in un'ora, per ogni grado di differenza tra la temperatura corporea e quella dell'aria.
Detto diversamente, è un fattore che consente di pesare l'impatto della temperatura e del movimento dell'aria nell'equilibrio termico del corpo.

mrt : Temperatura media radiante (°C).
V : Velocità dell'aria (cm / s).
V0 : Velocità standard alla quale Kc è stata calcolata (7,6 cm / s).
ta : Temperatura di bulbo secco (°C).

Sviluppata da Winslow, Herrington e Gagge, questa equazione combina la temperatura dell'aria, la velocità del vento e la radiazione solare con il metabolismo del corpo per spiegare il rapporto tra quest'ultimo e l'ambiente.

Ritornando a quanto detto nella spiegazione del grafico bioclimatico, Olgyay stesso specifica:

"*...considering the range of observations and opinions there is no precise criterion by which comfort can be evaluated.*"[7]

Entrano infatti in gioco fattori come:

5 Douglas Harry Kedgwin Lee (1905-2005) è stato un fisiologo e biometeorologo britannico-australiano, specializzato negli effetti del clima caldo-umido sul corpo umano. E' considerato una figura chiave negli studi sul rapporto tra ambiente e comfort umano.

6 Charles-Edward Amory Winslow (1877-1957) è stato un igienista e microbiologo, noto per i suoi studi sulla salute pubblica e sull'influenza dell'ambiente sul benessere umano.
Leonard P. Herrington è stato un fisiologo che ha lavorò sugli effetti della temperatura e dell'umidità sul corpo umano, collaborando con Winslow e contribuendo allo sviluppo di modelli sperimentali sul comfort termico.
A. Pharo Gagge (1908-1993) è stato un biofisico statunitense, pioniere nello studio dell'interazione tra ambiente e termoregolazione umana. Introdusse alcuni parametri del comfort ambientale, tra cui la temperatura operativa, l'unità clo (isolamento termico dell'abbigliamento) e met (attività metabolica).

7 "...considerando la varietà delle osservazioni e delle opinioni, non c'è un criterio preciso con cui si possa valutare il comfort."
Olgyay V. (1963); pag. 18.

- Vestiario
- Attività svolta
- Sesso
- Età
- Zona climatica di residenza

Fattori che “spostano” la zona di comfort verso l’alto o verso il basso.

Il che porta a doversi basare su considerazioni arbitrarie. Olgyay arriva quindi a definire il comfort termico come la situazione nella quale l’occupante medio non sentirà discomfort termico.

L’affermazione più importante di Olgyay, secondo me, è il suo sostenere che ogni grafico fatto e finito sia applicabile solo ad una determinata situazione geografica con una determinata tipologia di occupante. Egli stesso chiarisce, ad esempio, che il grafico illustrato nel suo testo (Fig. 4.2) vale solo nelle zone temperate degli Stati Uniti.

Più in generale, la tesi principale di Olgyay attribuisce all’architetto il compito di sfruttare al massimo i mezzi naturali disponibili, in quanto ciò consente di progettare ambienti più confortevoli e vivibili, oltre a contenere i costi mantenendo al minimo l’uso del condizionamento meccanico.
Nonostante la sua natura innovativa, questa visione è basata - e secondo me cristallizzata - sulle esigenze e conoscenze degli anni ‘60. Di conseguenza, se guardata oggi, rischia di essere più un ideale che un modello pienamente applicabile.

Il presente capitolo, di carattere tecnico, ha l’obiettivo di definire gli strumenti e i parametri necessari alla comprensione delle analisi successive.

4.4 Maschere d'ombra

Nel controllare l’apporto solare ricevuto dagli occupanti, entrano in gioco sia fattori naturali come gli alberi, sia fattori artificiali come le costruzioni adiacenti e gli elementi frangisole.

I fratelli Olgyay riconoscono il contributo del progresso tecnologico riguardante la progettazione degli involucri edilizi. Le murature non erano più necessariamente portanti e potevano permettersi di vedere la loro funzione portante trasferita ad una struttura di pilastri interni, lasciando all’architetto più libertà compositiva sull’involucro.

Vengono identificati due problemi principali, ovvero il bloccare il sole d’estate e il mantenimento del calore in inverno.
Gli elementi frangisole (chiamati dall’autore shading devices o dispositivi d’ombra) risolvono entrambi i problemi, perché possiedono una natura adattabile alle diverse situazioni ambientali, potendo essere posizionati (e in alcuni casi orientati) a seconda della direzione dei raggi solari.

L’idea alla base di un frangisole è poter intercettare i raggi solari in periodi che Olgyay definisce sovrariscaldati (*overheated*) e consentire al sole di entrare in periodi definiti sottoriscaldati (*underheated*).

Olgyay fornisce queste definizioni di queste tipologie di periodi:

- **Periodo sovrariscaldato:**
  momento dell’anno in cui cerchiamo di evitare eccessiva radiazione solare
- **Periodo sottoriscaldato:**
  momento dell’anno in cui abbiamo bisogno di radiazione solare

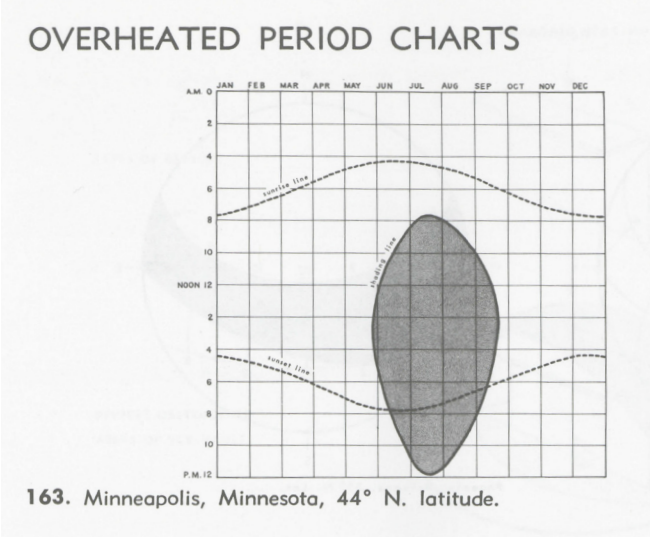


Fig. 4.6; *Periodo Sovrariscaldato della città di Minneapolis*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 79.

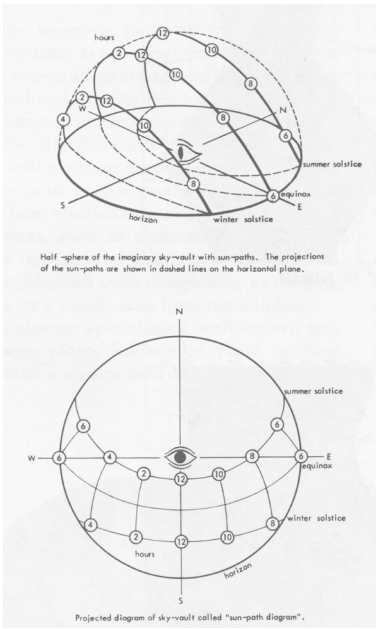


Fig. 4.7; *Composizione del diagramma di percorso solare*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 80.

Prima di parlare dei frangisole è necessario spiegare come vengono rappresentati graficamente questi periodi (intesi come stagioni e orari del giorno).

Nel sito di progetto vengono raccolti i dati di temperatura dell'aria, effettuando misurazioni tutti i giorni, per un anno, a intervalli di 1-2 ore. Le temperature che ricadono al di sopra della zona di comfort

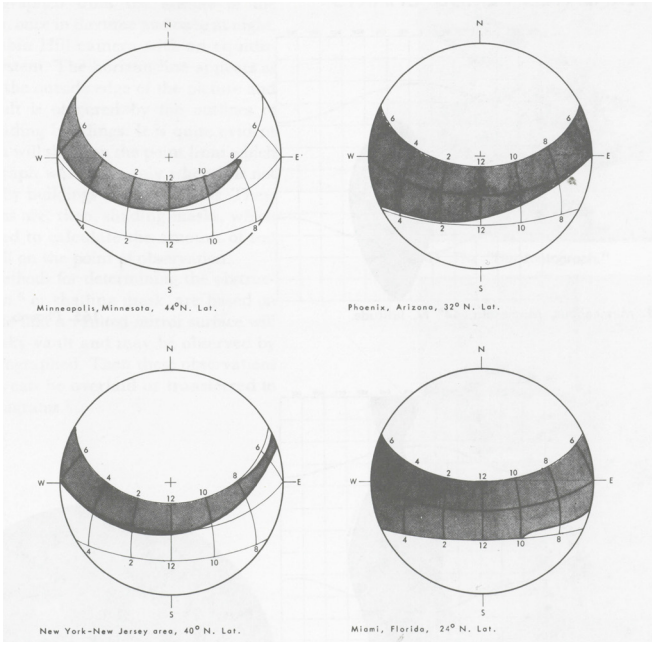


Fig. 4.8; *Sovrapposizione tra diagramma di perorso solare e periodo sovrariscaldato in quattro regione climatiche americane*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 81.

(Fig. 4.2) rappresenteranno il periodo sovrariscaldato. il periodo sottoriscaldato non viene ancora considerato perchè viene considerato nel calcolo del fabbisogno di radiazione ricevuta, e non intercettata.
I momenti corrispondenti a queste temperature vengono tabulati in un grafico (Fig. 4.6) in cui si possono leggere i mesi dell'anno sulle ascisse e le ore del giorno sulle ordinate.
Ora che si conosce il momento in cui è necessaria ombra (indicato dall'area grigia in figura) è necessario sapere la posizione del sole nel cielo.

Per questo scopo viene usato il diagramma solare (Sun path diagram, Fig. 4.7), un grafico formato da curve che indicano l'altezza (rispetto all'orizzonte) e la posizione (rispetto al nord) del sole durante le ore del giorno in diversi periodi dell'anno, mettendo in evidenza i solstizi e l'equinozio.

Quando al percorso del sole viene sovrapposto il periodo sovrariscaldato (Fig. 4.8), si può capire in che posizione si tro-

va il sole quando c'è necessità di ombra.

Una caratteristica cruciale dei frangisole è la seguente: devono essere "esterni" all'edificio, perché i dispositivi più comunemente posti all'interno (come le tende e le veneziane interne) intercettano i raggi (e quindi il calore) quando sono già penetrati attraverso il vetro. In tal caso gran parte di questo calore viene assorbito e poi rilasciato dentro la stanza per convezione e radiazione.

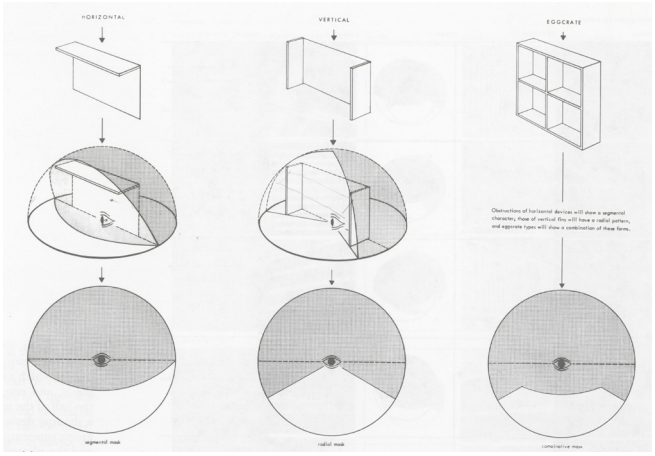


Fig. 4.9; *Tipologie principali di frangisole, accompagnate dalle rispettica maschere d'ombra*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 80.

Al contrario, i frangisole esterni riflettono e dissipano il calore direttamente nell'aria aperta, prima che colpisca l'edificio.
Inoltre, come elemento architettonico, il frangisole può di conseguenza essere plasmato a seconda dell'architettura del contesto in cui si trova.

I fratelli Olgyay dividono i frangisole artificiali in tre categorie principali (Fig. 4.9):

1. **Sporgenza orizzontale** (*overhangs*).
   Sono costituiti, ad esempio, dalle tettoie. Sono più indicate per le facciate esposte a sud, perché ricevono la radiazione solare nelle ore in cui il sole è più alto nel cielo.

2. **Persiana verticale** (*louvers*).
   Sono costituite, ad esempio, da alette. Sono più indicate per le facciate esposte a est e a ovest, perché sono illuminate dal sole nelle ore del mattino e della sera, quando è più basso nel cielo.

3. **A portauova** (*eggcrate*).
   Sono caratterizzati sia da sporgenze orizzontali, sia verticali, unite tra loro. Sono consigliate per climi caldi-aridi.

L'efficienza di un frangisole è calcolata con uno strumento che i fratelli definiscono Maschera d'ombra (*Shading mask*).

Più in generale, così come da un punto d'osservazione possiamo definire la posizione del sole, dallo stesso punto possiamo definire i punti della volta celeste in cui un qualsiasi oggetto opaco (frangisole, alberi, costruzioni) intercetta i raggi del sole e proietta di conseguenza un'ombra.
Di conseguenza, proiettando la volta celeste sul piano dell'orizzonte, possiamo anche proiettare le sagome degli oggetti opachi, che appariranno come aree scure sul diagramma della volta celeste.
La maschera d'ombra è un diagramma della volta celeste con in aggiunta queste aree scure.

Nel caso dei frangisole in Fig. 4.9 la maschera d'ombra è rappresentata dai diagrammi a cerchio con una porzione d'area bianca e una porzione scura.
L'occhio al centro rappresenta il punto di riferimento da cui si riceve l'ombra, che l'autore pone nel centro, in basso, della superficie vetrata.

Trovata la maschera d'ombra corrispondente al frangisole (o oggetto opaco in generale) desiderato, ne si calcola l'efficacia sovrapponendola al diagramma solare provvisto di periodo sovrariscaldato (Fig. 4.8).
Se il 100% del periodo sovrariscaldato si sovrappone alla zona ombreggiata dall'oggetto opaco, quest'ultimo è effica-

ce al 100%.
Se il 50% del periodo si sovrappone, l'oggetto è efficace al 50%. Quest'ultima condizione viene considerata accettabile dall'autore.
Questi calcoli verranno illustrati più nel dettaglio nel capitolo 5.2.1.

Riassumendo, lo scopo di questo sottocapitolo è presentare dei diagrammi tramite i quali è possibile individuare le forme (sia già presenti come gli alberi e le costruzioni sia non presenti come i frangisole) più adatte a intercettare i raggi del sole nei momenti dell'anno e del giorno in cui il calore è meno sopportabile.

Questo sottocapitolo è di grande importanza per la comprensione di questo lavoro di tesi, perché introduce gli strumenti che verranno ripresi e applicati nei paragrafi successivi.
In particolare, il capitolo affronta le maschere d'ombra, il concetto di periodo sovra e sottoriscaldato e introduce il diagramma di percorso solare, che verrà utilizzato nel sottocapitolo successivo.

4.5 Calcolo della radiazione solare

Nel calcolo del comfort termico viene considerata anche la temperatura dell'aria, la cui variazione giornaliera e annuale dipende dalla radiazione solare e dalle condizioni atmosferiche.
I fratelli Olgyay definiscono per prima cosa il valore dell'intensità della radiazione solare che colpisce perpendicolarmente la superficie terrestre nell'unità di tempo: viene definita Costante Solare (*solar constant*) e vale 1,94 cal / cm^2 / min (o 420 Btu / ft^2 / hr).

La radiazione, nell'attraversare l'atmosfera, assume diverse forme, che qui sono elencate in ordine decrescente di importanza:

1. **Radiazione diretta:**
   costituisce quella parte della radiazione che proviene direttamente dal disco solare e, attraversando l'atmosfera, giunge al terreno.

2. **Radiazione diffusa:**
   risultato della dispersione della radiazione nell'atmosfera causata dalle molecole d'aria. A causa della sua natura dispersa, colpisce da tutte le angolazioni.

3. **Radiazione riflessa dal terreno circostante.:**
   Viene particolarmente presa in considerazione se il sito di costruzione si trova in prossimità di neve o sabbia.

4. **Radiazione emessa dal terreno riscaldato e dagli oggetti circostanti:**
   Dipende dal materiale degli oggetti circostanti.

5. **Scambi di calore tra edifici e cielo.**

Oltre alla tipologia di radiazione, si osserva come la temperatura dell'aria sia strettamente influenzata dalle condizioni del cielo. In presenza di cielo sereno, l'atmosfera consente sia un'elevata ricezione di radiazione diretta durante il giorno, sia una significativa dispersione di calore nelle ore notturne, determinando così un'ampia escursione termica giornaliera. Al contrario, in condizioni di cielo nuvoloso, la radiazione è prevalentemente di tipo diffuso, a causa dell'effetto riflettente e disperdente delle nubi, le quali contribuiscono anche a trattenere una maggiore quantità di calore durante la notte. Ne deriva una riduzione dell'escursione termica.
Di conseguenza, si può affermare che, a parità di condizioni stagionali, una giornata estiva serena risulterà generalmente più calda rispetto a una nuvolosa, mentre in inverno accade l'opposto, con temperature mediamente più elevate in presenza di copertura nuvolosa.

Dal punto di vista del progettista, la condizione base per il calcolo delle misure compensative al comfort è quella di cielo sereno, perchè racchiude al suo interno le due condizioni limite a cui può essere soggetto l'edificio:

In estate questo significa considerare i giorni mediamente più caldi dell'anno, quando è più possibile il surriscaldamento.
In inverno significa considerare i giorni mediamente più freddi e con più escursione termica.

Detto in altre parole, progettare con cielo sereno vuol dire considerare le condizioni limite a cui saranno soggetti i frangisole, gli isolamenti termici e, se necessario, il condizionamento meccanico.
In particolare per il controllo solare, implica considerare le condizioni in cui prevale la radiazione diretta, che essendo di natura direzionale è più semplice da utilizzare per l'orientamento dei frangisole.

L'atmosfera viene presa in considerazione anche per un altro motivo:
dal momento che la radiazione è in parte assorbita dagli elementi chimici atmosferici, l'intensità della radiazione dipenderà dalla distanza percorsa dal raggio solare nell'atmosfera (Fig. 4.10).

Quando il sole si trova verticale rispetto al terreno, la distanza percorsa è minima, mentre al mattino e alla sera la distanza è massima.
Si arriva adesso al momento di calcolare la radiazione solare ricevuta, che dipenderà dall'altezza del sole nel cielo.

Per l'altezza del sole, l'autore si affida ad una tipologia di diagramma chiamato Diagramma Solare (*Sun path diagram*; Fig. 4.11) che proietta la volta celeste su un cerchio, che rappresenta il piano dell'orizzonte. Gli archi graduati rappresentano la proiezione del percorso del sole durante l'anno, a quella particolare latitudine.

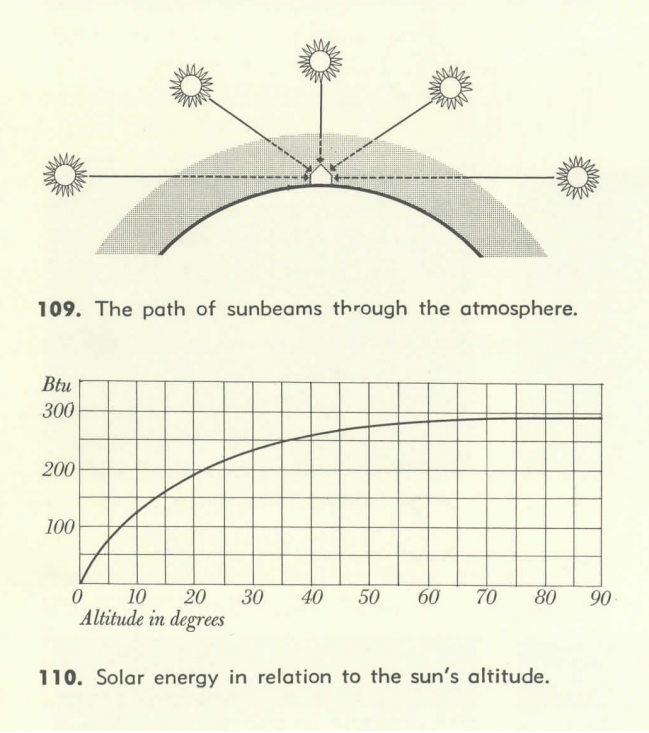


Fig. 4.10; *Relazione tra inclinazione dei raggi solari ed intensità della radiazione solare*; immagine presa da Olgyay, V., & Olgyay, A. (1957); pag. 56.

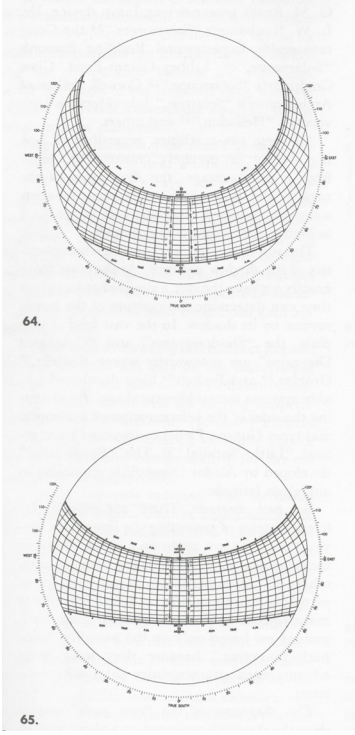


Fig. 4.11; *Diagrammi di percorso solare*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 36.

Il vantaggio di questo tipo di diagramma risiede nel fatto che vale per tutti i punti situati su una specifica latitudine, perché trae vantaggio dal fatto che l'angolo solare dipenda proprio da essa.
Allo scopo di calcolare la radiazione ricevuta, l'autore illustra un diagramma ideato da lui (Fig. 4.12), che permette di trovare sia su superfici orizzontali che verticali, la radiazione diretta, quella diffusa e quella totale (somma delle due precedenti). Questo avviene sovrapponendo fisicamente il diagramma solare (stampato su materiale traslucido) su quello della radiazione e orientandolo opportunamente a seconda del tipo di superficie che viene considerata.
Qui sotto ho, a questo proposito, elencato i diagrammi per i due tipi di superficie, orizzontale e verticale:

Fig. 4.12-66
Calcolatore della radiazione diretta su superfici orizzontali e verticali:
L'intensità della radiazione che colpisce una superficie orizzontale è indicata nella metà superiore da due linee indicanti i valori di intensità solare (in Btu / ft^2 / hr). In questo caso l'intensità della radiazione dipende dall'angolo d'incidenza. A sua volta l'angolo d'incidenza dipende dalla posizione del sole nel cielo. La posizione nel cielo dipende dal momento dell'anno e dall'ora del giorno, che corrisponde ad un punto nel diagramma di percorso solare.
Di conseguenza, si deve ruotare il percorso solare fino a far corrispondere il punto in questione o alla retta graduata della radiazione diretta o a quella della radiazione totale (a seconda di quale si voglia calcolare)(Fig. 4.13-73).

La metà inferiore è invece composta da curve concentriche che rappresentano l'intensità solare diretta (in Btu / ft^2 / hr), su una superficie verticale.
In questo caso l'intensità dipende sia dall'altezza del sole, sia dall'azimuth, ovvero la sua posizione rispetto al sud. Questo perchè una superficie verticale non è sempre illuminata durante la giornata, a causa della sua perpendicolarità al terreno.
Per leggere l'intensità diretta in un preciso momento (ora e giorno) bisogna orientare il diagramma di percorso solare in modo che il suo sud corrisponda a dove si troverebbe il sud rispetto alla superficie verticale.
A questo punto, si osserva su quale curva si colloca il momento desiderato e si legge il valore puntuale di intensità. Se il punto desiderato ricade nella metà su-

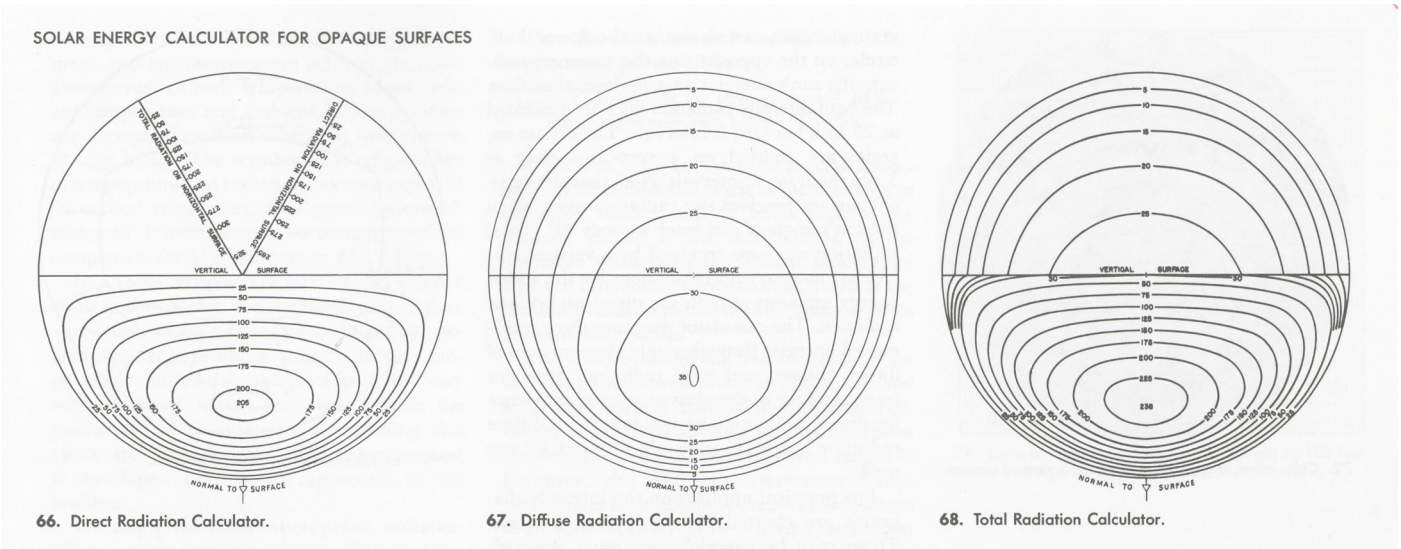


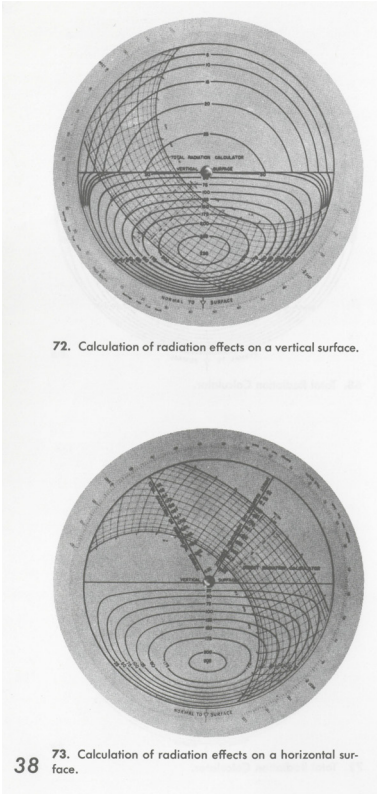
Fig. 4.12; *Calcolatori della radiazione solare su superfici orizzontali e verticali*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 37.

periore del grafico, il valore sarà zero.

Fig. 4.12-67
Calcolatore della radiazione diffusa su una superficie verticale:
Il diagramma raffigura delle curve simili a quelle nella metà inferiore dell'4.12-66, perchè rappresentano i valori di radiazione (in Btu / ft^2 / hr) su una superficie verticale. La differenza è che queste curve indicano l'intensità della radiazione diffusa, che essendo meno intensa di quella diretta presenta dei valori più bassi anche di un ordine di grandezza.
Se nel caso 4.12-66 (radiazione diretta) il percorso del sole era da considerare nella misura in cui copriva la metà inferiore del diagramma, qui viene considerata anche la parte di percorso solare che non illuminerebbe direttamente il muro, in quanto la radiazione diffusa non è direzionale e colpirebbe da tutte le direzioni.
Questo è riflesso dal fatto che le curve "continuano" anche nella metà superiore.

La lettura dei dati avviene sempre orientando il sud come in 4.12-66, con la differenza che vengono considerati anche i valori nella metà superiore.

Fig. 4.12-68
Calcolatore della radiazione totale su una superficie verticale:
Questo diagramma permette di leggere l'intensità della radiazione totale su una superficie verticale.
In quest'ultimo caso, i valori (in Btu / ft^2 / hr) di intensità corrispondono ai valori di radiazione totale (somma di diretta e diffusa). Questo è riflesso dai valori indicati nella metà inferiore, che corrispondono alle somme dei valori di 4.12-66 e 4.12-67.
La lettura dei dati avviene in modo analogo ai due diagrammi precedenti (11-66 e 11-67), facendo corrispondere il sud di progetto con il sud del diagramma e


72. Calculation of radiation effects on a vertical surface.

38 73. Calculation of radiation effects on a horizontal surface.

Fig. 4.13; *Sovrapposizione tra diagramma di percorso solare e calcolatore della radiazione solare*; immagine presa da Olgyay, V. (1963); pag. 38.

leggendo il valore corrispondente al momento desiderato (Fig. 4.13-72).

L'autore mostra anche come si possa calcolare (in tutti e tre i casi), su una superficie verticale, la radiazione totale ricevuta in un giorno.
Ogni curva rappresenta il valore in Btu ricevuti su un piede quadrato in un'ora: partendo dal momento in cui sorge il sole, si avanza di un'ora alla volta sul disco orario e si sommano tutti i valori che si trovano sul percorso durante l'arco della giornata.
L'autore riporta un esempio di calcolo giornaliero nella località di Princeton, New Jersey (40° nord) il giorno 21 giugno:

4:35 : alba
5:00 : 25 Btu
6:00 : 87 Btu
7:00 : 138 Btu
8:00 : 170 Btu

9:00 : 178 Btu
10:00 : 164 Btu
11:00 : 130 Btu
12:00 : 87 Btu
13:00 : 30 Btu
14:00 : 27 Btu
15:00 : 23 Btu
16:00 : 21 Btu
17:00 : 17 Btu
18:00 : 11 Btu
19:00 : 4 Btu
19:25 : tramonto

La somma dei contributi di radiazione conduce a un valore complessivo pari a 1112 Btu / ft^2 / giorno; tuttavia, non viene esplicitata la procedura per effettuare un analogo calcolo nel caso di superfici orizzontali. Un limite del diagramma di intensità della radiazione risiede inoltre nell'assunzione di condizioni ideali di cielo sereno, che non consente di considerare in modo realistico la variabilità meteorologica, in particolare la presenza di nuvolosità e foschia, fattori che incidono significativamente sulla radiazione incidente.

Nel complesso, in questa fase i fratelli Olgyay avviano un'interpretazione in chiave architettonica dei dati relativi alla radiazione solare, riferendoli sia a superfici orizzontali sia verticali e mettendoli in relazione con le condizioni atmosferiche e la geografia del luogo. In tale contesto, il diagramma di percorso solare, precedentemente introdotto nel paragrafo 4.3, assume un ruolo centrale, offrendo una lettura dei dati più intuitiva e accessibile; per la prima volta all'interno di questo lavoro di tesi, infatti, alcuni principi vengono tradotti in una descrizione quantitativa delle condizioni ambientali.

4.6 Conclusioni

Nel capitolo 4 è stato introdotto il quadro operativo della ricerca dei fratelli Olgyay, mettendo in evidenza gli elementi teorici ritenuti maggiormente rilevanti ai fini del presente lavoro di tesi. Alla descrizione degli strumenti grafici si è affiancata una riflessione critica sui loro limiti, con l'obiettivo di chiarire la distanza temporale e tecnologica che separa il contesto originario degli studi da quello attuale, e di rendere consapevole l'uso di tali strumenti nel quadro contemporaneo.

È stata inoltre operata una selezione dei parametri da approfondire: l'analisi si concentra sulla zona di comfort, sull'ombra e sulla radiazione solare, tralasciando il vento. Tale scelta deriva dalla loro maggiore incidenza nella progettazione architettonica nell'area di Torino, caratterizzata da frequenti condizioni di smog e da una limitata esposizione a venti intensi. A questo si aggiunge una motivazione di natura operativa, in quanto il software utilizzato per l'analisi non prevede l'elaborazione di dati relativi alle condizioni del vento.

Questa impostazione consente di costruire un quadro analitico coerente con il contesto di studio e con gli strumenti disponibili, mantenendo al contempo un legame diretto tra teoria e applicazione. Nel capitolo 7, infatti, metodo Olgyay verrà applicato all'area corrispondente alla città di Torino, permettendo di verificare in modo concreto l'efficacia delle considerazioni sviluppate e di valutarne la pertinenza rispetto alle condizioni climatiche locali.

Il capitolo precedente ha introdotto il quadro teorico del metodo Olgyay, mettendone in evidenza i principi fondamentali e le modalità di interpretazione del clima in chiave progettuale. Partendo da questa base teorica, è utile analiz-

zare come ne è stato scritto negli anni successivi alla sua pubblicazione, al fine di fornire un inquadramento utile a comprendere come il metodo sia stato tradotto in strumenti e pratiche progettuali e come si sia potuti arrivare ad una valutazione più consapevole della sua efficacia nel contesto contemporaneo.
Quest'analisi consente anche di inquadrare il metodo all'interno di un contesto più ampio, caratterizzato sia da nuove esigenze operative che da un nuovo contesto tecnologico.

Il presente capitolo si propone quindi di esaminare una selezione di contributi successivi che fanno riferimento all'approccio bioclimatico degli Olgyay, con l'obiettivo di evidenziarne sia le continuità rispetto all'impostazione originaria, sia le eventuali modifiche e integrazioni introdotte.
Questo manuale, pubblicato per la prima volta nel 1969, si colloca in un periodo non troppo distante dalle principali pubblicazioni dei fratelli ungheresi. Nelle sezioni introduttive, l'autore approfondisce il concetto di temperatura media della pelle (*Mean Skin Temperature*), definita come uno dei parametri che influenzano lo scambio termico tra il corpo umano e l'ambiente circostante. A differenza della temperatura corporea interna, generalmente stabile, la temperatura della pelle è soggetta a variazioni anche in intervalli temporali ridotti e può differire tra le varie parti del corpo in funzione della circolazione sanguigna. In condizioni inferiori alla soglia di comfort, essa viene inoltre considerata come un indice dello stress termico percepito dall'organismo.

Nel capitolo dedicato al controllo solare è presenti una sezione relativa al calcolo della forma e della lunghezza delle schermature solari, basata sul modo in cui la radiazione solare incide sull'edificio. In questo contesto vengono citati direttamente i fratelli Olgyay, che distinguono le schermature solari in due categorie principali: **(I)** Sporgenza (*overhang*, orizzontale) e **(II)** Pinna (*fin*, verticale). L'effetto di tali dispositivi sulla quantità di radiazione e luce incidente viene rappresentato da una maschera d'ombra (*Shading Mask*), costruita assumendo come punto di riferimento il centro della parte inferiore della superficie vetrata (Fig. 5.1). Per una descrizione più approfondita del funzionamento della maschera d'ombra si può fare riferimento al capitolo 4.4 della seguente tesi.

5. Scritti successivi

5.1 Introduzione

Il capitolo precedente ha introdotto il quadro teorico del metodo Olgyay, mettendone in evidenza i principi fondamentali e le modalità di interpretazione del clima in chiave progettuale. Partendo da questa base teorica, è utile analizzare come ne è stato scritto negli anni successivi alla sua pubblicazione, al fine di fornire un inquadramento utile a comprendere come il metodo sia stato tradotto in strumenti e pratiche progettuali e come si sia potuti arrivare ad una valutazione più consapevole della sua efficacia nel contesto contemporaneo.
Quest'analisi consente anche di inquadrare il metodo all'interno di un contesto più ampio, caratterizzato sia da nuove esigenze operative che da un nuovo contesto tecnologico.

Il presente capitolo si propone quindi di esaminare una selezione di contributi successivi che fanno riferimento all'approccio bioclimatico degli Olgyay, con l'obiettivo di evidenziarne sia le continuità rispetto all'impostazione originaria, sia le eventuali modifiche e integrazioni introdotte.

5.2 Manuali tecnici

5.2.1 Givoni B.: *Man, climate and architecture*; 1969

Questo manuale, pubblicato per la prima volta nel 1969, si colloca in un periodo non troppo distante dalle principali pubblicazioni dei fratelli ungheresi. Nelle sezioni introduttive, l'autore approfondisce il concetto di temperatura media della pelle (Mean Skin Temperature), definita come uno dei parametri che influenzano lo scambio termico tra il corpo umano e l'ambiente circostante. A differenza della temperatura corporea interna, generalmente stabile, la temperatura della pelle è soggetta a variazioni anche in intervalli temporali ridotti e può differire tra le varie parti del corpo in funzione della circolazione sanguigna. In condizioni inferiori alla soglia di comfort, essa viene inoltre considerata come un indice dello stress termico percepito dall'organismo.

Nel capitolo dedicato al controllo solare è presenti una sezione relativa al calcolo della forma e della lunghezza delle schermature solari, basata sul modo in cui la radiazione solare incide sull'edificio. In questo contesto vengono citati direttamente i fratelli Olgyay, che distinguono le schermature solari in due categorie principali: **(I)** Sporgenza (*overhang*, orizzontale) e **(II)** Pinna (*fin*, verticale). L'effetto di tali dispositivi sulla quantità di radiazione e luce incidente viene rappresentato da una maschera d'ombra (Shading Mask), costruita assumendo come punto di riferimento il centro della parte inferiore della superficie vetrata (Fig. 5.1). Per una descrizione più approfondita del funzionamento della maschera d'ombra si può fare riferimento al capitolo 4.3 della seguente tesi.

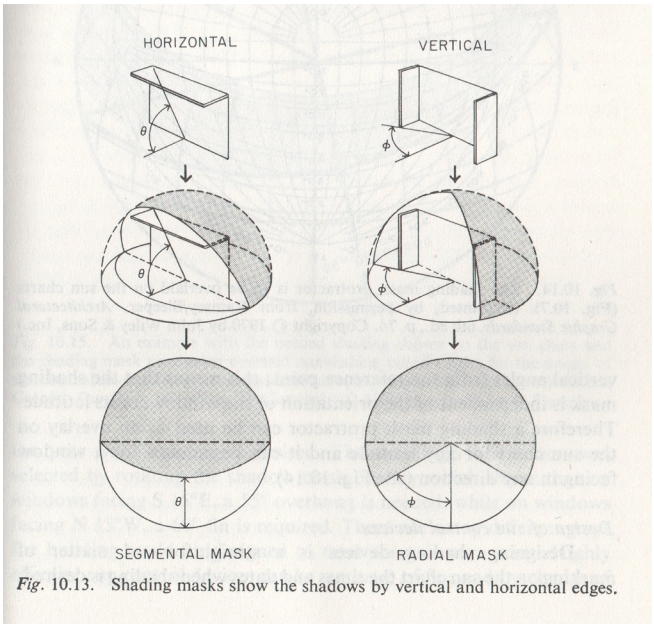
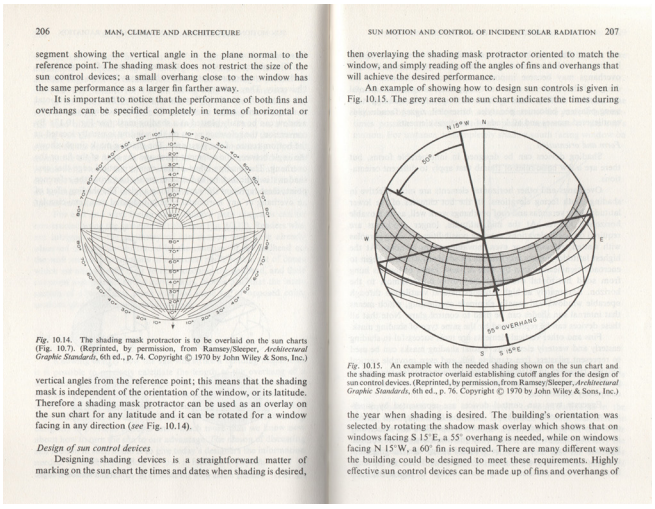


Fig. 10.13. Shading masks show the shadows by vertical and horizontal edges.

Fig. 5.1; *Tipologie di frangisole, ereditate da Olgyay*; immagine presa da Givoni, B. (1976); pag. 205.

L'autore specifica inoltre che la maschera d'ombra non dipende dalla dimensione assoluta della schermatura, poiché una sporgenza di dimensioni ridotte posta in prossimità della finestra può produrre lo stesso effetto di una schermatura più grande collocata a maggiore distanza. L'efficacia del dispositivo, sia esso orizzontale o verticale, dipende quindi principalmente dalla sua geometria e non dall'orientamento della finestra o dalla latitudine del luogo.

Givoni illustra successivamente un metodo per determinare l'inclinazione più appropriata delle schermature in relazione all'orientamento dell'apertura. Il procedimento consiste nel sovrapporre il goniometro delle maschere d'ombra (*Shading mask protractor*) al diagramma del percorso solare, sul quale è stato precedentemente individuato il periodo dell'anno in cui la protezione solare risulta necessaria. Il goniometro viene quindi orientato facendo coincidere l'orientamento della finestra con i punti cardinali del diagramma solare, consentendo così di individuare gli angoli più efficaci per il controllo dell'irraggiamento (Fig. 5.2, a destra).



206 MAN, CLIMATE AND ARCHITECTURE

segment showing the vertical angle in the plane normal to the reference point. The shading mask does not restrict the size of the sun control devices; a small overhang close to the window has the same performance as a larger fin farther away.

It is important to notice that the performance of both fins and overhangs can be specified completely in terms of horizontal or

Fig. 10.14. The shading mask protractor is to be overlaid on the sun charts (Fig. 10.7). (Reprinted, by permission, from Ramsey/Sleeper, *Architectural Graphic Standards*, 6th ed., p. 74. Copyright © 1970 by John Wiley & Sons, Inc.)

vertical angles from the reference point; this means that the shading mask is independent of the orientation of the window, or its latitude. Therefore a shading mask protractor can be used as an overlay on the sun chart for any latitude and it can be rotated for a window facing in any direction (*see* Fig. 10.14).

Design of sun control devices

Designing shading devices is a straightforward matter of marking on the sun chart the times and dates when shading is desired,

SUN MOTION AND CONTROL OF INCIDENT SOLAR RADIATION 207

then overlaying the shading mask protractor oriented to match the window, and simply reading off the angles of fins and overhangs that will achieve the desired performance.

An example of showing how to design sun controls is given in Fig. 10.15. The grey area on the sun chart indicates the times during

Fig. 10.15. An example with the needed shading shown on the sun chart and the shading mask protractor overlaid establishing cutoff angles for the design of sun control devices. (Reprinted, by permission, from Ramsey/Sleeper, *Architectural Graphic Standards*, 6th ed., p. 76. Copyright © 1970 by John Wiley & Sons, Inc.)

the year when shading is desired. The building's orientation was selected by rotating the shadow mask overlay which shows that on windows facing S 15° E, a 55° overhang is needed, while on windows facing N 15° W, a 60° fin is required. There are many different ways the building could be designed to meet these requirements. Highly effective sun control devices can be made up of fins and overhangs of

Fig. 5.2; *Goniometro della radiazione solare einterazione con il diagramma di percorso solare*; immagine presa da Givoni, B. (1976); pag. 206-207.

La lettura del diagramma varia a seconda che si voglia determinare l'inclinazione di una schermatura verticale oppure di una orizzontale. Nel caso delle schermature verticali, vengono considerate le linee radiali presenti nella metà superiore del goniometro, le quali indicano l'angolo rispetto a un raggio solare normale alla parete; l'inclinazione ritenuta più efficace corrisponde alla linea radiale che intercetta il limite superiore del periodo sovrariscaldato. Per le schermature orizzontali, invece, si prendono in considerazione gli archi presenti nella metà inferiore del diagramma: l'arco che raggiunge il limite inferiore del periodo sovrariscaldato individua l'inclinazione ideale della sporgenza. Tali diagrammi derivano direttamente dai manuali degli Olgyay, dei quali Givoni riprende il metodo illustrandone il procedimento in maniera più dettagliata.

Nel capitolo dedicato ai materiali e ai principi del design, Givoni attribuisce inoltre agli Olgyay il merito di aver proposto per primi una procedura sistematica capace di mettere in relazione il processo progettuale con le condizioni climatiche del luogo e con le esigenze climatiche dell'abitante. Il metodo viene descritto come fondato sul grafico bioclimatico, a sua volta costruito a partire dai parametri che definiscono il comfort termico.

Givoni fa tuttavia notare alcuni limiti del metodo, sottolineando come i bisogni climatici vengano calcolati sulla base del clima esterno piuttosto che sulle condizioni interne dell'edificio. Queste ultime, infatti, non coincidono necessariamente con il clima esterno, ma dipendono da fattori quali i materiali utilizzati, l'orientamento dell'edificio e il numero di aperture presenti. Per tale motivo, secondo l'autore, il metodo degli Olgyay risulta maggiormente efficace nei climi umidi, dove le differenze tra ambiente interno ed esterno sono minime, mentre nei climi caldo aridi la lettura dei dati attraver-

so il grafico bioclimatico può condurre a risultati meno attendibili.

Givoni propone un metodo per determinare i requisiti del comfort termico, basato sull'indice di stress termico (*Index of Thermal Stress*). Tale approccio si articola in tre fasi, finalizzate all'analisi delle condizioni climatiche e all'individuazione delle strategie progettuali più appropriate per ristabilire il comfort termico dell'abitante:

1) Analisi del clima
Il clima viene analizzato su base giornaliera nei periodi in cui l'abitante è esposto alle condizioni di maggiore stress termico. Oltre ai momenti caratterizzati da sovrariscaldamento o sottoriscaldamento, vengono considerati anche i periodi particolarmente umidi e piovosi, in aggiunta a quelli più secchi. Per i mesi più caldi e freddi vengono quindi compilati i range giornalieri relativi alla temperatura dell'aria, alla pressione di vapore e alla velocità dell'aria; la stessa operazione viene estesa anche ad altri periodi dell'anno qualora uno di questi parametri presenti valori tali da generare condizioni di stress.

2) Scelta di un approccio in un clima caldo
Givoni confronta due possibili modalità per il raggiungimento del comfort nei climi caldi: la ventilazione e la riduzione della temperatura interna rispetto a quella esterna. Il livello di comfort viene valutato attraverso lo stress termico del corpo, misurato in base alla quantità di sudore dispersa nell'arco di un'ora: una perdita compresa tra 40 e 60 g/h corrisponde a condizioni di comfort, mentre valori superiori a 100 g/h indicano una condizione di stress termico. Nel primo caso l'autore assume che, in presenza di una ventilazione sufficiente, la temperatura dell'aria e la pressione di vapore interne coincidano con quelle esterne; di conseguenza, per l'analisi dei bisogni climatici è possibile fare riferimento ai soli dati esterni. Viene inoltre considerato che la velocità dell'aria e la pressione di vapore interne coincidano con quelle esterne; di conseguenza, per l'analisi dei bisogni climatici è possibile fare riferimento ai soli dati esterni. Viene inoltre considerato che la velocità dell'aria all'interno dell'ambiente sia pari al 30% di quella esterna e che il limite massimo tollerabile, prima che il movimento dell'aria generi discomfort, sia pari a 1,5 m/s. Se in tali condizioni il comfort può essere ottenuto mediante la sola ventilazione, il progetto dovrà quindi privilegiare soluzioni capaci di favorire il movimento dell'aria, come una corretta disposizione e quantità delle aperture.

Nel caso in cui invece la ventilazione non sia sufficiente, oppure produca, in alcuni momenti, condizioni di discomfort, Givoni propone un secondo approccio, fondato sulla riduzione della temperatura interna dell'edificio attraverso la scelta dei materiali. In questo caso si assume che l'aria interna sia ferma e che la pressione di vapore interna sia superiore di 2 mm Hg rispetto a quella esterna. Utilizzando ancora l'indice di Stress Termico come riferimento, il limite superiore della temperatura di comfort viene individuato nella condizione che determina una perdita di sudore pari a 100 g/h. La soluzione progettuale indicata dall'autore consiste in un edificio rivestito esternamente di bianco e ventilato durante la notte, condizione che può consentire una sensibile riduzione della temperatura interna massima rispetto a quella esterna. Se l'indice di stress termico rimane inferiore a 80 g/h, i requisiti di comfort possono essere soddisfatti attraverso un'adeguata scelta dei materiali e dei colori; nel caso in cui nessuno dei due approcci risulti efficace, diventa invece necessario ricorrere a condizionamento artificiale dell'aria.

3) Grafico Bioclimatico
La possibile riduzione della temperatura

interna rispetto a quella esterna aumenta al crescere dell'escursione termica giornaliera esterna. Quest'ultima, a sua volta, è influenzata dalla pressione di vapore dell'aria: al diminuire della pressione di vapore, infatti, cresce il margine entro cui è possibile ottenere condizioni interne di comfort anche in presenza di temperature esterne più elevate. Di conseguenza, il limite superiore della temperatura esterna compatibile con il comfort interno risulta più alto nei casi in cui l'aria è più secca, come indicato in Fig. 5.3.

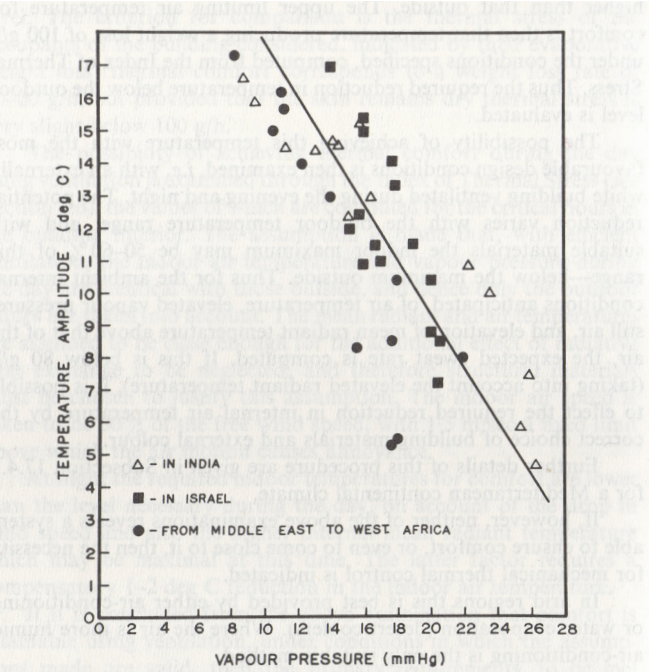


Fig. 16.1. Relationship between average monthly vapour pressure and temperature amplitude of outdoor air in different regions.

Fig. 5.3; *Relazione tra pressione di vapore media mensile ed escursione termica esterna*; immagine presa da Givoni, B. (1976); pag. 314.

La relazione tra pressione di vapore e temperatura viene rappresentata in forma approssimata attraverso l'equazione:

$$\Delta t\,(^{o}C) = 26 - 0,83^{*} v.p.(mmHg)$$

Dove **Δt** indica il range di temperatura e v.p. la pressione di vapore, questa relazione viene successivamente rappresentata da Givoni all'interno di un diagramma psicrometrico, definito dall'autore come Grafico Bioclimatico dell'Edificio (Fig. 5.4). Analogamente al grafico di Olgyay, anche in questo caso viene individuata una zona di comfort, indicata con la lettera N, che rappresenta nello specifico le condizioni di benessere estivo per abitanti a riposo o impegnati in attività sedentarie. La linea tratteggiata N' delimita invece un intervallo di condizioni considerate ancora accettabili, i cui limiti superiori di temperatura sono pari a 26 °C e 28°C, corrispondenti rispettivamente a valori di pressione di vapore di 20 e 5 mm Hg.

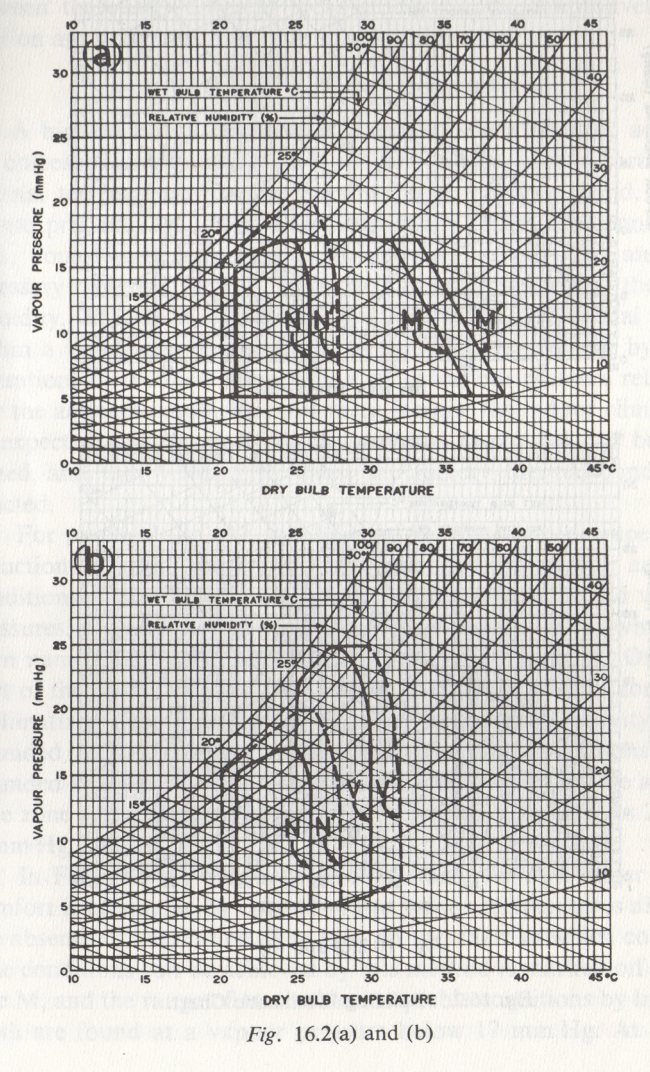


Fig. 16.2(a) and (b)

Fig. 5.4; *Grafici psicrometrici di Givoni, contenenti i parametri N, M e V*; immagine presa da Givoni, B. (1976); pag. 315.

Nel grafico (a), la lettera M individua l'intervallo di condizioni entro le quali è possibile raggiungere il comfort termico attraverso il solo controllo della temperatura interna, senza ricorrere alla ventilazione; analogamente, M' indica il range di condizioni ancora accettabili. Entrambe le aree si collocano al di sotto dei 17 mm Hg di pressione di vapore, poiché, a valori di umidità più elevati e in assenza di ventilazione, si determinerebbero condizioni in cui il comfort può essere ottenuto mediante ventilazione, delimitate dalla lettere V, con limiti superiori pari a 28 e 30 °C in corrispondenza di 17 mm Hg di pressione di vapore. Tale area riguarda edifici progettati per minimizzare i guadagni di calore; il range risulta invece più ampio, indicato con V', nel caso in cui si considerino edifici dotati di elevata resistenza termica e di superfici esterne bianche, raggiungendo limiti di 30 e 32 °C a 5 mm Hg. Al di sotto dei 17 mm Hg è inoltre presente una zona di sovrapposizione tra le condizioni di comfort ottenibili tramite ventilazione e quelle raggiungibili mediante controllo della temperatura interna, indicando situazioni in cui entrambe le strategie possono risultare efficaci. Quando nessuna delle due soluzioni è sufficiente a ristabilire il comfort (Fig. 5.5) , Givoni individua la necessità di ricorrere al raffrescamrnto evaporativo, rappresentato nei grafici (c) e (d) dalle aree E.C. ed E.C'. Nei casi in cui anche tali strategie non siano in grado di garantire condizioni accettabili, diventa infine necessario l'impiego del condizionamento meccanico dell'aria, indicato con A.C.

Nelle condizioni indicate dalla lettera W, comprese tra 20 e 27 °C e collocate al di sotto dei 5 mm Hg di pressione di vapore, Givoni individua la necessità di umidificare l'aria, al fine di evitare fenomeni di irritazione dovuti a un'eccessiva secchezza ambientale. Le aree H e H', situate al di sotto dei 20° C, rappresentano invece quelle condizioni in cui la temperatura

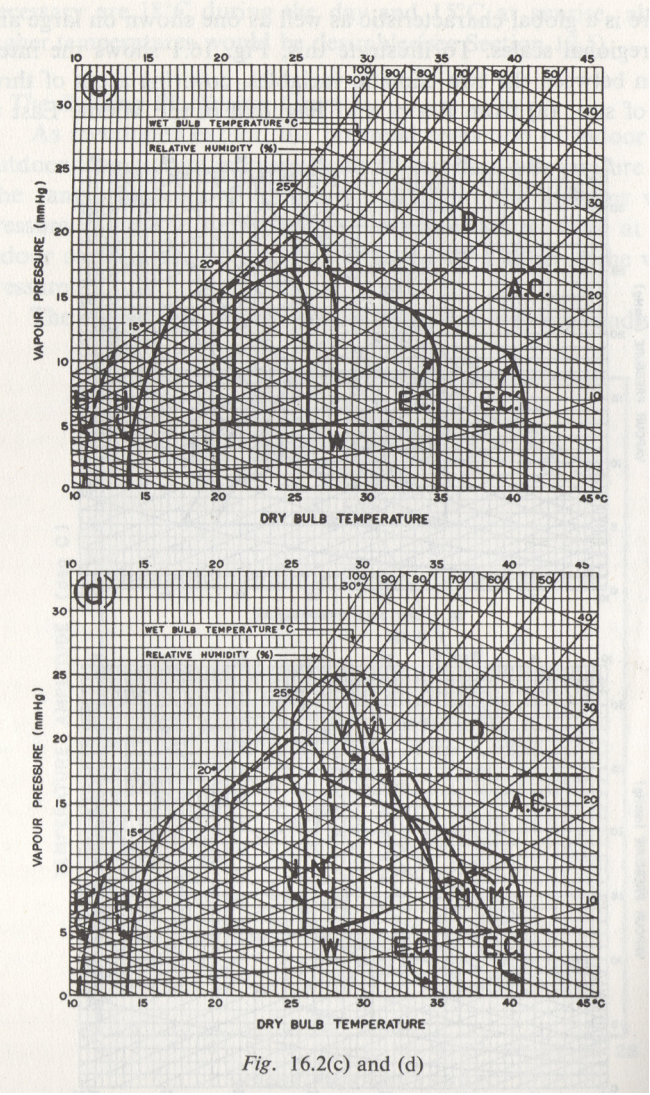


Fig. 16.2(c) and (d)

Fig. 5.5; *Grafici psicrometrici di Givoni, contenenti i parametri N, M, V, W, H, E.C. e A.C.*; immagine presa da Givoni, B. (1976); pag. 316.

minima interna risulta sufficientemente superiore rispetto alla minima esterna da non rendere necessario il ricorso al riscaldamento. L'autore precisa tuttavia che i limiti individuati nel grafico devono essere interpretati come indicazioni orientative delle strategie da adottare, poiché la loro applicazione deve sempre essere verificata in relazione alle specifiche caratteristiche microclimatiche del luogo di progetto. In questo senso, rispetto al metodo degli Olgyay, il contributo di Givoni introduce un maggiore livello di precisione nella definizione dei requisiti di comfort dell'abitante: mentre il grafico di Olgyay descriveva in modo dettagliato il rapporto tra parametri ambientali

e risposta fisiologica del corpo umano - includendo temperatura, umidità, vento, evaporazione e radiazione - esso forniva indicazioni progettuali generiche, come la necessità di ombreggiamento, ventilazione, umidificazione, associando a ciascuno scostamento dalla zona di comfort una risposta tecnologica più precisa, come il raffrescamento evaporativo o il condizionamento meccanico, e distinguendo inoltre le soluzioni in funzione della diversa inerzia termica degli edifici. Anche nella definizione del comfort emerge una differenza significativa: Olgyay non ricorreva a indici fisiologici come l'indice di stress termico, ma a intervalli di temperatura e umidità modificabili in base al microclima e all'abitante di riferimento, dicendo al riguardo:

"*Man strives for the point at which minimum expenditure of energy is needed to adjust himself to his environment*"[8]

L'uso dell'indice di Stress termico consente invece a Givoni di inquadrare più precisamente la risposta del singolo abitante alle condizioni ambientali.

8 "L'uomo punta allo stato in cui è necessario uno sforzo minimo per adattarsi al suo ambiente." Olgyay V. (1963); pag. 14-15.

5.2.2 Izard J.-L.; Guyot A.: *Archi Bio: architettura bioclimatica*; 1979

Questo manuale si pone di illustrare in cosa consiste l'approccio bioclimatico all'architettura, anteponendo ad esso una tendenza dei suoi contemporanei a considerare solo l'apparato tecnologico nella definizione di un edificio bioclimatico. In particolare, l'autore fa notare come l'efficienza degli impianti sia variabile e di come sia auspicabile tornare ad un approccio che consideri l'architettura come un tramite tra il clima e i bisogni fisiologici dell'uomo.
Viene fatto notare come a volte si costruisca considerando soprattutto l'isolamento termico, fornendo protezione dal freddo ma allo stesso tempo rendendo l'abitazione difficile da abitare in estate.

Il primo capitolo si punta a descrivere in cosa consiste l'approccio bioclimatico. Premette innanzitutto che è un approccio antico, che rispondeva alla necessità di adattarsi al clima circostante. La necessità di adattamento veniva spesso dal fatto che chi costruiva era il futuro abitante della casa, mentre nel presente l'architetto costruisce spesso per altri utenti. Oltre che per altri utenti, a volte si costruisce in climi e latitudini dei quali non si ha molta conoscenza diretta.
Conclude dicendo che la ricerca di un approccio bioclimatico non può avvenire senza conoscere le esigenze climatiche umane e il comportamento dei materiali in relazione al clima locale.

Nel dare una definizione di quello che è il benessere termico dell'abitante, vengono confrontati tre modelli: **(I)** Olgyay, **(II)** Givoni, e **(III)** Miller-Chagas.
Di Olgyay è rappresentato il grafico bioclimatico con la zona di comfort, spiegandone i componenti e gli effetti sul corpo umano delle condizioni esterne alla zona di comfort.
L'autore riconosce al metodo il merito di poter trarre i bisogni climatici interni in relazione alle condizioni esterne, ma evidenzia alcune criticità:

1. Definire il comfort come condizione legata al rendimento del lavoro è poco preciso.
2. L'umidità relativa non è un parametro che descrive accuratamente il comfort termico, mentre l'umidità assoluta è più appropriata.
3. Il bisogno di radiazione solare non si basa soltanto sulla temperatura dell'aria, ma considera anche l'inerzia termica dell'edificio e l'escursione ter-

mica esterna.

4. Le misure correttive mostrate dal grafico sono mostrate solo come requisiti climatici (ventilazione, grammi d'acqua per chili d'aria) e non come soluzioni architettoniche concrete.

Di Givoni, l'autore evidenzia l'uso del diagramma psicrometrico e dell'indice di stress termico per definire la zona di comfort, che in questo caso è divisa in due aree: zona di comfort stretto e zona delle "condizioni sopportabili".
Il tasso di sudorazione, in questo manuale, è espresso in kcal/h equivalenti ed è espresso con un'equazione che si trova nel manuale di riferimento di Givoni *Man Climate and Architecture* (1969):

$$S = [(M - W) \pm C \pm R] \left(\frac{1}{re}\right)$$

Dove:

S = tasso di sudorazione richiesto (kcal / h equivalenti).
M = tasso metabolico (kcal / h).
W = energia metabolica trasformata in lavoro meccanico (kcal / h).
C = scambio termico per convezione (kcal / h).
R = scambio termico per irraggiamento (kcal / h).
re = chiamato anche f nel manuale di Givoni, è il rendimento evaporatorio/raffrescante del sudore (adimensionale).

Il terzo metodo mostrato è stato sviluppato da J.J. Vogt[9] e P. Miller-Chagas[10]. Questo metodo afferma che, per garantire comfort termico, devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

1. **Omeotermia centrale** (condizione in cui la temperatura interna dell'organismo è costante).
2. **Temperatura media della pelle** pari a 33 °C.
3. **Tasso di sudorazione massimo** pari a 100 g / h.
4. Condizione di "**pelle secca**" (condizione in cui l'evaporazione massima consentita dalle condizioni ambientali è pari a 10 volte l'evaporazione necessaria al mantenimento dell'omeotermia.
5. **Metabolismo costante** (es. assenza di brividi).
6. **Non disseccamento** delle mucose della bocca e della gola (ottenibile se la pressione parziale di vapore non supera i 10 mm Hg).
7. **Umidità relativa interna** compresa tra 75% e 85%.

Queste condizioni vengono quindi rappresentate in un diagramma psicrometrico che, a differenza di quello di Givoni, pone la tensione di vapore come ascissa e la temperatura come ordinata (Fig. 5.6). Questo poligono grigio ha cinque limiti di cui:

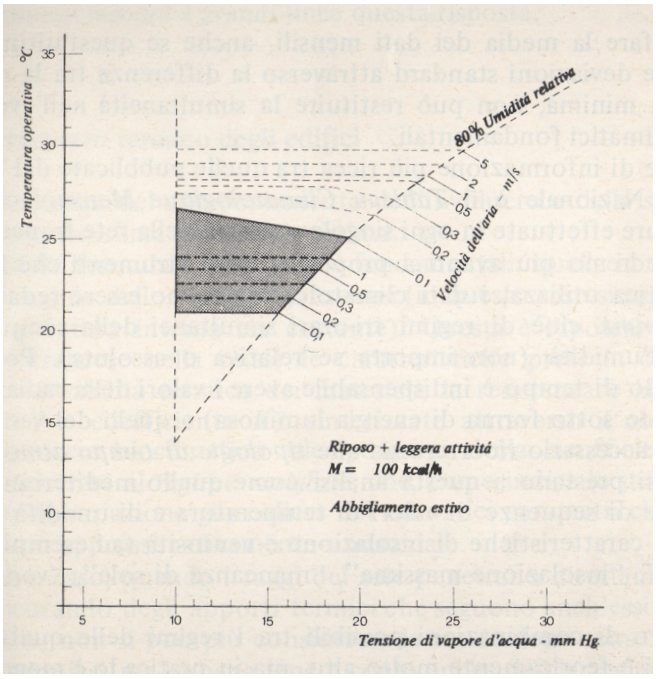


Fig. 5.6; *Poligono Psicrometrico di Vogt e Miller-Cha*gas; immagine presa da Izard, J.-L., & Guyot, A. (1979*)*; pag. 17.

9 Jean-Jacques Vogt (1937 -) è stato un ricercatore presso il Centro di Ricerca Bioclimatica di Strasburgo.

10 Philomena Miller-Chagas (1938 -) è stata architetto e docente presso l'ENSAS (École Nationale Supérieure d'Architecture) di Strasburgo.

Due fissi: (I) tensione di vapore pari a 10 mm Hg (condizione n. 6) e **(II)** curva dell'umidità relativa pari all'80% (condizione n. 7).
Nel diagramma questi corrispondono al limite verticale sinistro e al limite curvo destro (entrambe linee piene).

Tre variabili: (III) temperatura "operativa" al di sotto della quale la conservazione dell'omeotermia richiede un aumento del tasso metabolico (condizione n. 5), **(IV)** temperatura operativa al di sopra della quale la conservazione dell'omeotermia richiede una sudorazione superiore a 100 g / h (condizione n. 3) e **(V)** valore dell'umidità dell'ambiente al di sopra del quale il sudore non evapora totalmente.
Nel diagramma questi corrispondono al limite orizzontale inferiore (linea continua), al limite orizzontale superiore (linea continua) e alle linee tratteggiate disposte sia all'interno che all'esterno del poligono.

La temperatura è chiamata "operativa" perché integra la temperatura dell'aria, la temperatura radiante e la temperatura percepita a causa della velocità dell'aria vicina al soggetto.

Viene specificato che il grafico è valido per un abitante a riposo o che svolge attività leggere in ambito estivo. Infatti gli autori aggiungono che il comfort coinvolge numerosi fattori esterni al clima come **(I)** il tipo di attività svolta, **(II)** l'abbigliamento, **(III)** gli atteggiamenti culturali.

Questo grafico differisce molto da Olgyay, perché il comfort non viene illustrato come una zona generica, ma come un poligono costituito da limiti fisiologici.
Il grafico risulta quindi più vicino a quello di Givoni, che descrive a sua volta il comfort con dei limiti basati sui parametri climatici. L'unica differenza risiede nella mancanza di indicazioni progettuali nel grafico di Vogt e Miller-Chagas.

Un'altro punto di distanza con Olgyay è il modo in cui vengono raccolti e interpretati i dati climatici: gli autori di questo metodo non ritengono che ci si possa accontentare dei dati mensili, ma che sia necessario considerare sequenze di dati, deviazioni standard e frequenze cumulate. La media mensile non restituisce il fatto che gli elementi climatici agiscano in maniera simultanea sull'edificio, che a sua volta risponderà a questo effetto combinato degli elementi climatici.

Il secondo capitolo, scritto da Alain Guyot[11], si concentra sugli effetti del vento in architettura, soffermandosi sulla ventilazione naturale.
L'autore sottolinea i motivi per cui è auspicabile ventilare un'abitazione: **(I)** mantiene le condizioni igieniche, **(II)** garantisce comfort termico e **(III)** raffredda la struttura dell'edificio.
La ventilazione si può indurre sfruttando le differenze di pressione e temperatura all'interno dell'edificio, per esempio considerando le zone soleggiate e quelle ombreggiate.

11 Alain Guyot (1948 -) è un ricercatore e autore francese legato allo sviluppo dell'architettura bioclimatica in Francia tra gli anni '70 e '80.

5.2.3 Grosso M.: *Il raffrescamento passivo degli edifici in zona a clima temperato*; 1997

Il manuale di Mario Grosso si inserisce nel filone della progettazione bioclimatica applicata al comfort dell'abitante, affrontando il tema della climatizzazione estiva alla luce del crescente utilizzo degli impianti di condizionamento e dei relativi costi energetici, con particolare riferimento al contesto europeo. L'autore evidenzia come una quota significativa della superficie terrestre e della popolazione sia esposta a condizioni climatiche caldo-aride o caldo-umide e come anche nelle aree temperate le temperature estive superano frequentemente i limiti della zona di comfort, contribuendo a un

aumento dei consumi energetici.

In risposta a tale scenario, il testo propone l'impiego di strategie di raffrescamento passivo, basate su meccanismi fisico-tecnici naturali o indotti, capaci di garantire condizioni di benessere con un ridotto ricorso a energia esterna. Questo approccio viene rielaborato attraverso l'integrazione di conoscenze storiche, metodologie progettuali e strumenti di calcolo aggiornati, ponendosi anche in posizione critica rispetto a indirizzi normativi, come quelli relativi agli edifici a energia quasi zero (nZEB, Near Zero Energy Building), che tendono a privilegiare soluzioni impiantistiche.

Il manuale è di tipologia tecnico-operativa e unisce fondamenti teorici, criteri progettuali, strumenti di analisi e esempi applicativi. Ai fini della presente tesi, il testo è assunto come riferimento sia per la sua rilevanza nel percorso formativo dell'architetto, sia per la sua attenzione al clima temperato europeo, che può essere collegata con il successivo utilizzo della città di Torino come caso studio, contribuendo a una valutazione aggiornata dell'approccio bioclimatico dei fratelli Olgyay.

Nell'individuare le diverse caratteristiche climatiche dei luoghi, Mario Grosso adotta sia un metodo di classificazione "zonale" (cioè basato sulle zone) sia un metodo "quantitativo". La classificazione zonale, già usata dai fratelli ungheresi, si basa su valori medi annuali della temperatura dell'aria e della radiazione solare e conduce all'individuazione di quattro tipologie fondamentali di clima: **(I)** freddo, **(II)** temperato, **(III)** caldo-umido e **(IV)** caldo-secco. Tuttavia, grosso sottolinea come tale impostazione:

"*...non rappresenta una base sufficiente per definire le interazioni tra clima e progettazione tecnologica per il raffrescamento passivo degli edifici*"[12]

Per gli edifici, infatti, sono necessari parametri climatici quantificati anche in termini temporali, uniti ad una classificazione più articolata.

A questo scopo, l'autore affianca alla classificazione zonale quella quantitativa proposta nel 1918 dal geografo e climatologo russo Wladimir Köppen[13], successivamente sviluppata in collaborazione con il climatologo tedesco Rudolf Geiger[14], basata sui valori della temperatura e della piovosità. In conclusione, Grosso considera, per il modello degli Olgyay, i climi caldo-secco, caldo-umido e temperato nei periodi caldi, mentre per la classificazione Köppen-Geiger individua i climi umidi della zona intertropicale, aridi, mesotermici umidi nei periodi caldi e microtermici boreali con estate calda.

Nel sottocapitolo dedicato all'analisi della radiazione solare, Mario Grosso riprende direttamente il metodo Olgyay in relazione al tema delle schermature solari e al calcolo del periodo di ombreggiatura, definendolo un approccio "*semplificato, ma efficace, alternativo al precedente*"[15]. Il "metodo precedente" a cui si fa riferimento è un metodo direttamente proposto dall'autore, che utilizza la temperatura dell'aria interna, calcolata in riferimento al bilancio energetico orario dell'edificio.

In particolare, il metodo Olgyay viene

12 Grosso M. (2017); pag. 36.

13 Wladimir Peter Köppen (1846 - 1940) è stato un geografo, climatologo e botanico tedesco, considerato uno dei fondatori della climatologia moderna. Nel 1884 pubblicò quella che ancora oggi viene chiamata "Classificazione dei climi di Köppen".

14 Rudolf Oskar Robert Williams Geiger (1894 - 1981) è stato un meteorologo e climatologo tedesco, considerato uno dei fondatori della microclimatologia. Dopo la morte di Köppen applicò delle modifiche alla classificazione dei clima omonima.

15 Grosso M. (2017); pag. 261.

descritto come basato unicamente sulla temperatura dell'aria esterna, della quale viene tracciato un profilo giornaliero nei mesi individuati come overheated period, distinguendo le condizioni di comfort da quelle di discomfort attraverso un intervallo compreso tra 21 °C e 26 °C.

Questa metodologia viene confrontata con un metodo più preciso, che considera, oltre alla temperatura dell'aria, anche **(I)** la radiazione solare, **(II)** le caratteristiche dell'involucro edilizio e **(III)** le modalità d'uso degli ambienti interni, evidenziando implicitamente come il modello di Olgyay non tenga conto della totalità dei fattori architettonici e tecnologici coinvolti.
Pur non richiamando esplicitamente alcune specificazioni presenti nel testo originale degli Olgyay - relative, ad esempio, alla validità dei limiti di comfort in funzione del contesto climatico, dell'abbigliamento, dell'attività fisica o dell'altitudine - l'autore ne sottolinea comunque la natura non universalmente applicabile. In particolare, viene messa in discussione l'idea che, dato un intervallo di temperatura, si possano associare in modo univoco specifiche strategie correttive (apporti solari al di sotto del limite inferiore, ventilazione e ombreggiamento al di sopra di quello superiore), evidenziando come tali soglie debbano essere interpretate in relazione agli apporti termici gratuiti, quali il calore corporeo o quello generato dalle apparecchiature. Per esempio, nel caso degli edifici per uffici, la stagione di riscaldamento risulta ridotta mentre quella di raffrescamento si estende, rendendo necessarie schermature solari anche in presenza di temperature esterne di 18°C.
All'interno della stessa trattazione, l'autore propone inoltre alcune illustrazioni tecniche tratte da Olgyay (Fig. 5.7 - 5.10), relative al calcolo del periodo di ombreggiatura, continuando a riferirsi a tale approccio come a un metodo semplificato.

Successivamente, il processo progettuale viene articolato in due fasi distinte: una fase preliminare, finalizzata all'individuazione della tipologia di schermatura e della definizione della sua geometria generale, e una fase di approfondimento, in cui vengono analizzate e ottimizzate le dimensioni e le proporzioni degli elementi che compongono il sistema di ombreggiamento.

In conclusione, il manuale di Grosso conferma la persistenza dell'approccio bioclimatico nel contesto contemporaneo, evidenziando al contempo la necessità di un suo aggiornamento metodologico. Il testo, come indicato anche nel titolo, si rivolge in particolare ai climi temperati mediterranei e, più in generale, alle aree continentali interne fino a latitudini di circa 50°, caratterizzate da condizioni estive frequentemente superiori ai limiti della zona di comfort, fornendo quindi un riferimento coerente per l'analisi di contesti climatici analoghi.

All'interno di questo quadro, vengono riconosciuti i contributi dei fratelli Olgyay, in particolare per quanto riguarda l'impostazione del rapporto tra clima e progetto e l'uso di strumenti di lettura semplificati; al contempo, ne vengono evidenziati i limiti, legati alla ridotta considerazione dei parametri temporali, delle variabili architettoniche e delle condizioni d'uso degli edifici. L'integrazione di classificazioni climatiche più articolate e di metodi di analisi più dettagliati consente infatti di superare alcune semplificazioni del modello originario, senza metterne in discussione i principi fondanti.

In questo senso, il contributo di Grosso si configura come un passaggio intermedio tra l'elaborazione teorica degli Olgyay e le esigenze della progettazione contemporanea, offrendo strumenti utili per una lettura più consapevole e contestualizzata del rapporto tra clima, comfort e progetto architettonico.

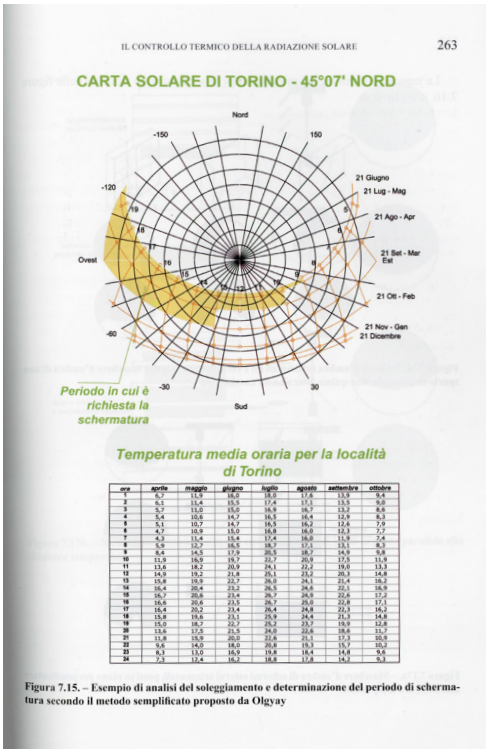


Fig. 5.7; *Diagramma del percorso solare e temperature medie orarie della città di Torino.*

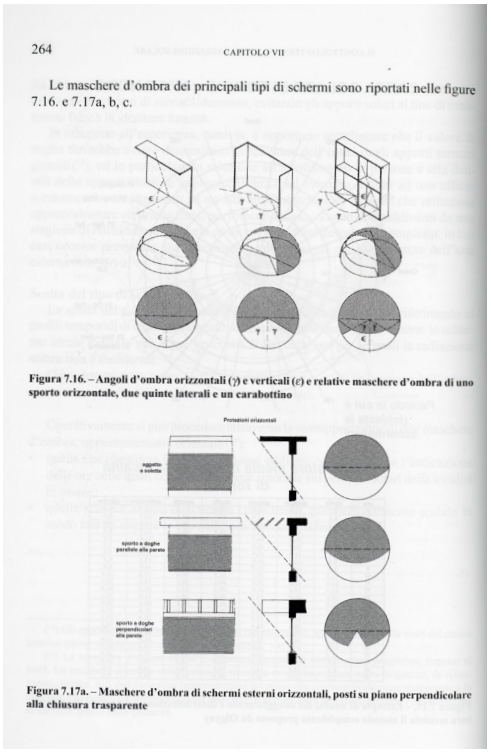


Fig. 5.8; *Diagrammi dei frangisole e maschere d'ombra di alcuni esempi.*

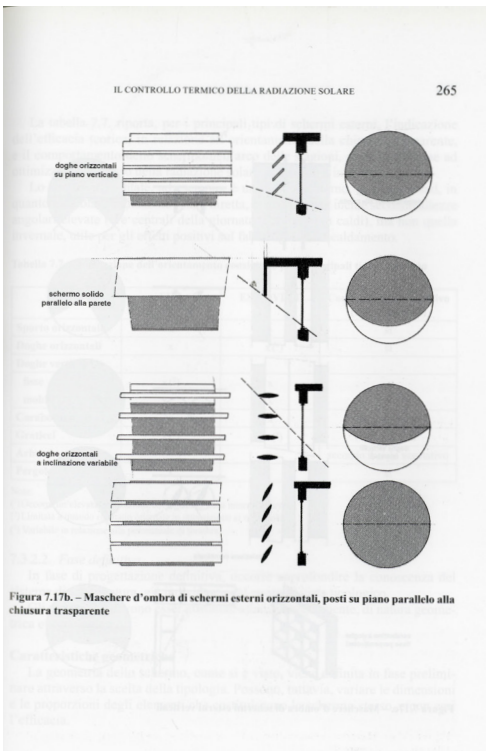


Fig. 5.9; *Maschere d'ombra di alcuni esempi di frangisole (1).*

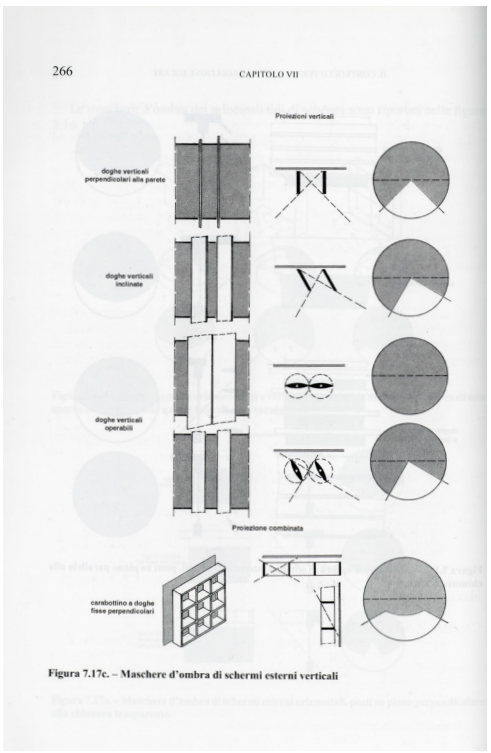


Fig. 5.10; *Maschere d'ombra di alcuni esempi di frangisole (2).*

Immagini prese da Grosso M. (2017); pag. 263-266.

5.2.4 Rogora A.: *Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea*; 2012

Il manuale affronta il tema del consumo energetico degli edifici, evidenziando come il settore edilizio rappresenti oltre il 30% dei consumi elettrici nazionali e come tale valore sia in costante crescita. In questo contesto, l'autore afferma che non possa esistere un'architettura che non consideri il controllo del clima come elemento fondante delle scelte progettuali, anche in condizioni di piena disponibilità energetica ed economica, sottolineando la necessità di un cambiamento culturale. In particolare, viene proposta una concezione degli spazi abitati non più basata su condizioni termiche uniformi e costanti, ma su temperature variabili in funzione delle attività svolte, al fine di ottenere significativi risparmi energetici: tale riflessione si collega all'aumento della domanda di comfort termico, acustico e luminoso, soprattutto nell'edilizia residenziale, con riferimento a categorie di utenti che non possono adattare facilmente le proprie condizioni abitative, come anziani, malati o famiglie a basso reddito.

In questo quadro, l'autore richiama, seppur indirettamente, alcuni principi riconducibili all'impostazione dei fratelli Olgyay, in particolare il ruolo del committente nella definizione chiara delle esigenze e quello del progettista nella loro traduzione in soluzioni appropriate. Viene inoltre sottolineata l'importanza della collaborazione tra ambiti disciplinari diversi - tecnologia, climatologia e progettazione architettonica - come elemento centrale del processo progettuale. Il riferimento agli Olgyay è esplicito anche in relazione al grafico bioclimatico, affiancato a quello di Baruch Givoni: l'autore suggerisce l'utilizzo congiunto di entrambi e sottolinea come l'inserimento dei dati climatici non debba limitarsi ai valori medi mensili, ma includere anche condizioni rappresentative specifiche (giornate invernali coperte, giornate estive calde e giornate intermedie), al fine di descrivere in modo più completo il clima di una regione. Inoltre, il grafico bioclimatico viene considerato "completato" attraverso l'integrazione di parametri quali vestiario, temperatura media radiante e attività metabolica, che consentono di modulare i limiti della zona di comfort.

Nel confronto tra i due diagrammi, quello di Olgyay, pur descrivendo in modo dettagliato l'influenza di umidità e velocità dell'aria sul comfort, risulta più sintetico nella traduzione di tali condizioni in strategie progettuali, aspetto sviluppato in modo più articolato nel diagramma di Givoni. Analogamente, nel capitolo dedicato alla forma dell'edificio, viene richiamato il contributo degli Olgyay nella definizione dei rapporti dimensionali ottimali in funzione delle diverse zone climatiche, basati su una semplificazione della pianta in forma rettangolare e sul rapporto tra asse nord-sud ed est-ovest in relazione ai guadagni e alle perdite termiche stagionali.

Per quanto riguarda le schermature solari, l'autore riconosce come gli studi degli Olgyay costituiscano ancora oggi un riferimento per il calcolo delle prestazioni dei dispositivi, introducendo il concetto di coefficiente di ombreggiamento a partire dal confronto con la radiazione trasmessa da un vetro singolo. Tuttavia, tale riferimento è attribuito anche alla carenza di studi più approfonditi sul tema, poiché il metodo non consente di valutare l'effetto delle schermature sull'illuminazione naturale né sulla qualità della visione verso l'esterno, inclusi gli effetti di riduzione e distorsione. Inoltre, la classificazione proposta non tiene conto della variazione temporale delle prestazioni, rendendo impossibile distinguere il comportamento stagionale dei dispositivi o valutarne l'efficacia in relazione a fattori

quali latitudine, orientamento e distribuzione della radiazione solare nelle sue componenti diretta, diffusa e riflessa.

In conclusione, l'autore riconosce la validità dell'approccio degli Olgyay come base metodologica per l'integrazione tra clima e progetto, pur evidenziandone i limiti, in particolare nella definizione della forma edilizia e nella capacità di adattare in modo dinamico le schermature solari alle diverse condizioni climatiche e stagionali.

5.3 Articoli scientifici

5.3.1 A.A.M. Sayigh, S. Alajlan; *Bioclimatic Approach to Building Design*; 1995

Questo paper si pone di analizzare diversi approcci bioclimatici alla progettazione architettonica, utilizzando la capitale araba Riyad come caso studio. L'obiettivo è combinare i punti di forza di questi approcci per individuare le strategie progettuali più adatte alla regione considerata. È stato scelto ai fini di questa tesi perché rappresenta un tentativo di applicare i metodi storici qui esposti ad una regione geografica discostata dal clima temperato a cui erano abituati gli Olgyay.

Vengono analizzati quattro approcci storici diversi: **(I)** Olgyay, **(II)** Givoni, **(III)** Mahoney e **(IV)** Szokolay. Di ciascuno sono descritti il funzionamento e le limitazioni.

Riguardo al grafico bioclimatico di Olgyay, gli autori ne affermano l'importanza storica, ma sottolineano come il grafico consideri solo le condizioni climatiche esterne all'edificio. Inoltre il grafico può essere applicato con efficacia soltanto a zone dal clima caldo-umido, in cui non c'è molta escursione termica tra l'interno e l'esterno dell'edificio ed è richiesta ventilazione naturale durante il giorno.
Al contrario, le zone dal clima caldo-arido riportano un'escursione termica giornaliera rilevante e bassa umidità relativa. Inserendo questi dati nel grafico si nota che il comfort non può essere ottenuto a meno di ricorrere a raffrescamento evaporativo e a vento molto forte (Fig. 5.11).

L'area nera rappresenta l'insieme delle condizioni al di fuori della zona di comfort, che rappresentano la maggioranza delle combinazioni temperatura-umidità.
Le condizioni più calde ricadono in un'area al di sopra del range della velocità del vento, ma corrispondente al range dell'umidità: questo significa che nei mesi più caldi il vento non è sufficiente ed è necessario ricorrere a raffrescamento eva-

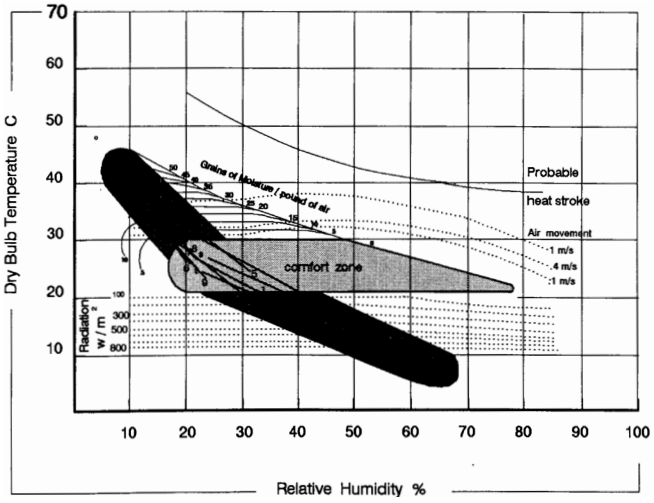


Fig. 5.11; *Applicazione del grafico bioclimatico di Olgyay alla città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 6.

CLIMATIC ELEMENT	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
AIR TEMPERATURE - °C												
maximum	20.2	24.1	27.7	33.3	38.4	41.6	42.6	42.3	39.8	34.3	27.8	21.8
minimum	8.8	10.1	14.9	20	24.5	26.4	27.5	27	24.1	19.2	14.3	10
mean	14.5	17.1	21.3	26.65	32.4	34.55	35.05	34.65	31.95	26.75	21.05	15.9
range	11.4	14	12.8	13.4	13.9	15.2	15.1	15.4	15.7	15.1	13.5	11.9
RELATIVE HUMIDITY - %												
a.m.	65.7	54.3	51.2	40.2	30.8	20.2	20	20.7	23.8	32.7	47.9	61.8
p.m.	32	23.8	24	17.3	13	8.5	8.7	9.3	9.8	14	22.7	31.5

Fig. 5.12; *Tabella della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa medie mensili della città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 8.

porativo. Per esempio, per le condizioni di temperatura massima, 42,6 °C a luglio (Fig. 5.12), sono necessari tra i 45 e i 50 grani di vapore per libbra di aria secca, che corrispondono a un range di circa 6,4 - 7,2 grammi di vapore per kilogrammo di aria secca.
Nel mese di gennaio, invece, si registra una temperatura minima di 8,8 °C, per i quali sono necessari più di 800 W/m^2 di radiazione solare. Tuttavia questa quantità di radiazione non è disponibile nei mesi invernali.

Gli autori procedono quindi a descrivere le limitazioni del grafico psicrometrico di Givoni, riprendendo il lavoro svolto da Watson nel 1981. Viene riportato che Givoni è più facilmente applicabile a edifici residenziali a massa termica bassa e resistenza termica medio-alta, con involucro bianco. Il limite superiore della zona di efficacia della ventilazione è calcolato assumendo che la temperatura media radiante e la pressione di vapore interne siano identiche a quelle esterne. In più, Givoni assume che la pressione di vapore interna all'edificio sia sempre più alta di 2 mm Hg rispetto a quella esterna.
Oltre i fattori architettonici, viene anche riportato che esistono fattori esterni che possono rendere la ventilazione naturale meno desiderabile, come l'inquinamento e la polvere; mentre la prossimità di specchi d'acqua influenza la temperatura e l'umidità.

Successivamente, il grafico di Givoni viene applicato a Riyad, prendendo in considerazione il mese più caldo (luglio) e più freddo (gennaio) (Fig. 5.13).

Durante i mesi più caldi (area nera), si può ottenere comfort ricorrendo a raffrescamento evaporativo, alta massa termica e ventilazione notturna. Durante i mesi più freddi (area grigio chiaro) è necessario riscaldamento passivo. Nel caso di Riyad, questi requisiti possono essere raggiunti con l'ausilio di un'alta massa termica uni-

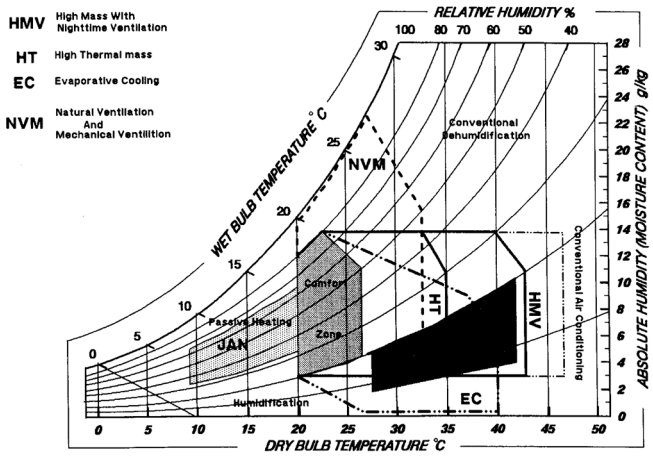


Fig. 5.13; *Applicazione del grafico psicrometrico di Givoni alla città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 12.

ta ad aperture piccole. In questo modo il calore impiega molto più tempo a penetrare all'interno e di notte (quando fa più freddo) viene trattenuto più a lungo.

Gli autori illustrano ora il metodo delle Tabelle di Mahoney (*Mahoney's Tables*), sviluppato dall'architetto Carl Mahoney negli anni '60. Consiste in una serie di tabelle dove le condizioni di comfort vengono classificate a seconda dell'intensità dei parametri ambientali.
A questo scopo, temperatura, umidità, precipitazioni e vento sono classificati come sopra al limite di comfort (H), nel limite di comfort (nessun segno) e sotto il limite di comfort (C).
In più, vengono classificati in quattro gruppi a seconda dell'intensità. Ad esempio l'umidità è descritta così: **(1)** sotto il 30%, **(2)** dal 30% al 50%, **(3)** dal 50% al 70% e **(4)** sopra al 70%.

Gli indicatori di comfort sono basati sui parametri ambientali e sono:

Indicatori di umidità

H1: indica che la ventilazione naturale è essenziale. Avviene in condizioni di alta temperatura combinata con alta umidità.

H2: indica che la ventilazione naturale è desiderabile. Avviene quando la temperatura è nei limiti del comfort ma l'umidità è alta.

H3: Indica che è necessario prendere precauzioni contro la pioggia, specialmente sopra i 200 mm di precipitazioni mensili.

Indicatori di aridità

A1: È necessaria massa termica. Avviene in casi di forte escursione termica giornaliera (sopra i 10 °C) uniti a umidità medio-bassa.

A2: È desiderabile uno spazio esterno per dormire. Avviene quando la temperatura notturna è alta e l'umidità è bassa.

A3: La temperatura durante i mesi invernali è sotto il limite di comfort.

Le tabelle sono quindi seguite da raccomandazioni circa la forma e la configurazione dell'edificio. In questa fase vengono inoltre fornite indicazioni riguardanti la dimensione e la protezione delle aperture, l'organizzazione della pianta, l'orientamento dell'edificio, la tipologia delle superfici vetrate, il controllo dell'illuminazione naturale e le caratteristiche di pareti e pavimenti.

Un limite delle tabelle di Mahoney risiede nel fatto che i limiti di comfort riportati possano variare in funzione delle caratteristiche dell'abitante quali, età e differenze culturali. Viene inoltre detto dagli autori che non viene considerata la presenza di polveri o agenti inquinanti, che può influenzare la desiderabilità di alcuni accorgimenti architettonici.
Gli autori concludono che, nonostante questi limiti siano presenti anche nei metodi precedenti, le tabelle di Mahoney risultano più precise e articolate rispetto al livello di approfondimento dedicato ai diversi elementi architettonici.

Gli autori passano poi a lavorare sull'applicazione delle tabelle di Mahoney alla città di Riyad. L'analisi dei dati climatici riporta come Riyad sia caratterizzata da un clima caldo-arido e un'escursione termica mensile superiore agli 11,4 °C.

In particolare, l'indicatore A1 (necessità di massa termica) è attivo per tutto l'anno, l'indicatore A2 (necessità di spazi all'aperto per dormire) copre i mesi che vanno da maggio a settembre inclusi e l'indicatore A3 (problematiche legate alla stagione fredda) copre gennaio, febbraio, aprile e dicembre (Fig. 5.14).

TABLE 4. Indicators

Indicators												Totals
Humid: H1												0
H2												0
H3												0
Arid: A1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	12
A2					✓	✓	✓	✓	✓	✓		6
A3	✓	✓		✓							✓	4

Fig. 5.14 *Applicazione della tabella di Mahoney degli indicatori di umidità e aridità alla città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 17.

Sulla base di questi indicatori, gli autori individuano le seguenti raccomandazione architettoniche (Fig. 5.15):

- Orientamento dell'edificio lungo l'asse est-ovest per ridurre l'esposizione diretta alla radiazione solare, unito ad un assetto a corte compatta per proteggere il nucleo abitativo dai venti caldi.

- Adozione di pareti esterne, interne e solai di tipo pesante, in modo da garantire un ritardo termico di almeno 8 ore.

- Aperture di piccole dimensioni, tra il 10 e il 20% della superficie delle pareti. Le aperture devono essere posizionate sulle pareti nord e sud, all'altezza del corpo. Inoltre sono previste aperture nelle pareti interne per agevolare la ventilazione.

- Essenziale intercettare la luce del sole con sistemi di protezione appropriati.

- Presenza di stanze a doppia esposizione, dal momento che la ventilazione non è un requisito costante. Inoltre, la presenza di spazi all'aperto per dormire, seppur consigliata, non è considerata accettabile nel contesto presente.

In conclusione, l'utilizzo delle tabelle di Mahoney conferma che per Riyad la strategia dominante dovrebbe essere il ricorso ad un'elevata massa termica, in congiunzione con un'adeguata ventilazione notturna, sistemi di controllo solare e raffrescamento evaporativo.

Element	Recommendations
Layout	1- Building oriented on east-west axis to reduce exposure to sun. 2-Compact courtyard planning.
Spacing	Compact planning.
Air movement	Double-blanked rooms with temporary provision for air movement or no air movement required.
Openings:	
Size:	Very small openings, 10% - 20% of wall surface area.
Position:	In north and south walls at body height on windward side, but including openings in internal walls (towards the courtyard).
Protection:	No indication in the tables.
Walls and floors	Heavy external and internal walls, over 8 hours time -lag.
Roofs	Heavy roofs ; over 8 hours time lag.
Outdoor sleeping	Space for outdoor sleeping required.

Fig. 5.15*; Raccomandazioni architettoniche per la progettazione di un edificio nella città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 15.

L'ultimo approccio riportato è quello delle Zone di Potenziale delle misure di Controllo (*Control Potential Zones*), sviluppato dall'architetto Steven Szokolay[16] nel 1986. Questo metodo è una sintesi delle teorie sul comfort illustrate in precedenza. Questo metodo non utilizza una zona di comfort statica, ma tre diverse zone di comfort.
Queste zone, classificate come **(I)** "*lowest*" (minima), **(II)** "*average*" (media) e **(III)** "*highest*" (massima), rappresentano lo slittamento della soglia di benessere sul diagramma psicrometrico in base alla temperatura media esterna (Fig. 5.16).

La posizione delle zone è determinata dall'equazione di regressione di Auliciems:

$$Tn = 17,6 + (0,31 * Tum)$$

La temperatura di neutralità **Tn** - ovvero il valore centrale della zona di comfort - varia proporzionalmente alla temperatura media esterna **Tum**, riflettendo la capacità di adattamento fisiologico e psicologico dell'abitante al clima locale.
Le zone sono definite da criteri fisici:

- Ciascuna zona si estende per 2 gradi Kelvin rispetto al valore di Tn calcolato in corrispondenza del valore di umidità relativa pari a 50%.

- I confini orizzontali sono stabiliti tra 4 e 12 g/Kg di contenuto di umidità, in conformità con lo standard ASHRAE 55-81.

- Le zone non devono mai superare la curva del 90% di umidità relativa.
- Il valore di Tn deve oscillare tra i 18,5 e i 28,5 °C.

Le linee tratteggiate all'interno di ciascuna zona di comfort sono tracciate in corrispondenza del valore di Tn in corrispondenza della curva del 50% di umidità relativa.

16 Vale Steve Szokolay (1927 - 2024) è stato un architetto, docente e scienziato ungherese, naturalizzato australiano. È considerato come uno dei pionieri del design climatico e sostenibile, con particolare attenzione all'energia solare, alla prestazione ambientale degli edifici e alla progettazione di ambienti confortevoli con un ridotto ricorso a sistemi ad alto consumo energetico. Nel 1986 sviluppò le *Control Potential Zones*, un metodo di analisi bioclimatica che identifica, su un diagramma psicrometrico, degli intervalli di condizioni atmosferiche entro le quali specifiche strategie passive sono efficaci nel garantire comfort termico.

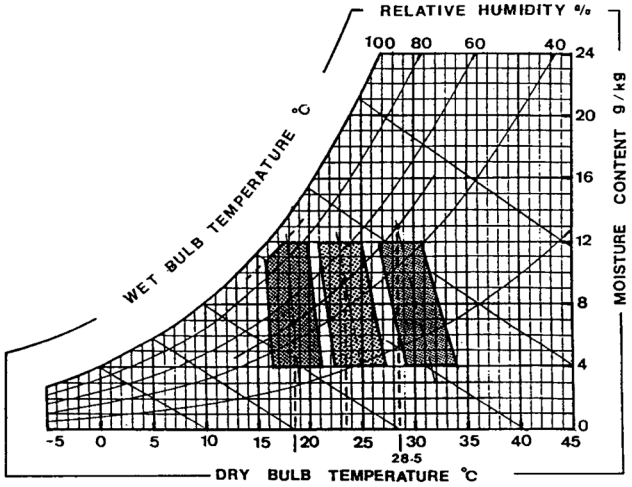


Fig. 5.16*; Grafico Psicrometrico con le tre zone di comfort di Szokolay*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 25.

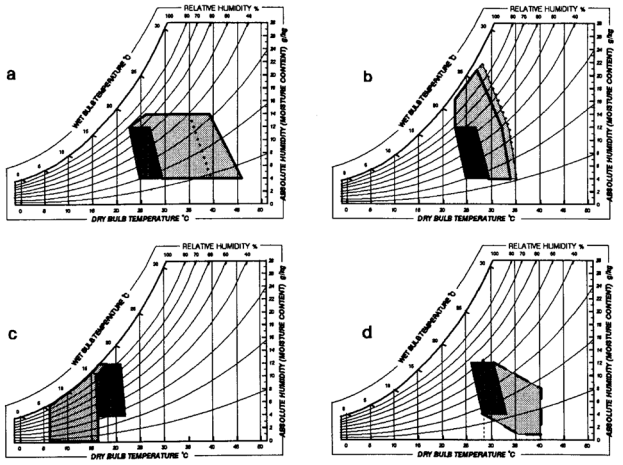


Fig. 5.17*; Control Potential Zones della città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 24.

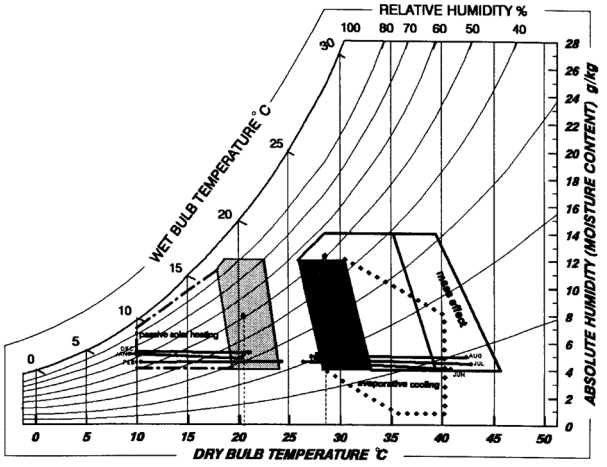


Fig. 5.18*; Grafico Psicrometrico con le strategie passive applicabili ad un edificio nella città di Riyad*; immagine presa da Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995); pag. 27.

Una volta stabilita la zona di comfort precisa per il luogo e il periodo (invernale / estivo), il metodo raffigura sul diagramma le Control Potenzial Zones, ovvero le aree di efficacia delle strategie passive come la massa termica, la ventilazione naturale, il riscaldamento solare passivo e il raffrescamento evaporativo (Fig. 5.17).

Per il contesto caldo-arido di Riyad, le zone di comfort subiscono spostamenti significativi: la zona estiva (highest) si attesta su una temperatura di neutralità pari a 28,5 °C, mentre la zona invernale (lowest) scende verso una temperatura di 20,5 °C.

Il metodo consiglia di conseguenza di adottare quattro strategie principali (Fig. 5.18):

1. **Massa termica** (Thermal Mass Effect), raggiungibile utilizzando materiali pesanti per l'involucro esterno e fondamentale per proteggere dall'escursione termica tra giorno e notte.
2. **Ventilazione notturna**, importante per rinfrescare la struttura in vista del ciclo termico successivo.
3. **Raffrescamento evaporativo** poiché l'umidità relativa di Riyad è molto bassa (arriva al 10% nei mesi caldi). L'aggiunta di vapore nell'aria permette di abbassare la temperatura percepita.
4. **Riscaldamento solare passivo**, adoperabile durante i quattro mesi più freddi. Questo permette di fornire calore alla struttura.

In conclusione, l'analisi dei metodi progettuali di Olgyay, Givoni, Mahoney e Szokolay applicata al clima di Riyad rivela come la progettazione in climi estremi necessiti di un approccio che combini i punti di forza dei vari metodi. Il solo grafico di Olgyay non fornisce una lettura completa del clima, mentre l'evoluzione verso i grafici di Givoni e Szokolay permette di definire delle zone di efficacia, che consentono di valutare l'utilità delle

strategie progettuali passive. Tali strategie sono inoltre sintetizzate nelle tabelle di Mahoney, che fornisce linee guida sulla disposizione dell'edificio.
L'integrazione sinergica di questi approcci consente quindi di convertire i dati climatici in linee guida operative, che permettono di garantire il comfort termico dell'abitante.

5.3.2 Sayad B. et al.; *Designing for optimum thermal comfort using bioclimate simulation and analysis as an urban and architectural design and educational support tool*; 2022

Questo paper offre una ricerca approfondita sul rapporto tra clima e comfort termico, usando come caso studio la città di Guelma, in Algeria. Al fine di fornire delle raccomandazioni più dettagliate, vengono utilizzati due strumenti diversi di rappresentazione dei dati climatici.

Prima di svolgere l'analisi, gli autori si soffermano brevemente sull'evoluzione della progettazione bioclimatica. viene riportato che Olgyay è stato uno dei primi, nel suo *Design with Climate* (1963), a fornire degli strumenti per mettere in relazione i dati climatici con la progettazione architettonica. Il metodo presentava tuttavia delle limitazioni, in quanto poteva essere applicato soltanto a zone dal clima caldo-umido. Questo approccio venne in seguito ampliato dall'architetto Carl Mahoney, che sviluppò una successione di tabelle finalizzate a elaborare i dati climatici grezzi e a trasformarli in soluzioni tecnologiche e architettoniche.
L'architetto Baruch Givoni, nel testo *Man, Climate and Architecture* (1969), ha poi reinterpretato le tabelle di Mahoney, adottando un grafico bidimensionale per l'interpretazione dei dati climatici.
Il contributo degli autori di questo paper si distingue dagli studi citati, perché questi ultimi si sono focalizzati di più nell'analisi bioclimatica degli ambienti interni, con l'obiettivo di risparmiare energie nell'edificio singolo. Questo studio, invece, si pone di descrivere il comfort termico come un parametro.

Raccogliendo i dati climatici di Guelma durante il periodo 2008-2017, emergono i seguenti risultati:

- Il range delle temperature massime mensili va da 14,2 °C (a gennaio) a 35,1 °C (a luglio), mentre il range delle temperature minime va da 4,8 °C (a febbraio) a 19,6 °C (ad agosto)(Fig. 5.19).

- Il periodo più piovoso comprende i mesi da ottobre a marzo, con una media di 50 mm di pioggia. Il periodo meno piovoso è il periodo estivo, tra giugno e agosto, con un massimo di

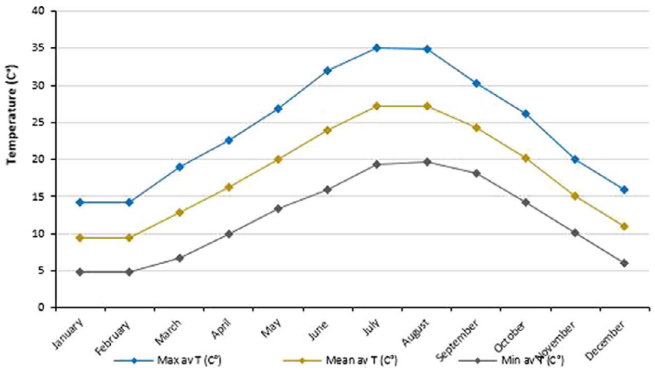


Fig. 5.19; *Range delle temperature mensili della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1472.

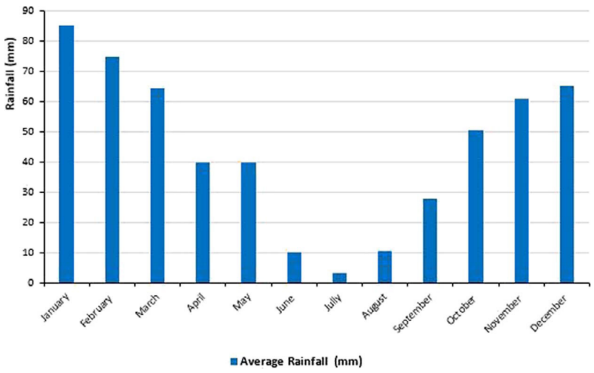


Fig. 5.20; *Media delle precipitazioni mensili della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1472.

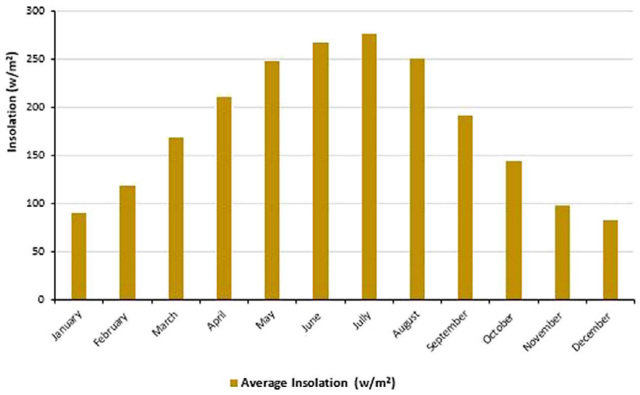


Fig. 5.21; *Media delle radiazioni solari mensili della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1472.

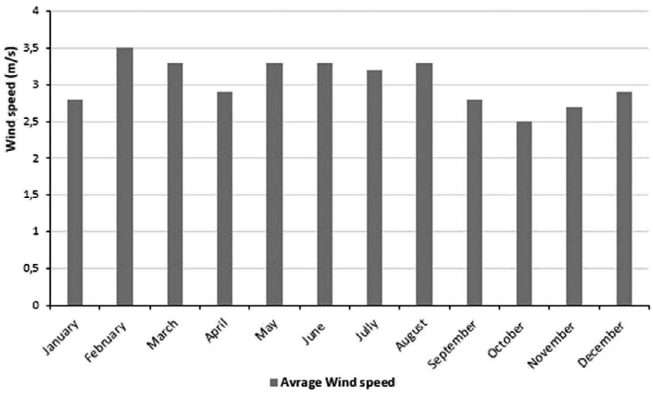


Fig. 5.22; *Media delle velocità del vento mensili della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1473.

10 mm di pioggia e un minimo di 3 mm di pioggia (Fig. 5.20).

- Il valore massimo di radiazione solare si registra a luglio ed è pari a 277 W/m^2, mentre il minimo si registra a dicembre e vale 82 W/m^2 (Fig. 5.21).

- La media mensile della velocità del vento si aggira tra i 2,5 e i 3,5 m/s (Fig. 5.22).

I dati raccolti ci permettono di dividere il clima di Guelma in due stagioni principali, **(I)** una stagione calda, caratterizzata da temperature alte, forte radiazione solare e scarse precipitazioni; e **(II)** una stagione fredda e piovosa, con temperature medio-basse.
Per ottenere comfort nella prima stagione è necessario raffrescamento dell'aria, mentre nella seconda serve riscaldamento.

Gli autori distinguono ora quattro strumenti usati per fornire un'analisi precisa del clima di Guelma:

1. **Fascia Climatica** (*Climate Floor*)
   Il clima di Guelma viene classificato con l'ausilio di un parametro chiamato Quoziente delle Precipitazioni (*Rainfall Quotient*):

$$Q = 3,43 * \left(\frac{P}{M - m} \right)$$

Dove:

Q: quoziente di precipitazione.

P: precipitazione annuale (mm).

M: media delle temperature massime mensili (°C).

m: media delle temperature minime mensili (°C).

Applicando questa formula al periodo 2008-2017, si ottiene un quoziente pari a 61,5 (Fig. 5.23), che posiziona Guelma nella fascia climatica semi-arida, con inverni freddi.

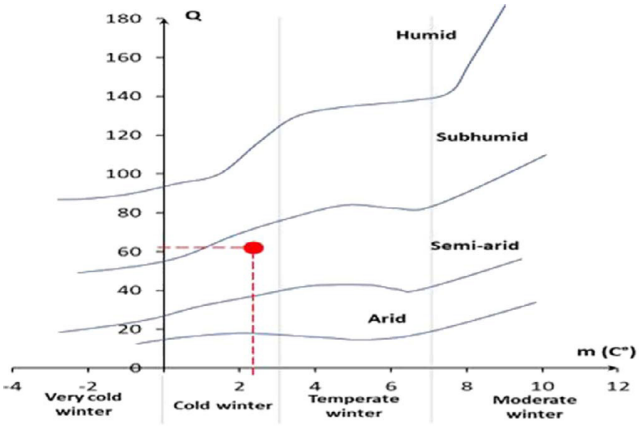


Fig. 5.23; *Calcolo del quoziente di precipitazione della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1474.

2. **Giorni Secchi** (*Hard Days*)
Con questo metodo, vengono evidenziati quei giorni dell'anno caratterizzati da scarse precipitazioni e temperature elevate, quindi con maggiore stress climatico legato alla secchezza.

   Dal grafico (Fig. 5.24) emerge un' alternanza tra due periodi principali: **(I)** un periodo umido che va da novembre a marzo, e **(II)** un periodo secco che va da aprile a ottobre.



Fig. 5.24; *Correlazione tra andamento delle precipitazioni e della temperatura nella città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1474.

3. **Periodi Climatici** (*Climate Periods*)
In questo caso viene applicato il diagramma psicrometrico di Szokolay, che permette di dividere il clima di Guelma in 6 periodi (Fig. 5.25): **(I)** Molto Freddo (*Very Cold*), **(II)** Freddo (*Cold*), **(III)** Neutro (*Neutral*), **(IV)** Confortevole (*Comfortable*), **(V)** Caldo (*Hot*), **(VI)** Molto Caldo (*Very Hot*).

   In linea con i diagrammi psicrometrici di Givoni e Szokolay, ad ogni periodo sono associate delle raccomandazioni per ottenere comfort termico. Nei periodi freddi è raccomandato il riscaldamento solare passivo e nei periodi caldi sono raccomandate massa termica e ventilazione.

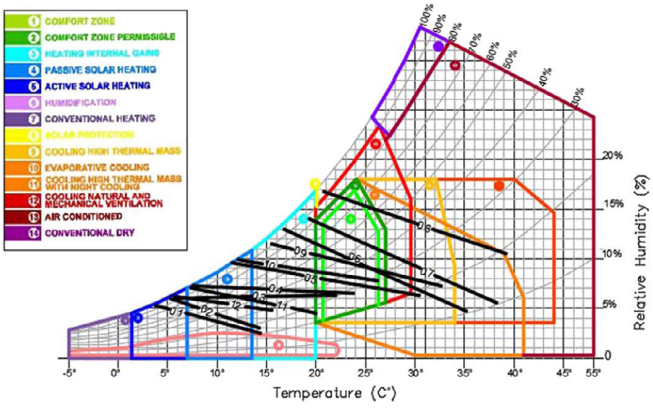


Fig. 5.25; *Grafico Psicrometrico della città di Guelma, diviso in periodi climatici*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1475

4. **Zone Termiche** (*Thermal Zones*)
In questo metodo, le condizioni climatiche sono rappresentate su un diagramma annuale, tramite delle curve, dette isoterme, che rappresentano il luogo dei punti in cui la temperatura è la stessa (Fig. 5.26). Il diagramma è molto simile a quello adoperato da Olgyay all'interno di *Design with Climate* (illustrato nel capitolo 4.3 della seguente tesi), in quanto permette di visualizzare la media dei valori di ciascun giorno del mese.

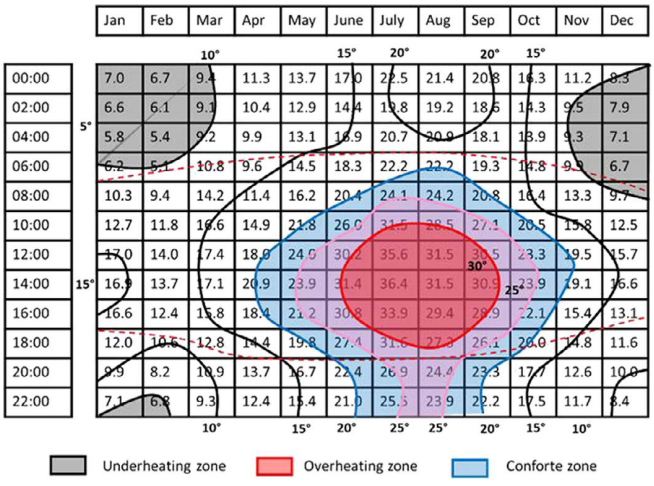


Fig. 5.26; *Diagramma delle zone climatiche della città di Guelma*; immagine presa da Sayad, B., et al. (2022); pag. 1475.

Le linee nere delimitano le zone climatiche. Non solo indicano il valore della temperatura, ma mostrano quando e per quanto tempo le temperature entrano ed escono dalle condizioni di comfort.

La zona di comfort, indicata in azzurro, indica quelle condizioni di temperatura considerate accettabili, mentre le zone rosse e grigie indicano, rispettivamente, condizioni di surriscaldamento e di sottoriscaldamento.

Osservando il grafico, si nota che la zona di comfort si concentra soprattutto nei mesi di maggio, giugno, settembre e ottobre, mentre il periodo di surriscaldamento si trova nei mesi tra giugno e settembre, nelle ore centrali del giorno. I periodi di sottoriscaldamento si collocano nei mesi da novembre a marzo, nelle ore mattutine e notturne.

I metodi di rappresentazioni mostrati in questa ricerca offrono una descrizione di Guelma come di una città caratterizzata da due stagioni climatiche principali, una stagione fredda (che va da novembre a marzo) e una calda (che va da maggio a fine ottobre).

Durante la stagione fredda, l'unica raccomandazione è il riscaldamento passivo sia all'interno che all'esterno. Il metodo principale per ottenere riscaldamento passivo, e quindi risparmiare energia, è massimizzare il ricevimento della radiazione solare. Le principali strategie comprendono **(I)** l'orientamento dell'edificio a sud, **(II)** l'eliminazione dei ponti termici e l'assenza di ombreggiamento e l'impiego di serramenti ad alte prestazioni.

Durante la stagione calda è raccomandabile intercettare la radiazione solare e fornire raffrescamento naturale. Per gli ambienti interni, si consiglia **(I)** il ricorso alla massa termica, in modo da ritardare il passaggio del calore e attenuare i picchi di temperatura, **(II)** l'uso di vetri doppi in facciata e **(III)** l'uso di materiali a basso assorbimento di calore per pareti esterne e coperture.
Per gli ambienti esterni, invece, l'obiettivo principale è limitare l'esposizione alla radiazione solare e abbassare la temperatura dell'aria nelle aree urbane. Le raccomandazioni comprendono **(I)** l'aumento della vegetazione urbana, **(II)** il regolamento della geometria dello spazio urbano, **(III)** l'uso di superfici riflettenti e **(IV)** l'uso di specchi d'acqua e superfici umide.

In conclusione, sono state trovate delle strategie progettuali sia per la stagione fredda, sia per la stagione calda della città di Guelma, che possono essere riassunte, rispettivamente, nel ricorso alla radiazione solare e al raffrescamento naturale.
Tuttavia, gli autori sottolineano come l'efficacia di queste strategie nel contesto più ampio dei climi semi-aridi dovrebbe essere studiate più a fondo, prima di essere confermata.

Questo contributo evidenzia come il metodo Olgyay continui, ancora oggi, a rappresentare una base per la progettazione bioclimatica, pur riconoscendone i limiti. Infatti, per l'analisi del caso studio sono stati utilizzati diversi strumenti, come il Quoziente di Precipitazione e la distinzione delle Zone Termiche. Questi strumenti ampliano sensibilmente la precisione del metodo originario, consentendo di ottenere una lettura climatica più completa e più legata alle caratteristiche microclimatiche del luogo.

5.3.3 Herb S.; *Beyond the Bioclimatic Chart*; 2024

Questo paper spiega come i progressi compiuti nel campo delle costruzioni abbiano influenzato il modo di costruire e il modo di gestire il comfort termico negli edifici. Le tecnologie odierne, da una parte, hanno consentito di ottenere condizioni di comfort in climi estremi come nel deserto o nell'artico, ma allo stesso tempo hanno permesso di uniformare lo stile architettonico in maniera indipendente dal clima e dalla latitudine. Di conseguenza, questo ha portato ad un aumento dei consumi energetici e delle emissioni di gas serra.
A questo, l'autore contrappone il metodo progettuale "sensibile al clima" (climate-responsive design), che utilizza il clima locale per controllare gli apporti solari e la ventilazione.

Secondo l'autore ci sono due modi di approcciarsi a questo metodo: **(I)** il grafico bioclimatico (bioclimatic chart) e **(II)** la modellazione energetica dell'edificio (Building Energy Modeling, o BEM). Il primo, pur essendo presente nei libri di fisica tecnica, fornisce solo delle informazioni su come gli elementi climatici influenzano il comfort. Il secondo, invece, consente di analizzare con precisione il funzionamento dell'edificio e di valutare come le diverse strategie passive possano essere integrate tra loro per ottenere le migliori condizioni di comfort e di risparmio energetico. Tuttavia, come approccio risulta essere più complicato da usare rispetto al primo.

Il paper si pone di valutare l'efficacia dell'approccio basato sul grafico bioclimatico, confrontandolo con l'approccio BEM. A questo scopo viene introdotto un software, ECOmpass, che semplifica il processo per chi non è familiare con l'approccio BEM.
Il software permette infatti di automatizzare l'analisi svolta nelle fasi iniziali di progetto, e si articola in tre fasi principali:

1. **Impostazione.**
   Al software sono forniti i dati meteorologici e la destinazione d'uso dell'edificio (le due opzioni date sono residenziale e ufficio). Successivamente l'edificio viene approssimato ad una "scatola" a cui vengono applicate tutte le possibili combinazioni di orientamento, rapporto parete-finestra e strategie passive (ventilazione diurna, schermature solari, ventilazione notturna e massa termica), per un totale di 112 casi.

2. **Valutazione della necessità di aria condizionata.**
   A questo punto ECOmpass calcola il comfort termico sia per condizioni di aria ferma (v = 0,1 m/s) e uso di ventilatori (v = 0,8 m/s), esprimendolo in Predicted Mean Value (PMV). La necessità di condizionamento dell'aria viene indicata sulla base delle Kelvin ore (Kh) di surriscaldamento, un parametro che esprime l'intensità del calore accumulato nel tempo rispetto ad una soglia di comfort definita. Se in un anno si accumulano massimo 20 (residenziale) o 10 (uffici) ore di surriscaldamento, è possibile progettare un ambiente che non prevede l'uso di aria condizionata, mentre sopra le 1200 (residenziale, considerando tutte le ore) o 500 ore (uffici, considerando solo le ore di occupazione) è necessaria aria condizionata.

3. **Utilità di una soluzione.**
   Infine, il software individua la soluzione che riesce meglio a combinare un alto rapporto parete-finestra con la necessità di non consumare troppo in riscaldamento e con la semplicità progettuale. In pratica, vengono considerati insieme il periodo sovra e sotto-riscaldato.

L'utilizzo del software ha permesso di ottenere soluzioni più precise dal punto di vista architettonico rispetto a quelle che si sarebbero potute ottenere utilizzando il grafico bioclimatico. In particolare:

1. ECOmpass considera gli impatti della massa termica e degli apporti interni, che i metodi precedenti non consideravano.

2. Invece di suggerimenti generali, fornisce indicazioni circa la dimensione massima delle finestre e sui materiali da considerare per la facciata.

3. Se più strategie portano allo stesso rapporto parete-finestra, ECOmpass raccomanda quella che richiede meno interventi.

Inoltre, si è dimostrato come si possa semplificare un'analisi complessa come l'analisi BEM, in modo da fornire risultati chiari nelle prime fasi di progetto.

Riguardo a Olgyay, l'autore conclude che il suo metodo risulta efficace solo in condizioni in cui le temperature di bulbo secco esterna ed interna coincidono, per esempio in edifici leggeri e ben ventilati. Queste condizioni sono soddisfatte dalle costruzioni in legno tipiche del clima temperato del New England, in cui Olgyay aveva condotto i suoi studi.
Un altro limite risiede nel fatto che nel caso ideale (edificio molto ben ventilato) non viene specificata la destinazione d'uso (in un ufficio possono esserci incrementi a causa dell'uso), oltre al fatto che un caso ventilato può surriscaldarsi durante l'estate. Questo può portare a predire in modo sbagliato quali sono le ore dell'anno in cui l'edificio è surriscaldato.
ECOmpass, invece, riesce a quantificare l'effetto della massa termica nella temperatura interna, ed è in grado di fornire dettagli progettuali come il massimo rapporto parete-finestra.

Parlando invece dell'impatto che hanno avuto Givoni e Milne, viene detto che avevano fatto in modo di adattare l'uso del grafico anche ad edifici più massicci, ma questo che questo ha portato a perdere la semplicità originaria del metodo Olgyay.
L'autore suggerisce quindi un approccio basato sulla simulazione, invece di adoperare il grafico bioclimatico.

In conclusione, questo paper propone una piccola svolta in avanti rispetto al contributo precedente. Se il contributo di Sayad B. et al si concentrava sull'affinamento del metodo grafico, attraverso l'uso di diagrammi psicrometrici e tabelle, il contributo di Herb propone il passaggio all'utilizzo di strumenti di simulazione dinamica. Infatti, a differenza dell'analisi manuale, qui viene introdotto un software che simula in modo automatico 112 scenari diversi, fornendo alla fine delle indicazioni progettuali precise.

6. Applicazione

6.1 Introduzione

In questo capitolo viene applicata la teoria degli Olgyay, precedentemente illustrata e discussa nel capitolo 4, al fine di valutarne attualità e limiti nel contesto progettuale contemporaneo.
A tal fine, sono stati riportati i risultati di un esperimento basato sui dati storici di temperatura e umidità della città di Torino, che consentono di tradurre i principi teorici in una verifica empirica attraverso l'uso di un software dedicato-

Ne deriva un'analisi che mette in evidenza sia le potenzialità sia le criticità del metodo, contribuendo a definirne un impiego più consapevole nella progettazione architettonica contemporanea

6.2 Perchè usare il clima temperato europeo come metro di riferimento

Dal momento che il grafico originale dei fratelli ungheresi era basato sull'area degli stati di New York e New Jersey. si è ritenuto opportuno utilizzare il clima della città di Torino come caso studio.
Entrambe le aree rientrano in un clima temperato e con alta alternanza stagionale: presentano infatti inverni freddi (che richiedono riscaldamento) ed estati calde e umide (che possono generare condizioni di surriscaldamento, anche a causa della mancanza di vento).
Inoltre, entrambe presentano condizioni climatiche intermedie in cui una parte significativa dell'anno si trova vicina alla zona di comfort. Questo rende efficaci le soluzioni passive.

6.3 Panoramica del software

Il software è costituito da un ambiente Excel diviso in quattro schede (Tab. 6.1), che verranno illustrate e commentate in questo sottocapitolo.
I dati inseriti all'interno, a fini di esempio, sono i dati di Torino in un periodo semplificato di sei anni (2020 - 2025).

1. **INPUT DATA**
   Qui vengono inseriti e visualizzati i dati raccolti in un periodo di uno o più anni, attraverso una serie di tabelle e grafici che ho elencato qui sotto:

   Climatological period (Tab. 6.1a)
   Questa tabella è composta da 12 righe indicanti i mesi dell'anno e da 10 colonne indicanti i valori relativi a ciascun mese.
   Poiché l'analisi non si riferisce ad un singolo anno, ma ad un periodo pluriennale, i valori mensili (da gennaio a dicembre) saranno determinati come medie dei corrispondenti mesi considerate sull'intervallo temporale, a loro volta derivate dalla media dei valori giornalieri, organizzati per mese al fine di semplificarne la lettura e l'interpretazione.
   I dieci parametri sono riportati di seguito:

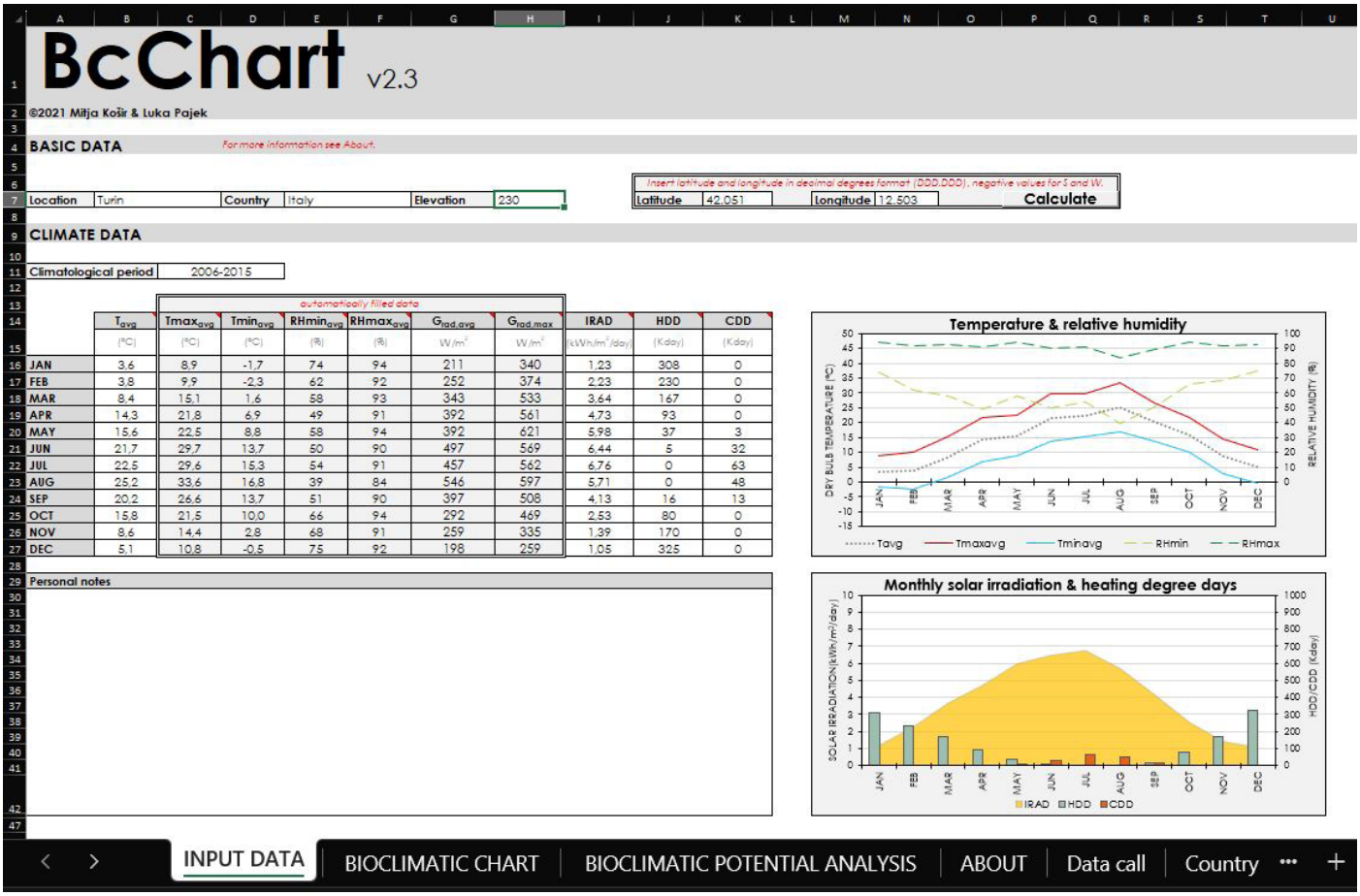
   T Avg: media aritmetica tra T max Avg e T Min Avg (°C).

   T Max Avg: media delle temperature massime del mese (°C).

   T Min Avg: media delle temperature minime del mese (°C).

   RH Min Avg: media dei valori di umidità relativa minimi giornalieri (%).

   RH Max Avg: media dei valori di umidità relativa minimi giornalieri (%).



Tab. 6.1; *Schermata di avvio di BcChart v2.0*; immagine presa da BcChart v.2.0.

G rad Avg: media dei valori medi di radiazione solare giornaliera ricevuta da una superficie orizzontale in un mese (W / m²).
Di ciascun mese viene stilata, per ciascun giorno, la radiazione totale giornaliera. Poi si calcola il valore medio, che viene inserito qui.

G rad Max: media dei valori massimi di radiazione solare giornaliera ricevuta da una superficie orizzontale (W / m²).
Qui invece di calcolare la media dei valori di radiazione, si considera il valore massimo.

IRAD: media dei valori totali giornalieri di radiazione solare ricevuta nell'arco di un giorno su una superficie orizzontale (kWh / m² / giorno).
(Media dei valori di) Radiazione solare globale cumulata giornaliera in un mese.

HDD (heating degree days): gradi giorno di riscaldamento di quel mese (°K).
Rappresentano la somma (estesa a tutti i giorni del mese) delle differenze positive tra una temperatura di comfort di riferimento e la temperatura media esterna giornaliera.

CDD (cooling degree days): gradi giorno di raffrescamento di quel mese (°K).
Rappresentano la somma (estesa a tutti i giorni del mese) delle differenze negative tra una temperatura di comfort di riferimento e la temperatura media esterna giornaliera.
Questi ultimi tre valori non influenzano il calcolo del potenziale bioclimatico ma consentono di avere una visione più ampia nell'interpretazione

dell'analisi bioclimatica.

I valori vengono inseriti in questo modo (esempio, media temperature massime giornaliere:

1. Si trovano o si calcolano le temperature massime di ogni mese di gennaio del 2020.

2. Si trovano o si calcolano le temperature massime di ogni mese di gennaio del 2021.

3. Si procede con quanti anni si vuole.

4. Si calcola la media delle temperature massime di gennaio trovate.

5. Si ripete il processo con gli altri mesi dell'anno.

Dal momento che si considera un periodo di uno o più anni, i valori (esempio) di gennaio corrisponderanno alla media dei valori di tutti i mesi di gennaio considerati, i valori di febbraio corrisponderanno a tutti i mesi di febbraio considerati, e così via.
Una volta inseriti i dati, il software elaborerà in automatico i dati, restituendo un grafico raffigurante l'andamento della temperatura (in rosso i massimi, in azzurro i minimi, in grigio la media), e dell'umidità (in verde scuro i massimi, in verde chiaro i minimi)(Tab. 6.1b).

Inoltre, verranno raffigurati e correlati l'andamento della radiazione totale giornaliera e dei gradi giorno (Tab. 6.1c).

In aggiunta, troviamo le coordinate geografiche della città usata come riferimento:
Paese, elevazione sul livello del mare, latitudine e longitudine.

Climatological period: 2020-2025

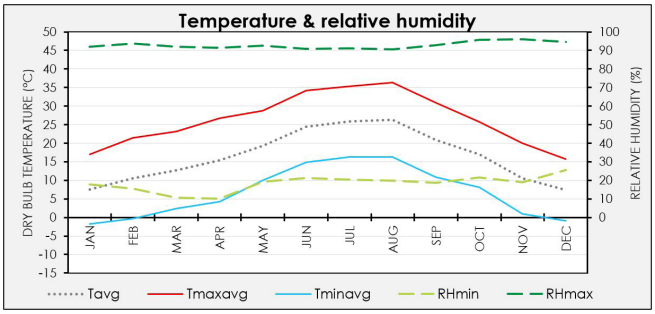
	T_{avg} (°C)	$Tmax_{avg}$ (°C)	$Tmin_{avg}$ (°C)	$RHmin_{avg}$ (%)	$RHmax_{avg}$ (%)	$G_{rad.avg}$ W/m²	$G_{rad.max}$ W/m²	IRAD (kWh/m²/day)	HDD (Kday)	CDD (Kday)
JAN	7,6	17,0	-1,8	18	92	320	502	1,35	491	0
FEB	10,5	21,4	-0,3	16	94	432	628	2,09	389	0
MAR	12,7	23,1	2,3	11	92	604	868	3,10	365	0
APR	15,4	26,7	4,2	10	91	723	1029	4,35	251	2
MAY	19,4	28,7	10,0	19	93	887	1127	4,82	177	5
JUN	24,5	34,2	14,8	21	91	946	1178	5,51	47	62
JUL	25,9	35,4	16,4	20	91	1094	2121	5,93	18	93
AUG	26,3	36,3	16,3	20	91	843	1034	5,33	13	110
SEP	20,9	30,9	10,8	19	93	725	961	3,74	104	14
OCT	16,9	25,8	8,1	22	96	511	800	2,32	216	0
NOV	10,5	20,1	0,9	19	96	362	535	1,60	460	0
DEC	7,3	15,7	-1,0	26	95	292	448	1,17	485	0

Tab. 6.1a; *Dati climatici della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunti come esempio*; immagine presa da BcChart v2.0.

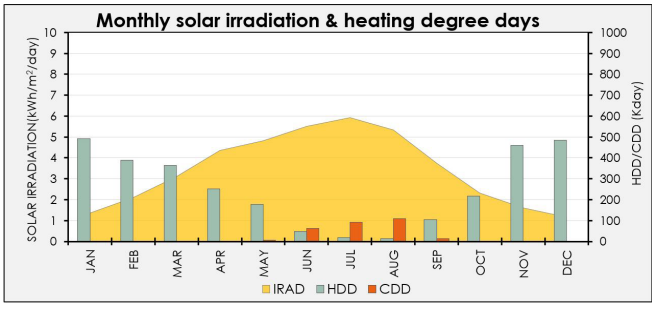
2. BIOCLIMATIC CHART

Qui vediamo l'elaborazione grafica dei dati climatici raccolti precedentemente, mediante due versioni del grafico bioclimatico di Olgyay (Tab. 6.2).

Il grafico bioclimatico base (Tab. 6.2, a sinistra) è il grafico così come concepito da Olgyay, mentre il grafico bio-



Tab. 6.1b; *Andamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunto come esempio*; immagine presa da BcChart v2.0.



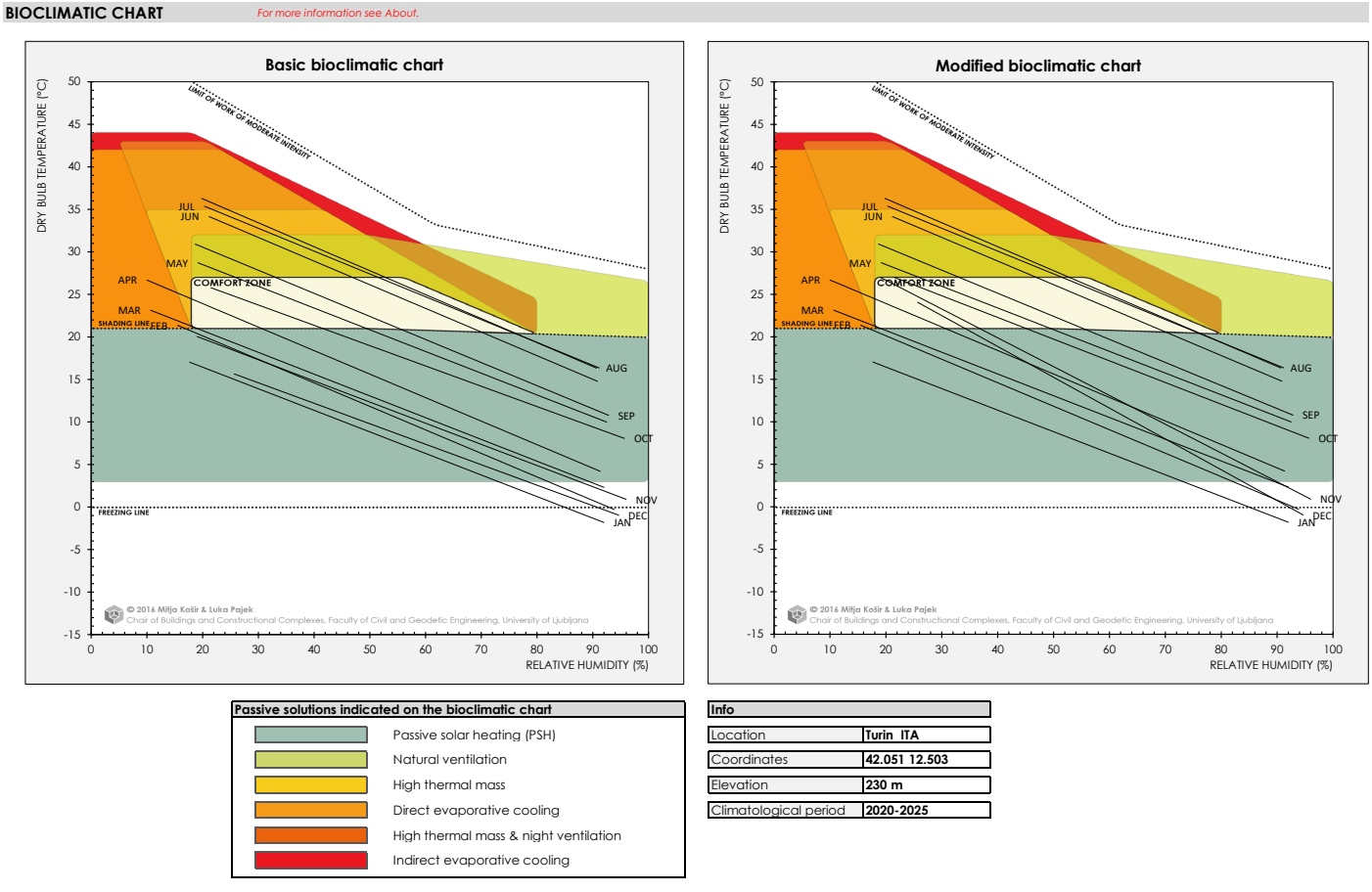
Tab. 6.1c; *Andamento della radiazione solare, dei gradi giorno di riscaldamento e dei gradi giorno di raffrescamento della città di Torino nel periodo 2020-2025, assunto come esempio*; immagine presa da BcChart v2.0.

climatico modificato (Tab. 6.2, a destra) considera anche l'apporto della radiazione solare giornaliera (media e massima) nell'interpretazione dei dati in relazione al comfort
In basso sono riportate una legenda che consente di identificare le varie misure correttive e le coordinate spaziali e temporali del caso studio.

Grigio: possibilità di ricorrere al solo apporto solare per il riscaldamento.
Verde: possibilità di ricorrere alla sola ventilazione naturale per il raffrescamento.
Giallo: necessità di una grande massa (o inerzia) termica per smorzare le oscillazioni di temperatura.
Arancione chiaro: possibilità di ricorrere al raffrescamento evaporativo diretto[17].
Indica una situazione di bassa umidità nell'aria, in cui è più facile per l'acqua evaporare.
Arancione scuro: necessario combinare un'elevata massa termica e la ventilazione notturna.
Rosso: è richiesto raffrescamento evaporativo indiretto[18].
Indica una situazione di alta temperatura e aria umida, dove l'acqua ha più difficoltà a entrare come vapore.

17 Con raffrescamento evaporatico diretto, l'aria che si vuole rinfrescare entra in contatto con l'acqua e viene raffreddata direttamente (es. fontane, nebulizzatori, tessuti porosi).

18 Nel raffrescamento evaporativo indiretto, la massa d'aria calda viene raffreddata sempre attraverso l'evaporazione dell'acqua, senza però immettere aria umidificata nello spazio.
Per esempio, può venire utilizzato uno scambiatore di calore dove un flusso d'aria secondario, raffreddato per evaporazione, sottrae calore all'aria principale.



Tab. 6.2; *Grafici bioclimatici, base e modificato, della città di Torino relativi al periodo 2020-2025, assunto come esempio*; immagine presa da BcChart v2.0.

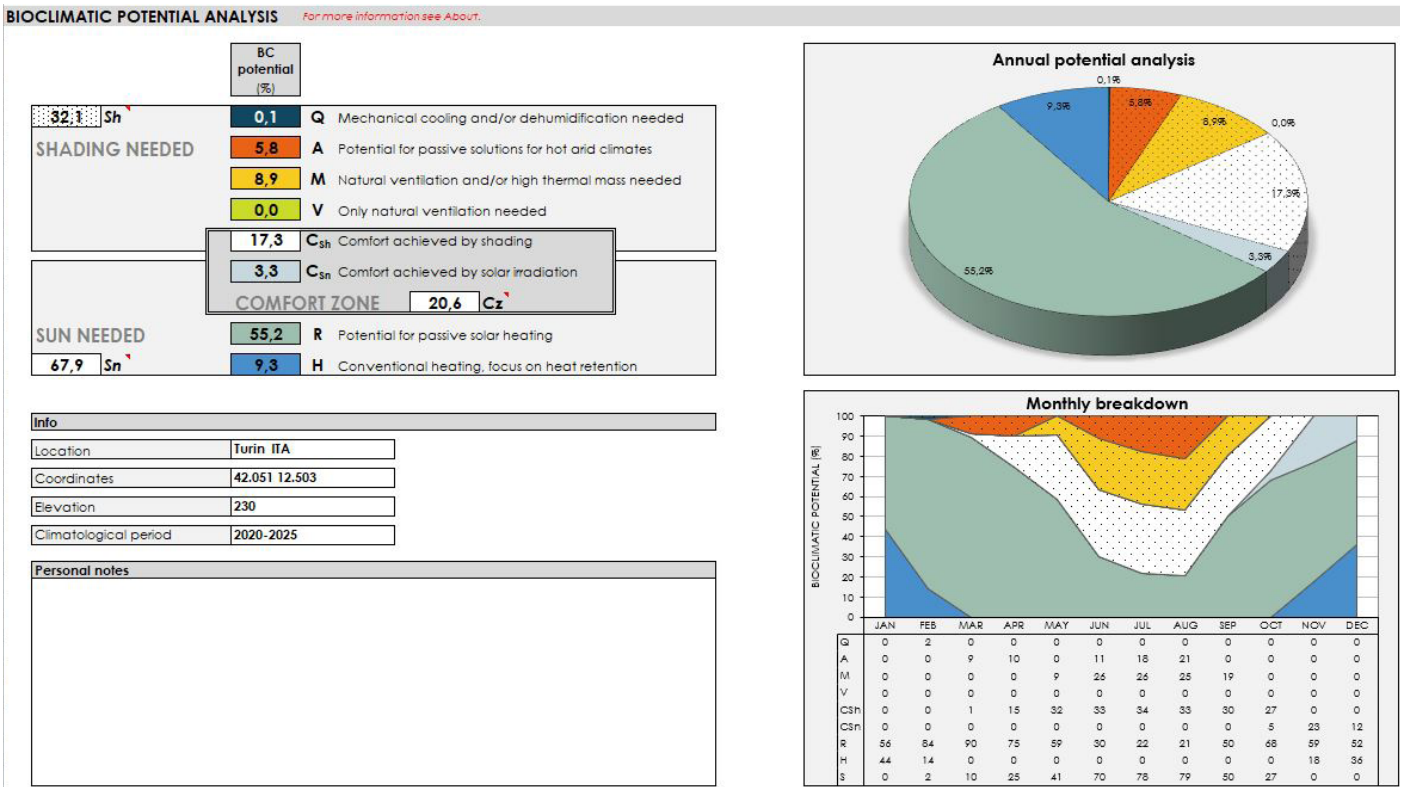
3. BIOCLIMATIC POTENTIAL ANALYSIS

Qui sono mostrati i risultati dell'analisi del potenziale bioclimatico, sotto forma di grafici (Tab. 6.3).
Con potenziale bioclimatico si intende la capacità delle risorse climatiche di un luogo di poter essere utilizzate come strumento per garantire comfort.
La valutazione avviene considerando alcune misure compensative (naturali e non) e la percentuale di tempo, su base annuale, in cui ciascuna misura permette di raggiungere il comfort termico

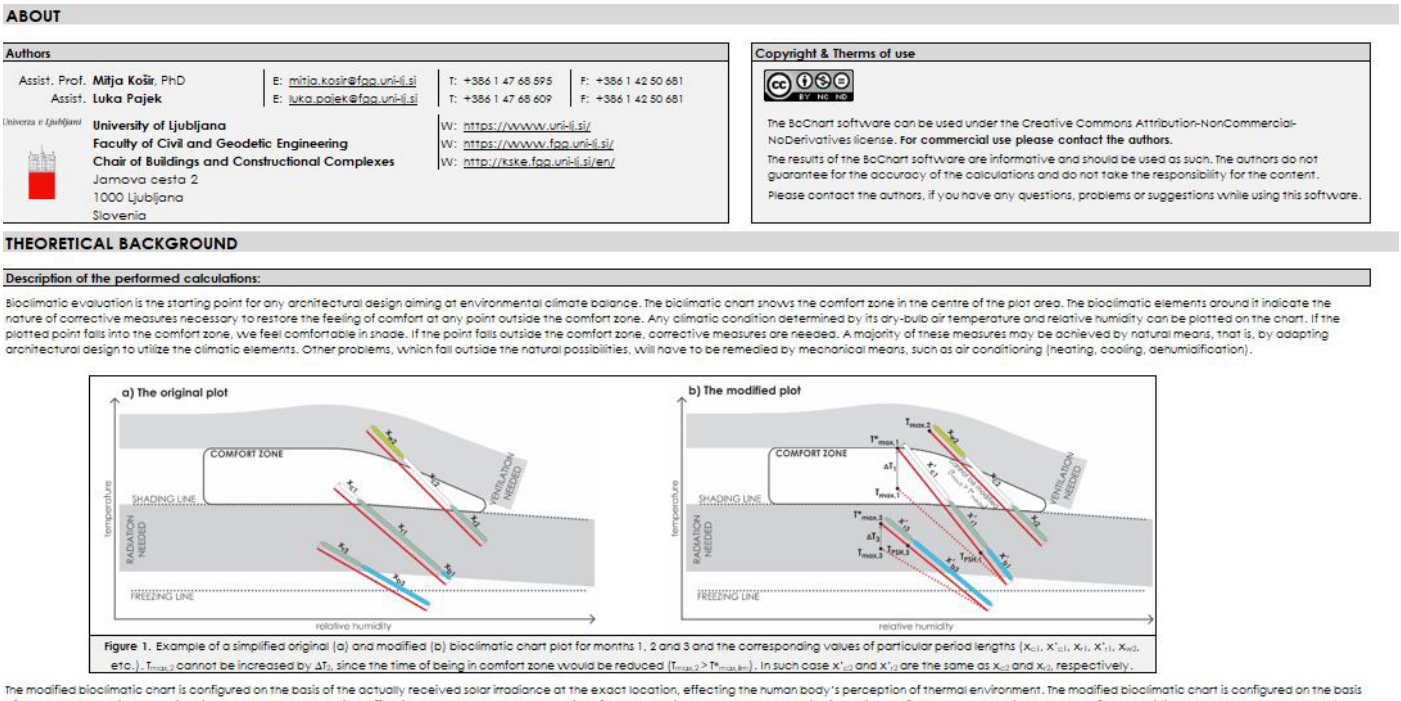
L'analisi del potenziale serve a definire quali misure di compensazione (passiva o attiva) siano più efficaci per quel sito specifico, come il riscaldamento naturale, l'ombreggiamento, la massa termica o il condizionamento meccanico.
All'interno dell'analisi è importante che sia riportato anche il condizionamento meccanico, in quanto costituisce un utile indicatore delle eventuali criticità climatiche della zona analizzata, permettendo di individuare i casi in cui le misure compensative naturali non risultano sufficienti.

4. ABOUT

Questa sezione contiene delle spiegazioni circa la teoria alla base del software e le informazioni di contatto degli sviluppatori (Tab. 6.4).



Tab. 6.3; *Schermata di analisi del potenziale bioclimatico della città di Torino relativo al periodo 2020-2025, assunto come esempio*; immagine presa da BcChart v2.0.



Tab. 6.4; *Schermata della sezione "About" del software BcChart v2.0, contenente informazioni sugli autori, sulla base teorica di riferimento e sui termini d'uso*; immagine presa da BcChart v2.0.

6.4 Torino

Nell'esperimento seguente, BcChart v2.0 è stato usato per elaborare i dati climatici della città di Torino, usando come riferimento il periodo tra il 2003 e il 2023 (Tab. 6.5).

Osservando la curva delle temperature (Tab. 6.6), possiamo notare alcune cose:

- Le temperature medie seguono una curva sinusoidale, massima durante i mesi di luglio e agosto (25 °C), minima (3 - 5 °C) durante i mesi di dicembre e gennaio.
- Le temperature massime arrivano a 30 - 31 °C in estate.
- Le temperature minime possono scendere sotto lo zero in inverno.

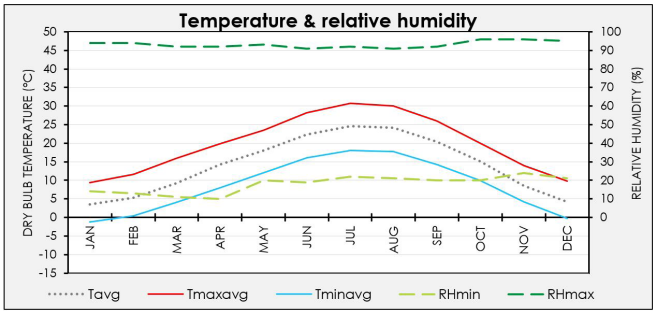
Questo indica un clima temperato e umido, con forti escursioni termiche stagionali.

CLIMATE DATA

Climatological period: 2003-2023

	T_{avg} (°C)	$Tmax_{avg}$ (°C)	$Tmin_{avg}$ (°C)	$RHmin_{avg}$ (%)	$RHmax_{avg}$ (%)	$G_{rad,avg}$ W/m²	$G_{rad,max}$ W/m²	IRAD (kWh/m²/day)	HDD (Kday)	CDD (Kday)
		automatically filled data								
JAN	3.5	9.4	-1.2	14	94	73	92	2.20	488	0
FEB	5.3	11.6	0.4	13	94	107	146	3.50	365	0
MAR	9.2	15.9	4.0	11	92	163	204	4.90	295	0
APR	14.2	19.9	8.0	10	92	205	250	6.00	198	2
MAY	18.0	23.5	12.0	20	93	239	304	7.30	115	5
JUN	22.3	28.2	16.0	19	91	269	329	7.90	20	48
JUL	24.7	30.8	18.0	22	92	275	321	7.70	6	78
AUG	24.1	30.0	17.8	21	91	241	292	7.00	8	95
SEP	20.4	26.0	14.3	20	92	185	242	5.80	56	16
OCT	15.2	20.0	9.9	20	96	115	179	4.30	142	4
NOV	8.5	14.0	4.2	24	96	70	117	2.80	369	0
DEC	4.1	9.8	-0.3	21	95	59	83	2.00	465	0

Tab. 6.5; *Dati climatici della città di Torino nel periodo 2003-2023*; immagine presa da BcChart v2.0.



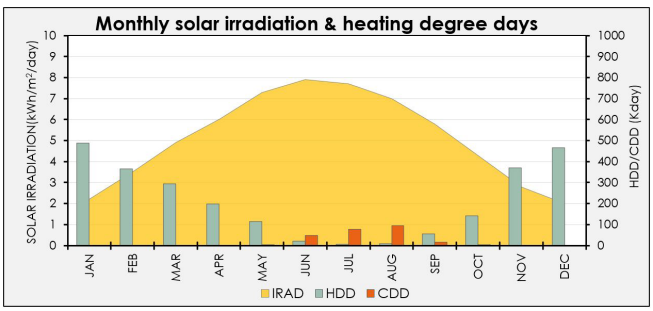
Tab. 6.6; *Andamento della temperatura dell'aria e dell'umidità relativa della città di Torino nel periodo 2003-2023*; immagine presa da BcChart v2.0.

- L'umidità relativa massima è sia molto alta, non scendendo mai sotto il 90%, sia relativamente costante durante l'anno.
- L'umidità relativa minima è più bassa verso la fine dell'inverno (da gennaio ad aprile) e più alta nei mesi estivi e nei mesi all'inizio dell'inverno (da maggio a dicembre).

Prendendo anche come riferimento i dati sull'andamento mensile dell'umidità relativa - consultati sul sito dell'Osservatorio Meteorologico dell'Università di Torino -, ciò è attribuibile alla presenza di episodi puntuali e di breve durata in cui la temperatura risulta inferiore rispetto al resto della giornata, come nel caso, ad esempio, di un mattino particolarmente freddo; tali variazioni, pur limitate nel tempo, incidono sul valore medio complessivo, contribuendo ad abbassarlo.

Guardando il grafico della radiazione solare e dei gradi-giorno di riscaldamento e di raffreddamento (Tab. 6.7), notiamo che solo nel periodo che va da giugno a settembre risultano dei dati di gradi-giorno di raffreddamento. Inoltre a settembre i gradi-giorno di riscaldamento superano di più del doppio i gradi di raffreddamento.

La radiazione solare globale cumulata, sia su base giornaliera sia mensile, e i gradi-giorno di riscaldamento mostrano

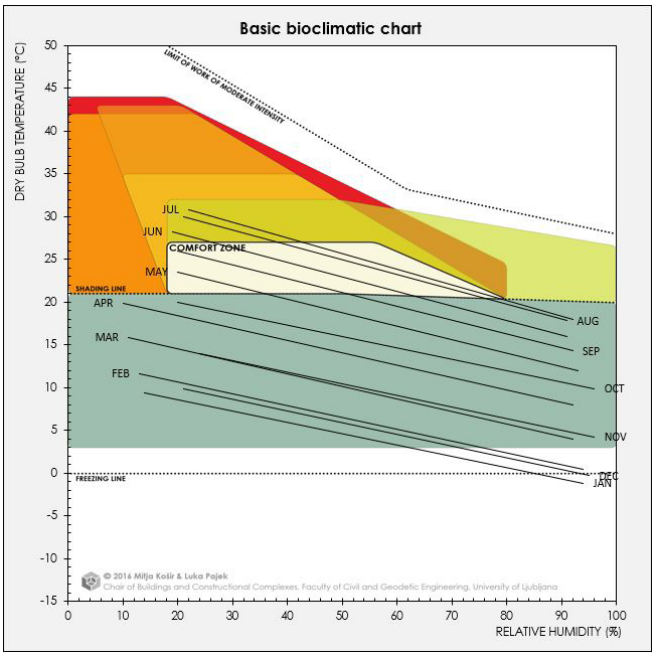


Tab. 6.7; *Andamento della radiazione solare, dei gradi giorno di riscaldamento e dei gradi giorno di raffrescamento della città di Torino nel periodo 2003-2025*; immagine presa da BcChart v2.0.

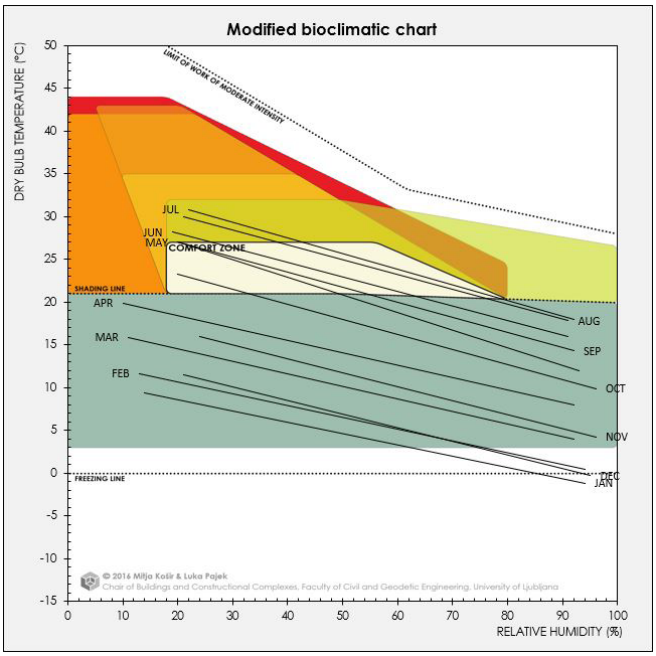
un andamento tra loro complementare: nei mesi caratterizzati da un minore fabbisogno di riscaldamento, compresi tra giugno ed agosto, si registra infatti una maggiore quantità di radiazione solare incidente. Nel mese di settembre, pur in presenza di una riduzione della radiazione, permane un limitato fabbisogno di riscaldamento.
Al contrario, nel periodo invernale, la radiazione solare raggiunge i valori minimi, mentre i gradi-giorno di riscaldamento si attestano sui livelli massimi. Tale relazione evidenzia come la stagione di raffrescamento risulti relativamente breve, pari a circa 3 - 4 mesi, rispetto a quella di riscaldamento, che si estende per circa 8 mesi.

L'analisi del grafico della radiazione solare e dei gradi-giorno di riscaldamento e raffreddamento (Tab. 6.11) mostra inoltre come i valori di raffrescamento si concentrino esclusivamente tra giugno e agosto, con alcune estensioni marginali nel mese di settembre; in quest'ultimo, i gradi-giorno di riscaldamento risultano comunque più che doppi rispetto a quelli di raffreddamento. Questo dato, unito agli elevati valori invernali dei gradi-giorno di riscaldamento, contribuisce a delineare Torino come una città dal clima prevalentemente freddo. Coerentemente, si osserva come nei periodi di minore radiazione sia richiesto un maggiore apporto di riscaldamento.

Il grafico bioclimatico base (Tab. 6.8) colloca il mese di maggio interamente all'interno della zona di comfort; tuttavia, il grafico bioclimatico modificato (Tab. 6.9) evidenzia come lo stesso mese presenti in realtà un breve intervallo al di sopra del limite superiore della zona di comfort, mentre il mese di ottobre, per effetto analogo legato alla radiazione, si avvicina a tale zona senza rientrarvi pienamente.
In entrambi i diagrammi, i mesi di giugno, luglio e agosto richiedono, nel caso peggiore, interventi di ventilazione naturale, mentre nei casi di dicembre, gennaio e febbraio una porzione dei dati si colloca al di sotto delle condizioni in cui è



Tab. 6.8; *Grafico bioclimatico base della città di Torino relativo al periodo 2003-2025*; immagine presa da BcChart v2.0.

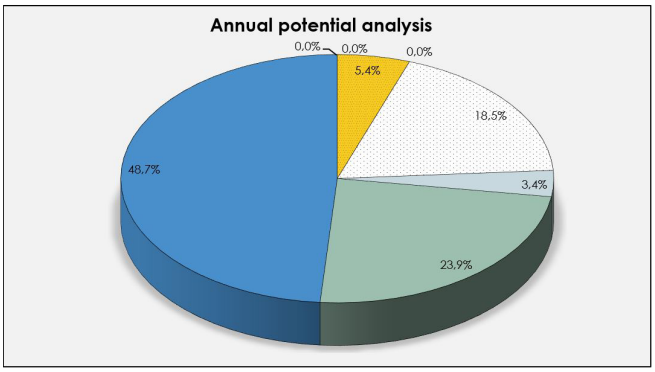


Tab. 6.9; *Grafico bioclimatico modificato della città di Torino relativo al periodo 2003-2025*; immagine presa da BcChart v2.0.

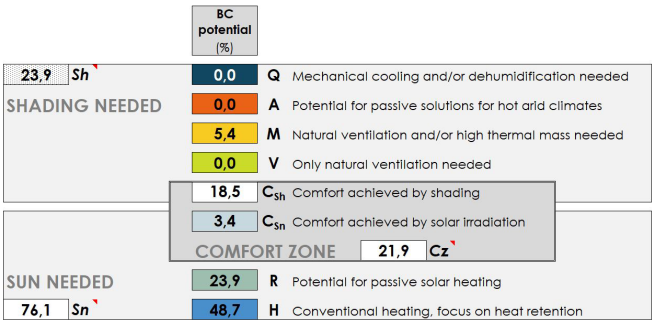
sufficiente il solo riscaldamento passivo, rendendo necessario il ricorso a sistemi di riscaldamento artificiale. In particolare, nei mesi di dicembre e gennaio si registra un punto al di sotto della freezing line, corrispondente alla temperatura di bulbo secco di 0 °C, alla quale l'acqua congela.

L'analisi annuale del potenziale (Fig. 6.10 e 6.11) evidenzia come, nel corso dell'anno, non si riscontri un fabbisogno significativo di raffreddamento meccanico o di deumidificazione, né la necessità di adottare strategie tipiche dei climi tropicali. Al contrario, emerge una marcata prevalenza delle esigenze di riscaldamento: per il 48,7% dell'anno è infatti necessario ricorrere a sistemi di riscaldamento tradizionale, con particolare attenzione alla conservazione del calore, mentre per il 23,9% del tempo risulta sufficiente il contributo del riscaldamento solare passivo. In relazione alle condizioni estive che caratterizzano Torino, si osserva inoltre come nel 18,5% dell'anno sia richiesta una schermatura solare, a fronte di una ridotta necessità di radiazione solare diretta, pari al 3,4%.

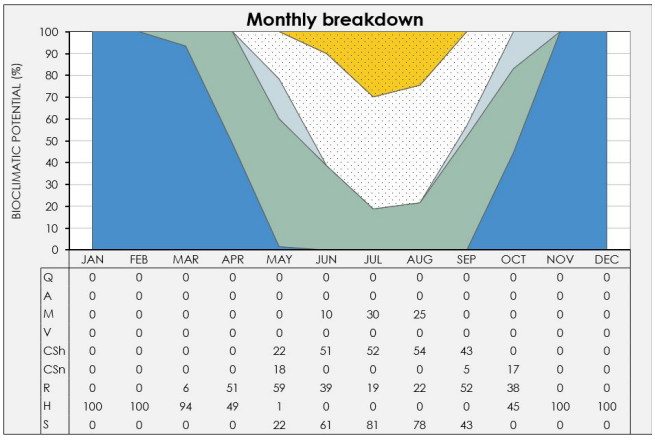
Il dettaglio mensile (Tab. 6.12) consente di cogliere con maggiore precisione la distribuzione stagionale di tali esigenze. Tra marzo e aprile si registra un incremento significativo del ruolo del riscaldamento solare passivo, che passa dal 6% al 51%. A partire dal mese di maggio emerge invece il fabbisogno di raffrescamento, inizialmente legato alla schermatura solare e, dal mese di giugno, anche alla ventilazione naturale. Quest'ultima raggiunge il proprio picco nei mesi di luglio e agosto, per poi ridursi progressivamente verso settembre, quando permane esclusivamente la necessità di schermature. Con l'avvicinarsi dei mesi invernali si ritorna infine alle condizioni già osservate per dicembre e gennaio, caratterizzate da una predominanza delle esigenze di riscaldamento.



Tab. 6.10; *Ripartizione annuale del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, rappresentata tramite grafico a torta.*; immagine presa da BcChart v2.0.



Tab. 6.11; *Ripartizione annuale del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, espressa in percentuale rispetto alle strategie climatiche individuate da BcChart v2.0*; immagine presa da BcChart v2.0.



Tab. 6.12; *Andamento mensile del potenziale bioclimatico della città di Torino nel periodo 2003-2023, con indicazione della variazione stagionale delle strategie passive e delle condizioni di comfort.*; immagine presa da BcChart v2.0.

6.5 Conclusione

In conclusione, l'analisi condotta mette in evidenza come BcChart v2.0 rappresenti uno strumento efficace per una prima interpretazione bioclimatica orientata al progetto.
La scelta del caso studio di Torino (7.2.) ha confermato la centralità di temperatura, umidità e radiazione solare nella definizione delle condizioni di comfort in un clima temperato, mentre la struttura del software (7.3.) basata su dati medi mensili, ha permesso una lettura sintetica e pratica dei fenomeni climatici. I risultati ottenuti (7.4.) hanno evidenziato una prevalenza delle esigenze di riscaldamento, un ruolo significativo delle strategie passive - in particolare schermatura e ventilazione naturale - e una limitata incidenza del raffrescamento meccanico.

Allo stesso tempo, emergono alcuni limiti legati alla semplificazione del modello, tra cui l'assenza di una valutazione degli effetti del vento, il cui comportamento, secondo gli sviluppatori del software, risulta più complesso e difficile da prevedere rispetto alla radiazione e all'umidità. Affermano che l'eventuale integrazione della variabile del vento comporterebbe un aumento della complessità del software, riducendone l'immediatezza d'uso. Per questo motivo, per analisi più approfondite dei flussi d'aria risulta opportuno ricorrere a strumenti più avanzati e specifici.

7. Validità del metodo nella progettazione corrente

7.1 Introduzione

Per valutare la portata del metodo Olgyay nel processo progettuale contemporaneo, sono stati confrontati e commentati alcuni software attualmente utilizzati per ottenere letture climatiche di un ipotetico sito di progetto.

7.2. BcChart v2.0

Questo software è stato illustrato nel capitolo 6.3 della presente tesi, mostrandone la teoria alla base, il funzionamento e l'applicazione alla città di Torino. In precedenza, è stato detto che il software non possiede strumenti per calcolare gli effetti del vento, in quanto l'aggiunta di questi strumenti comprometterebbe la sua semplicità d'uso.
Gli stessi sviluppatori del software, infatti, sottolineavano come BcChart v2.0 sia da intendersi più come uno strumento per svolgere un'analisi veloce, mentre consigliano di usare software di simulazione più completi per svolgere l'analisi del vento.
Un altro punto di forza del software è il fatto che, nell'analisi del potenziale bioclimatico, venga preso in considerazione anche l'apporto della radiazione solare. Viene tuttavia riportato che, anche considerando la radiazione solare, il metodo di calcolo è più efficace in zone dal clima temperato e freddo, rispetto a quelle dal clima arido e polare.
In un clima temperato, infatti, un piccolo apporto di radiazione può causare uno spostamento importante rispetto alla zona di comfort: in estate, anche piccole dosi di radiazione hanno bisogno di essere schermate, mentre in inverno possono ridurre il fabbisogno di riscaldamento. In climi freddi, durante il periodo invernale, il sole svolge lo stesso ruolo, a meno che non ci si trovi in climi polari, in cui la temperatura si abbassa considerevolmente e il sole, essendo mediamente più basso sull'orizzonte, non può fornire quella radiazione che ristabilirebbe le condizioni di comfort.
Nei climi caldo-aridi invece, come abbiamo visto nel capitolo 5.3.3 della seguente tesi, il sole porta soprattutto al surriscaldamento dell'edificio, piuttosto che al comfort invernale. L'analisi del comfort dipende maggiormente da strategie di ombreggiamento, ventilazione, o raffrescamento evaporativo.

Si può concludere quindi che i risultati ottenuti dal software possono essere considerati come uno strumento utile per un'analisi preliminare, ma non devono essere intesi come conclusioni definitive. Nonostante questo, il software ha comunque dimostrato un punto importante della progettazione bioclimatica: il confronto tra i due grafici bioclimatici dimostra infatti l'effetto della radiazione solare nella definizione delle condizioni di comfort.

7.3 Andrew Marsh

Si tratta di un sito web sviluppato dall'architetto e sviluppatore software australiano Andrew Marsh. Il sito contiene una serie di WebApp interattive sviluppate dall'autore, che si presentano come strumenti sperimentali per permettere a studenti, progettisti e ricercatori di testare istantaneamente le prestazioni di un'idea progettuale rispetto a dei parametri ambientali. Gli strumenti offerti spaziano dalla modellazione geometrica complessa e parametrica - come *Shape Script* e *Polyhedra-2.0* - fino a strumenti di visualizzazione dei dati climatici. Tuttavia, ai fini di questa tesi, verranno esposte le applicazioni pensate per svolgere analisi dei parametri climatici.

7.3.1 3D Sun Path

Una di queste applicazioni è *3D Sun Path*, uno strumento interattivo che consente di simulare il percorso del sole dato un luogo e un periodo dell'anno (Fig. 7.1). L'app permette di generare, per ogni periodo dell'anno, diagrammi di percorso solare (*Sun Path Diagram*) e proiezione d'ombra a seconda dei dati inseriti. Inserendo le coordinate del luogo di progetto, la data e l'orario, non solo verranno visualizzate l'altezza e l'azimut del sole, ma, inserendo anche un modello tridimensionale del progetto e del contesto, verranno visualizzate le ombre proiettate in relazione alla posizione del sole.
Lo strumento permette di selezionare velocemente alcune date chiave, ovvero gli equinozi e i solstizi, oltre ad orari specifici come l'alba, il mezzogiorno e il tramonto (Fig. 7.2).
Inoltre, l'utente può visualizzare lo scorrere del tempo con un'animazione dinamica, per osservare come variano illuminazione e ombra al variare della posizione del sole.

I diagrammi solari generati sono identici a quelli illustrati dai fratelli Olgyay nei loro testi, ma in questo caso vengono ampliati indicando automaticamente l'azimut, l'altezza del sole, la durata del giorno e gli orari di alba e tramonto.
Similmente agli Olgyay, questa applicazione si pone di ottenere come output solamente i dati geometrici del sole, senza considerare il comfort termico soggettivo.

3D Sun Path consente anche di espandere la rappresentazione permettendo di cambiare in un solo click tra la rappresentazione Olgyay (*Equidistant Sun-Path*, Fig. 7.3) e una rappresentazione che indica la durata del giorno e della notte (*Day-Length Chart*, Fig. 7.4).

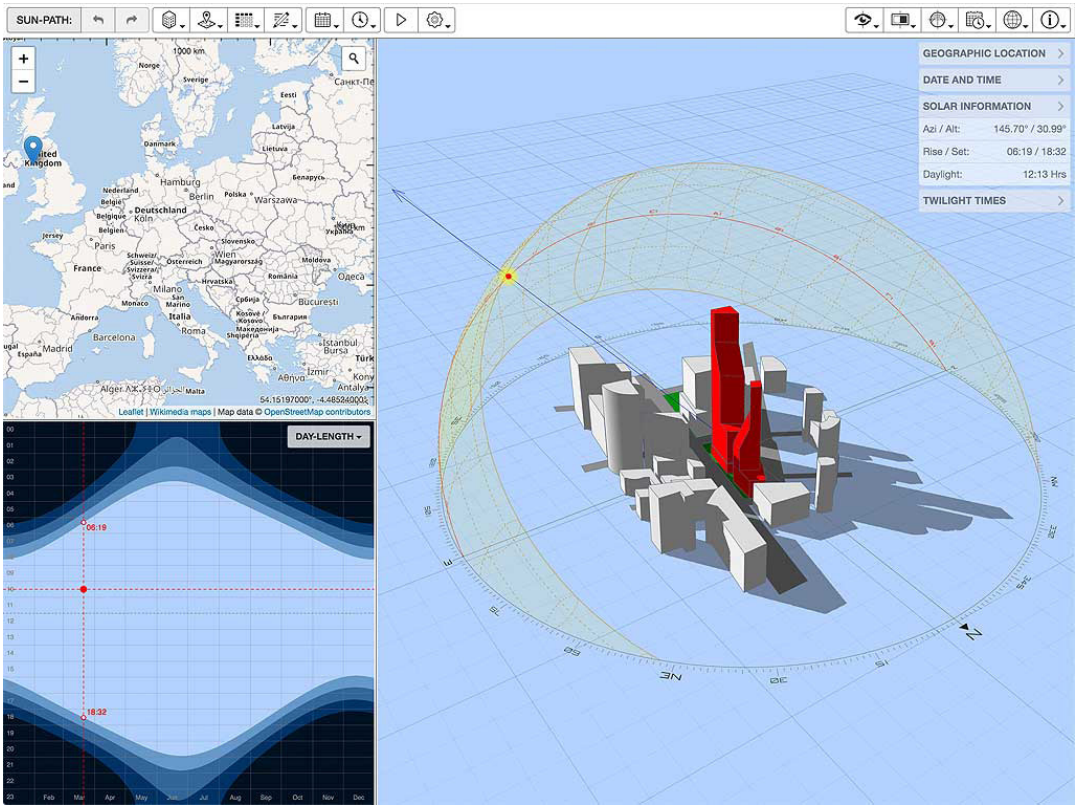


Fig. 7.1; *Schermata di avvio della webapp 3D Sun Path di Andrew Marsh*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html.

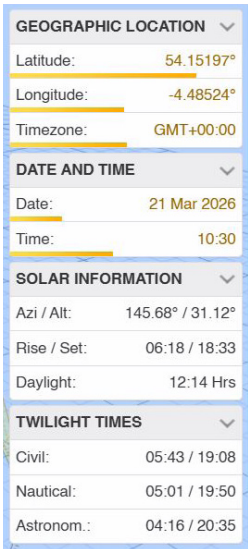


Fig. 7.2; *Pannello con le coordinate geografiche, la data, l'ora e i principali parametri solari*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html.

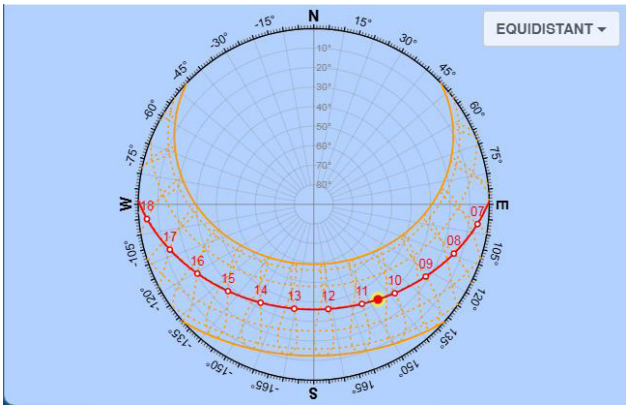


Fig. 7.3; *Diagramma di percorso solare equidistante, all'interno di 3D Sun Path di Andrew Marsh*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html.

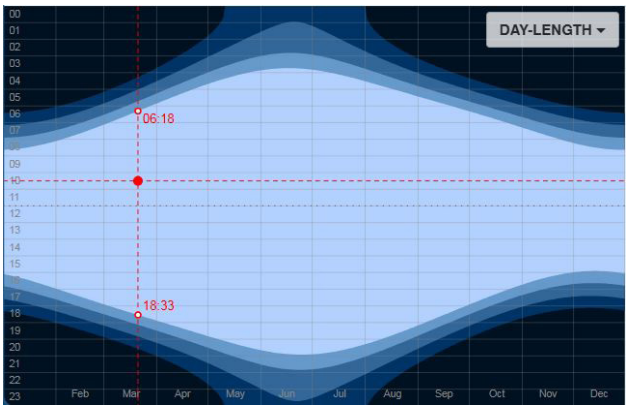


Fig. 7.4; *Diagramma giorno-notte, con indicazione di alba, tramonto e durata dell'illuminazione diurna*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html.

7.3.2 Psychrometric Chart

Questa applicazione è stata concepita per rappresentare le condizioni termoigrometriche dell'aria, attraverso l'uso di un diagramma psicrometrico (Tab. 7.1). Sul diagramma, possono essere lette le proprietà termoigrometriche dell'aria, attraverso una serie di parametri ambientali: **(I)** la temperatura di bulbo secco come ascissa (°C), **(II)** l'umidità assoluta come ordinata (g/kg) e **(III)** umidità relativa sotto forma di curve (%), con la possibilità di inserire ulteriori parametri come l'entalpia e la pressione di vapore. Una caratteristica importante di questo strumento è la sua dinamicità. Infatti, importando i dati della stazione meteorologica più vicina alla località desiderata, è possibile visualizzare istantaneamente i dati climatici di quella località. Come esempio sono stati usati i dati della stazione meteo di Torino. Nella figura sottostante, il cursore rosso indica una condizione di esempio, che corrisponde a 22,6 °C di temperatura di bulbo secco, al 43,36% di umidità relativa e a 7 g/kg di umidità assoluta.

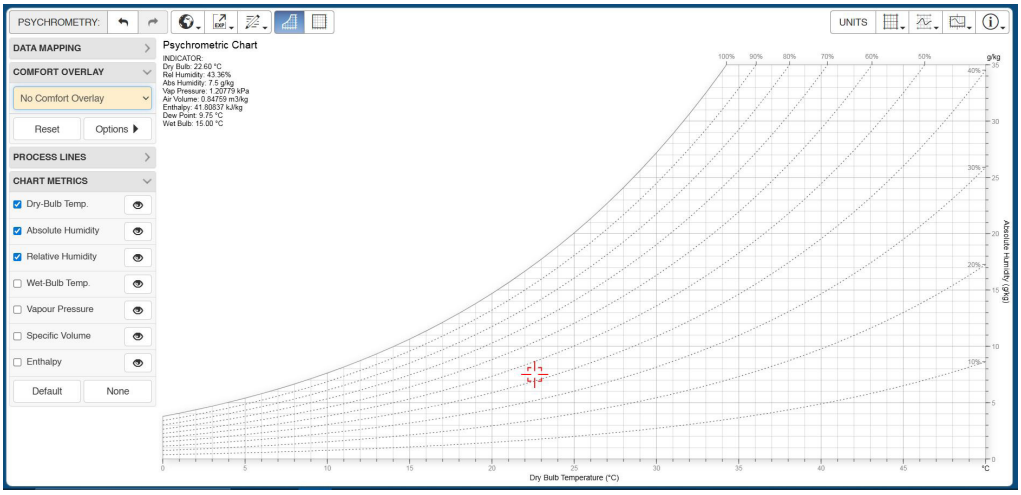
In aggiunta, l'applicazione consente di proiettare sul grafico diversi indicatori di comfort, in modo da collegare in tempo reale i dati ambientali a una specifica situazione (Tab. 7.2). In foto, ad esempio, sono mostrate le proiezioni di Givoni, ma è possibile mostrare l'indice di stress termico per attività lavorative all'aperto (*Outdoor Work Heat Index*, Tab. 7.3) e lo standard ISO 7730:2005, che valuta il comfort termico tramite il voto medio previsto (*Predicted Mean Vote*, PMV) (Tab. 7.4).

I dati possono essere rappresentati sia come griglia (Tab. 7.5), dove la durata temporale di ciascuna condizione termoigrometrica è rappresentata dall'intensità del colore, o - in maniera identica ad Olgyay - con dei segmenti che indica-

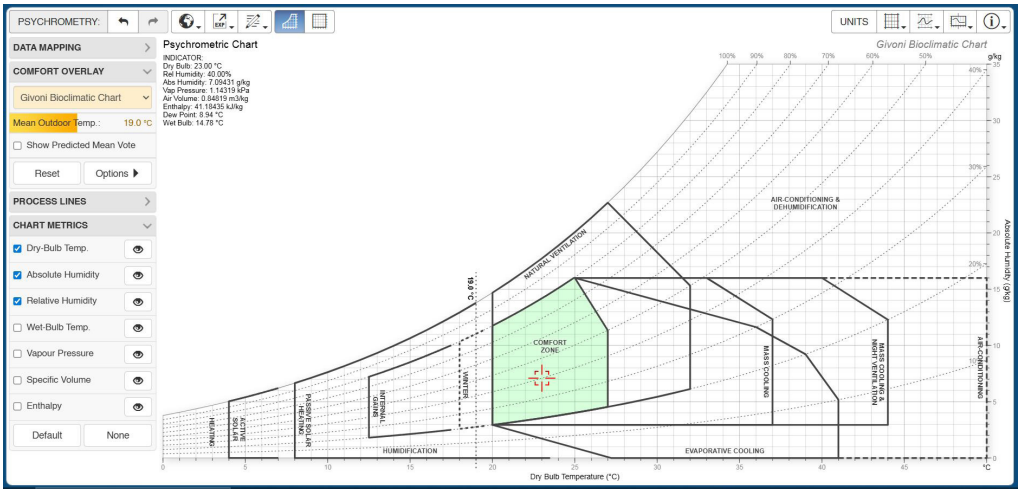
no il range termoigrometrico di ciascun mese (Tab. 7.6).

Alla sinistra del grafico si trovano dei parametri che, quando vengono modificati, permettono di cambiare in tempo reale la visualizzazione.
Uno di questi è la temperatura media esterna (*Outdoor Mean Temperature*, Tab. 7.6a), un valore medio rappresentativo del clima a cui l'abitante è esposto e a cui, nel tempo, si adatta.

Spostando questo valore, si sposta anche la zona di comfort, perché il modello assume che la percezione del comfort non sia fissa, ma dipenda dal clima a cui è abituato l'abitante. In un clima più caldo, si tollereranno temperature esterne più calde, prima di subire discomfort, mentre in zone fredde la zona di comfort si abbassa in quanto l'abitante è abituato a temperature inferiori (Tab. 7.7 - 7.9).
L'autore ha inoltre consentito di cambiare la visualizzazione, passando dalla visualizzazione temperatura-umidità assoluta (Tab. 7.10) ad una visualizzazione che mantiene la temperatura di bulbo secco come asse delle ascisse, ma sposta l'umidità relativa all'asse delle ordinate (Tab. 7.11).



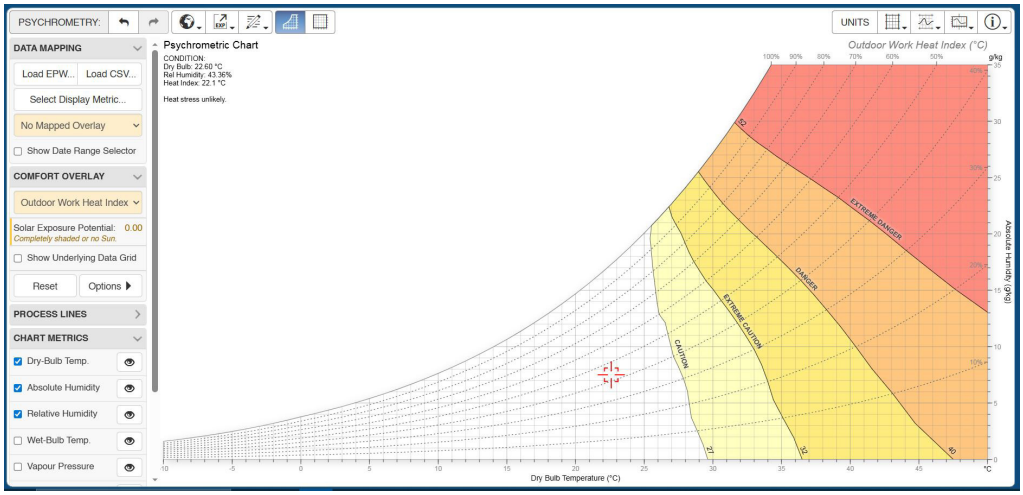
Tab. 7.1; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, nella visualizzazione di partenza*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



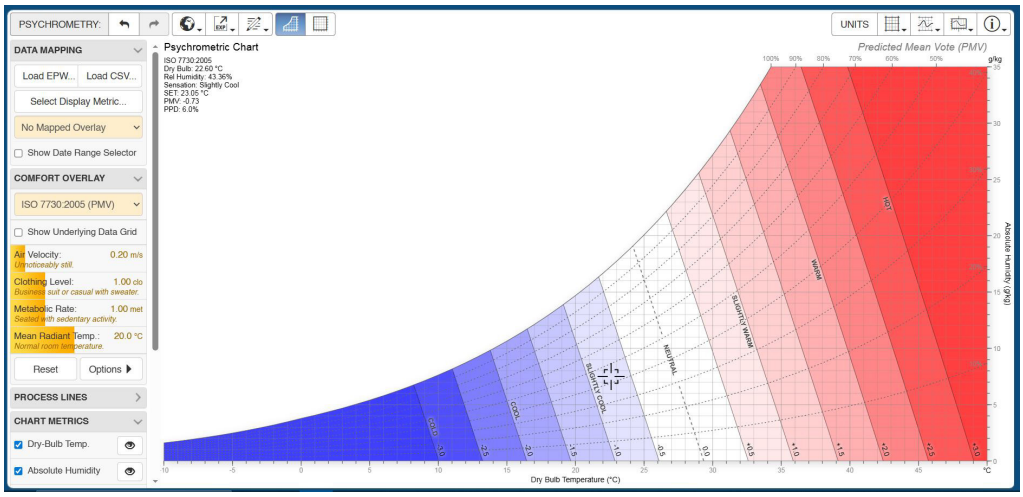
Tab. 7.2; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante i range di efficacia delle strategie passive*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.

Roteando la seconda visualizzazione di 90 gradi e specchiandola orizzontalmente (Tab. 7.12), si nota come rappresenti una versione ruotata del diagramma di Olgyay (Fig. 7.5), dove sono state aggiunte le indicazioni che si trovano sul diagramma di Givoni.

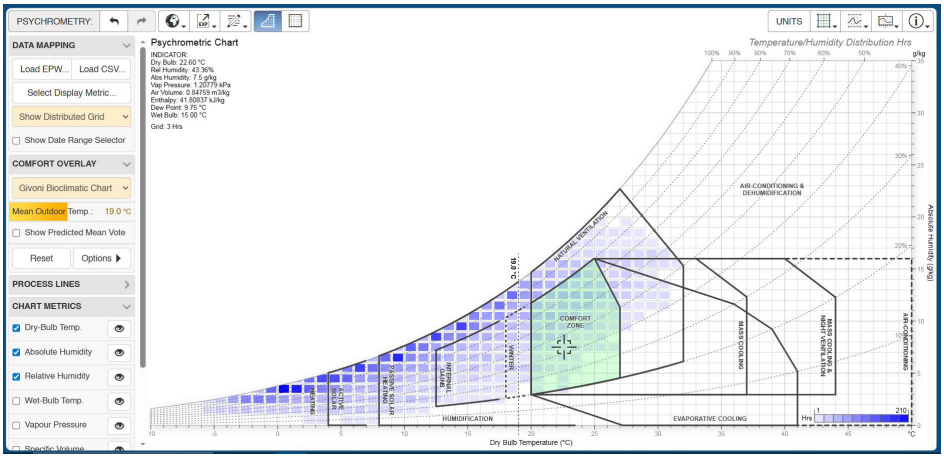
Questa modalità duale di visualizzazione è stata inserita volutamente dall'autore, in modo da comprendere in tempo reale le relazioni tra i diagrammi di Olgyay e Givoni.



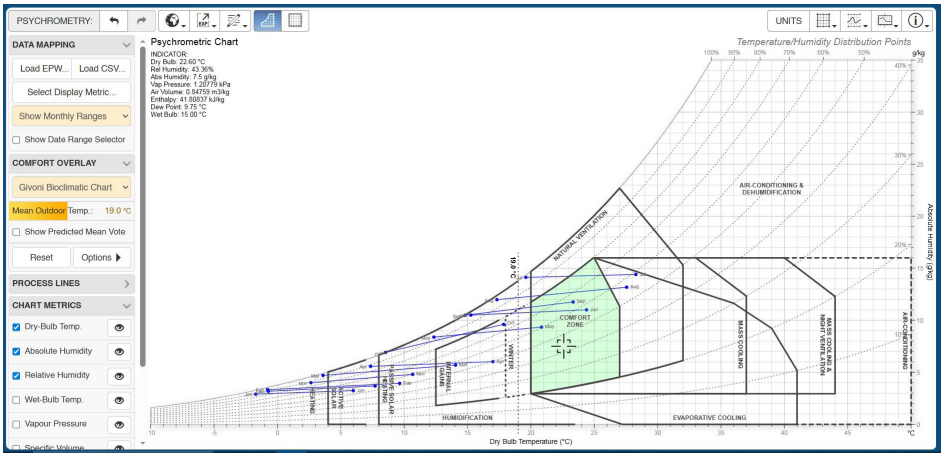
Tab. 7.3; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante l'indice di stress termico per attività lavorative all'aperto*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



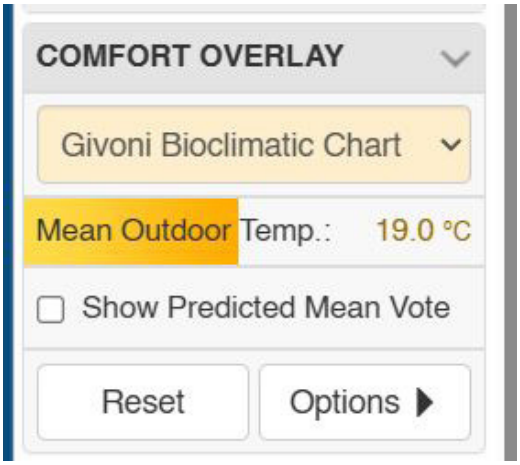
Tab. 7.4; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante il voto medio previsto, secondo lo standard ISO 7730:2005*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



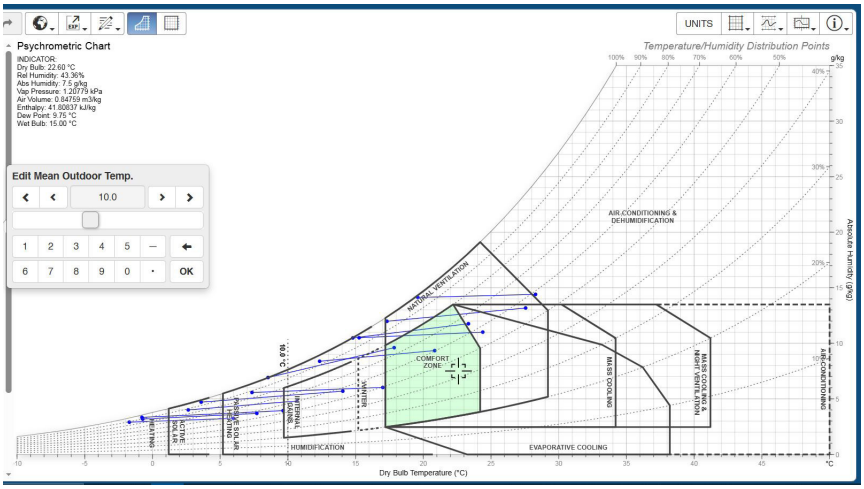
Tab. 7.5; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante la distribuzione delle condizioni termoigrometriche*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



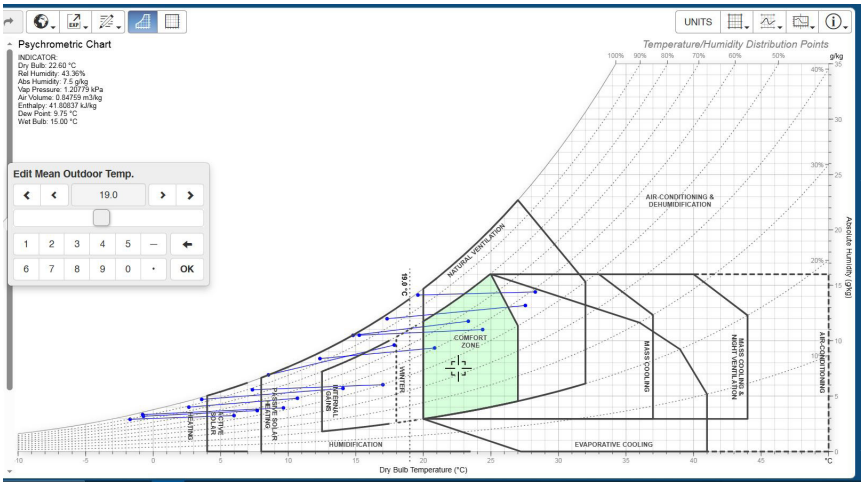
Tab. 7.6; *Diagramma psicrometrico della città di Torino, indicante il range termoigrometrico di ciascun mese*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



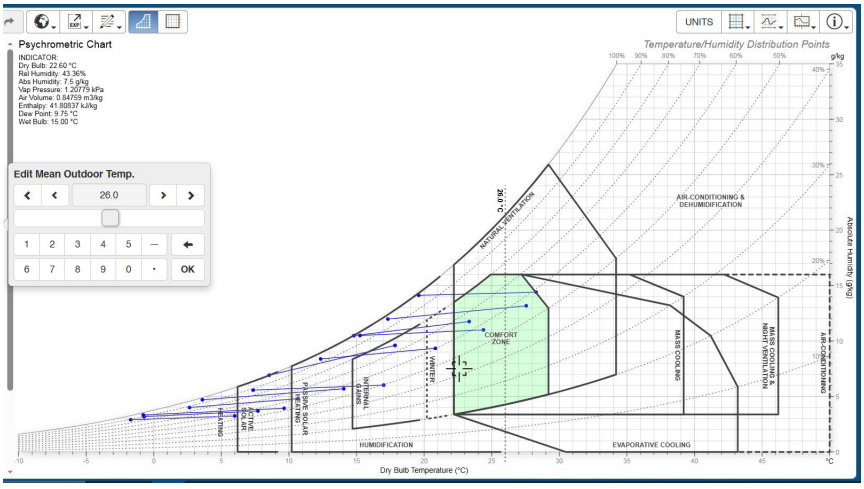
Tab. 7.6a; *Slider della temperatura media esterna*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



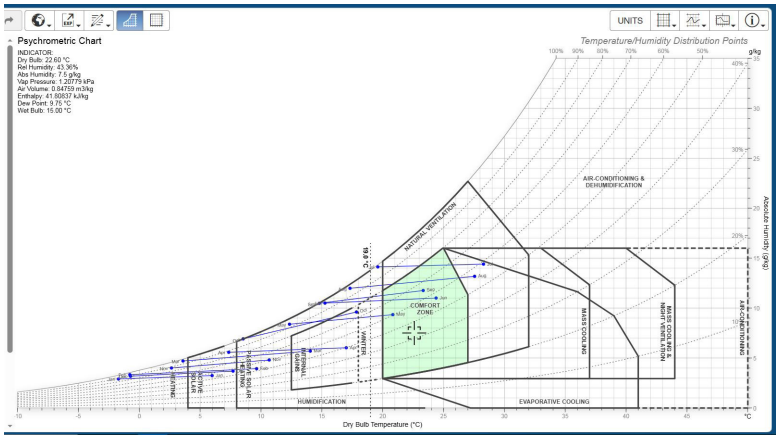
Tab. 7.7; *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 10 °C* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



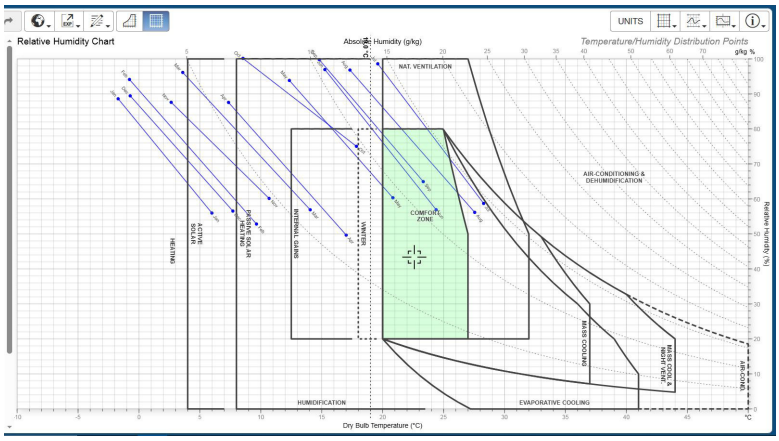
Tab. 7.8; *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 19 °C* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



Tab. 7.9; *Posizione della zona di comfort con temperatura media esterna pari a 26 °C* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



Tab. 7.10; *Diagramma psicrometrico rappresentato con il metodo di Givoni* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.



Tab. 7.11; *Diagramma psicrometrico rappresentato con il metodo di Olgyay* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html.

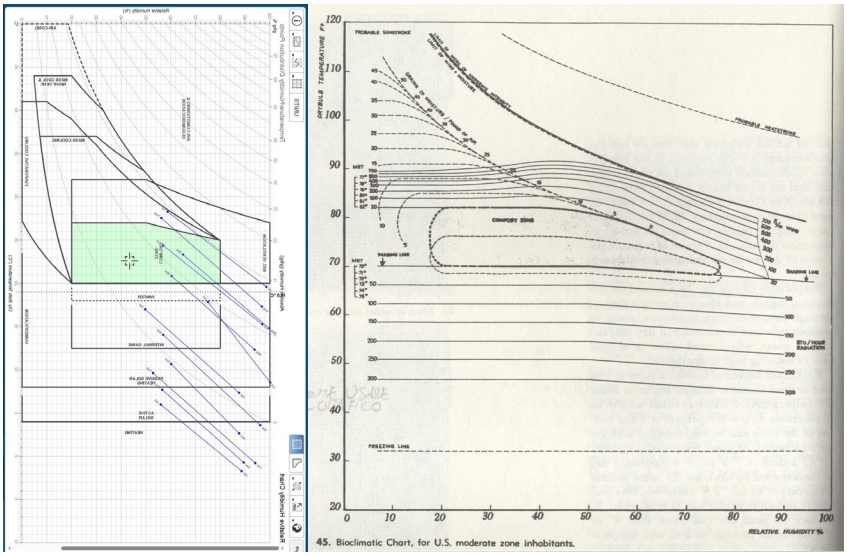


Fig. 7.5; *Comparazione grafica tra il diagramma psicrometrico rappresentato da Andrew Marsh e il grafico bioclimatico di Olgyay*; immagini prese da https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html e *Design with Climate*; pag. 22.

7.3.3 Dynamic Overshadowing

Questa applicazione consente di impostare un punto di vista all'interno di un contesto tridimensionale e di visualizzare come, al suo spostamento, si modifichi la maschera d'ombra (Fig. 7.6). All'interno dell'area centrale, è possibile importare un file 3D esterno, che rappresenti il contesto di progetto. In più, è possibile spostare e modificare liberamente i componenti 3D importati.

Il punto di vista selezionato - in aggiunta alla sua volta celeste - è rappresentato dalla semisfera al centro, mentre a sinistra è possibile notare un diagramma di percorso solare, a cui è sovrapposta la maschera d'ombra del punto selezionato. Le aree nere sono le porzioni degli edifici circostanti che bloccano i raggi del sole. Questa sovrapposizione permette di vedere in quali momenti dell'anno e del giorno il sole risulterà bloccato, dal punto di vista dell'osservatore. Questo modo di rappresentare il punto di vista dell'osservatore è molto simile alle "Foto globoscopiche" (*Globoscope Photograph*) che imitano il punto di vista di un osservatore a livello del terreno (Fig. 7.7), presenti nel manuale *Solar Control and Shading Devices* (1957). Inoltre viene ripresa la sovrapposizione tra la foto globoscopica e il diagramma solare (Fig. 7.6a).

In aggiunta, vengono calcolate automaticamente le percentuali di ostruzione del cielo, secondo due parametri diversi (Tab. 7.24):

1. **Ostruzione del cielo uniforme** (*Uniform Sky Obstruction*)
   Indica la percentuale di volta celeste ostruita considerando un cielo limpido, in cui prevale la radiazione diretta.
2. **Ombreggiatura del cielo coperto** (*Overcast Sky Shading*)
   Indica la percentuale di schermatura considerando un cielo coperto, dove prevale la radiazione diffusa. Di conseguenza, non tutte le porzioni di cielo contribuiscono all'apporto solare allo stesso modo.

All'interno della maschera d'ombra è possibile, inoltre, sovrapporre diverse distribuzioni di luminanza del cielo, cor-

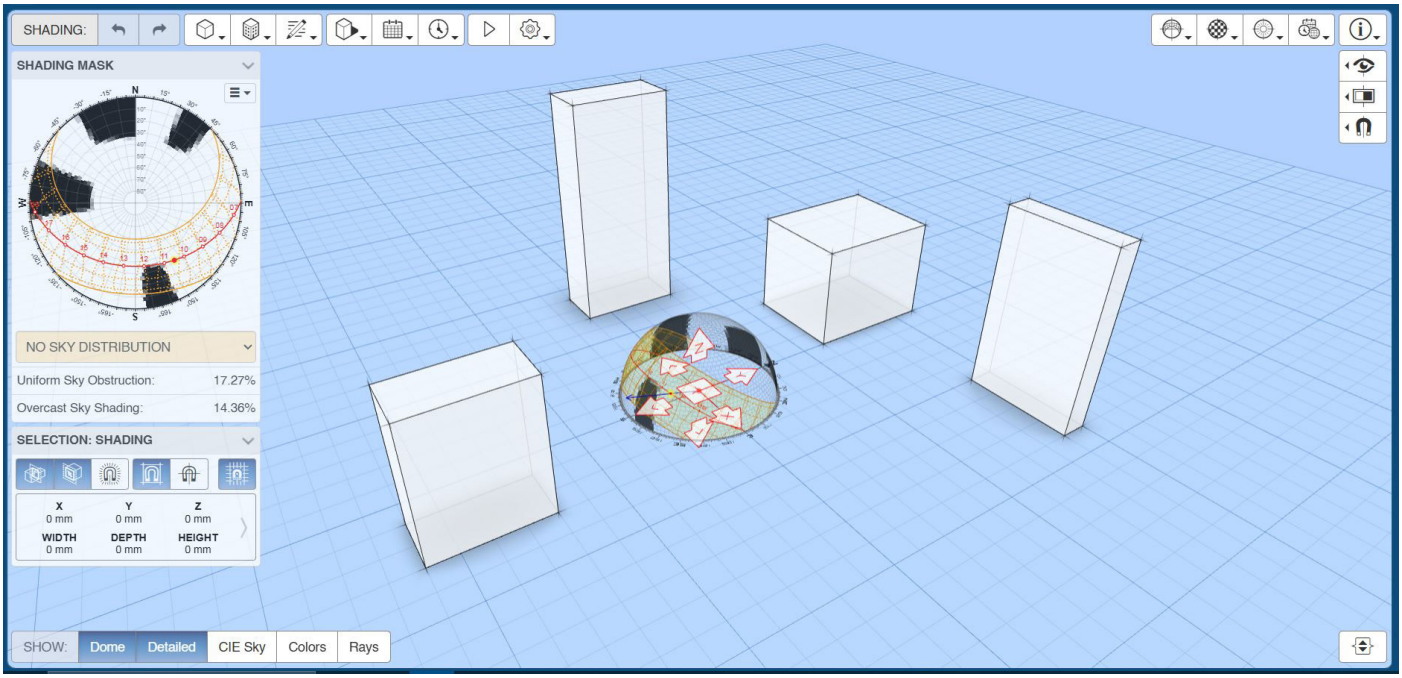


Fig. 7.6; *Schermata di avvio della webapp Dynamic Overshadowing di Andrew Marsh* ; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/shading-box.html.

rispondenti a diverse condizioni atmosferiche come cielo prevalentemente sereno, cielo parzialmente coperto, cielo nuvoloso (Fig. 7.8a, 7.8b e 7.8c).

In questo modo, la maschera d'ombra diventa anche uno strumento che influenza il "peso" della radiazione ricevuta, a seconda delle porzioni di cielo oscurate.
I tre esempi riportati in Fig. 8 (a, b e c) permettono di vedere come viene misurata la luminanza: per ogni punto del cielo viene usato un rapporto di luminanza, che indica il rapporto tra la luminanza allo zenith e quella in quel punto del cielo. Viene usato un rapporto relativo al posto di un valore assoluto, perché le condizioni atmosferiche influenzano la luminanza, mentre un valore relativo permette di rappresentare la distribuzione su tutta la volta celeste.
Tuttavia, l'autore non ha incluso una legenda cromatica che associ a ciascuna gradazione di colore il suo valore relativo. Questo, probabilmente, è stato fatto perché, al cambiare del tipo di cielo, cambia radicalmente il modo in cui si distribuisce la radiazione, quindi cambierebbero molto anche i colori utilizzati.

Un punto di forza di questo strumento è, come negli strumenti precedenti, la dinamicità, in quanto è possibile attivare un'animazione che simula il percorso del sole, cambiando in tempo reale l'effetto della radiazione ricevuta.

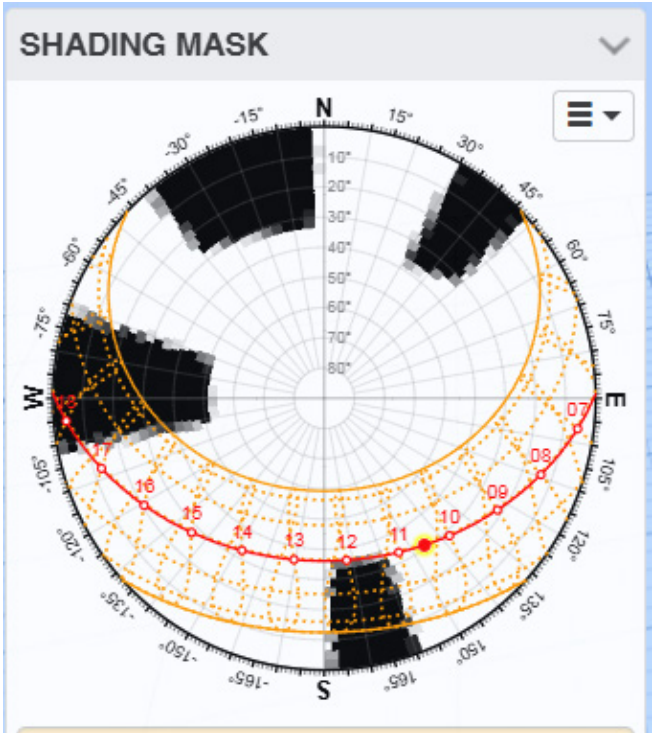


Fig. 7.6a; *Maschera d'ombra sovrapposta a diagramma di percorso solare*; immagine presa da https://drajmarsh.bitbucket.io/shading-box.html.

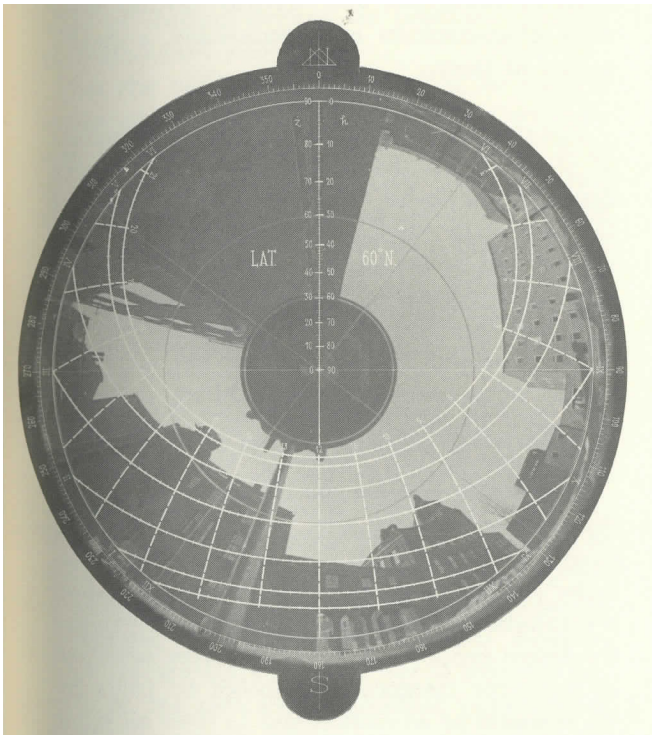


Fig. 7.7; *Foto globoscopica sovrapposta al diagramma di percorso solare*; immagine presa da Olgyay, V., & Olgyay, A. (1957); pag. 47.

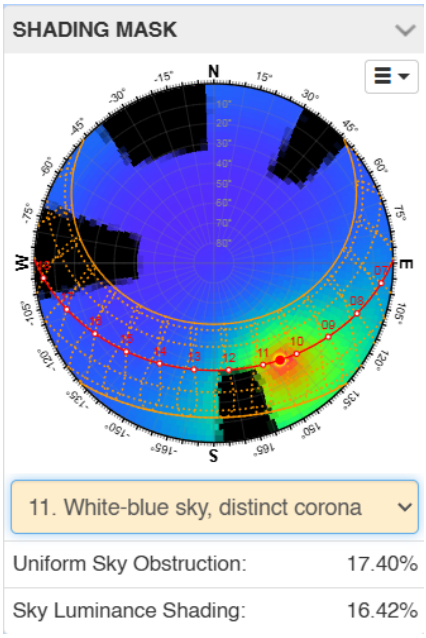


Fig. 7.8a; *Cielo bianco-azzurro, con corona distinta.*

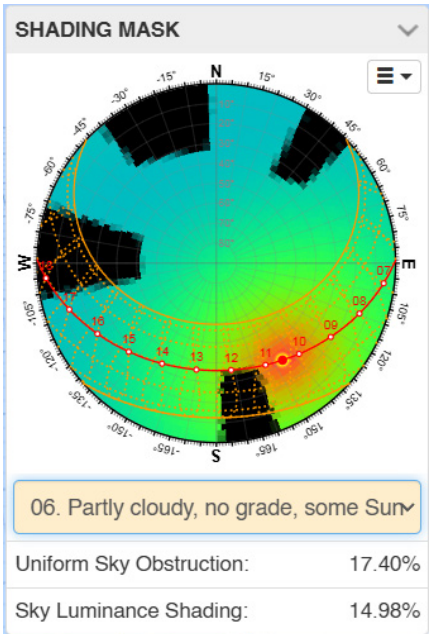


Fig. 7.8b; *Cielo parzialmente nuvoloso con presenza di sole.*

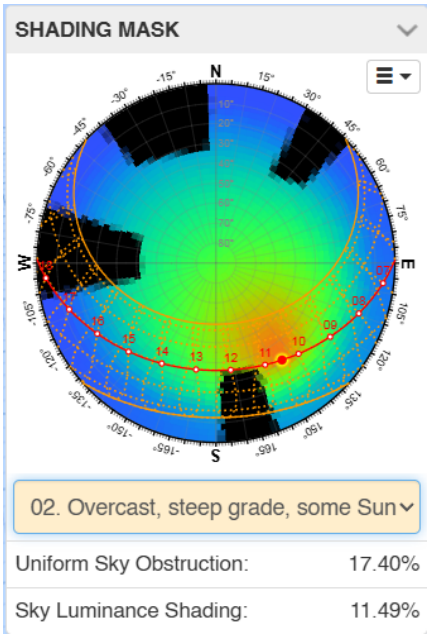


Fig. 7.8c; *Cielo coperto con variazione marcata della lumi-*

Confronto tra tre diverse condizioni di luminanza del cielo applicate alla maschera d'ombra e sovrapposte al diagramma di percorso solare; immagini prese da https://drajmarsh.bitbucket.io/shading-box.html.

7.4 Windfinder

Windfinder è una piattaforma online che fornisce dati e previsioni meteorologiche sull'intensità e sulla direzione del vento, la temperatura e le precipitazioni. Si presenta come una mappa dove è possibile visualizzare graficamente i dati meteorologici.

Ad esempio, il vento viene rappresentato tramite frecce che ne indicano la direzione prevalente (usando i punti cardinali) e la velocità media (in km/s) a seconda delle coordinate che vengono cliccate (Fig. 7.9). La temperatura viene indicata in gradi Celsius (Fig. 7.10), mentre per le precipitazioni viene calcolato quanti millimetri di pioggia cadono, approssimativamente, in tre ore (Fig. 7.11).

In queste figure è stata inquadrata una parte del continente europeo, tuttavia è possibile aumentare la precisione fino ad inquadrare una singola città (Fig. 7.12)

In relazione al vento, Windfinder può essere usato come supporto per calcolare la temperatura percepita, mettendo in relazione la temperatura dell'aria con la velocità del vento.
Nell'esempio in Tab. 7.13, vengono inseriti come dati una temperatura dell'aria pari a 10 °C e una velocità dell'aria pari a 10 km/h. Come risultato (Tab. 7.14), viene calcolata una temperatura percepita di 8,7 °C, valore inferiore a quella di partenza. Inserendo una velocità di 20 km/h, la temperatura si abbassa ancora, scendendo a 7,4 °C. Questo strumento risulta quindi molto utile per comprendere la relazione tra velocità dell'aria e sensazione di fresco.

Su richiesta dell'utente, la piattaforma può inoltre fornire i dati meteo storici di qualunque stazione meteo, che risalgono fino al 1999. L'ottenimento di questi dati avviene su ordinazione e pagamento, mentre i dati relativi fino a sette giorni prima sono ottenibili gratuitamente (Fig. 7.13). L'utente può scegliere i para-

metri climatici di cui ha bisogno, le stazioni meteorologiche da usare come riferimento e il periodo temporale da cui leggere i dati. Inoltre, i dati sono scaricati in formato CSV, che può essere importato in software di simulazione energetica, ad esempio lo stesso Psychrometric Chart di Andrew Marsh (vedi capitolo 7.2 della seguente tesi).

Nonostante non sia stato concepito per un utilizzo architettonico, le funzionalità di Windfinder possono essere applicate alla progettazione bioclimatica. Grazie alla mappa del vento e alle previsioni meteorologiche, è possibile studiare la direzione e l'intensità prevalente del vento in una qualsiasi località. Queste informazioni risultano fondamentali per orientare correttamente l'edificio e le aperture, in modo da favorire la ventilazione naturale, quando è richiesta. Inoltre, la presenza di dati meteorologici storici permette di conoscere gli andamenti stagionali di temperatura e precipitazioni del sito di progetto. I dati sulla temperatura possono essere utili nella fase di progettazione dell'involucro edilizio e dell'isolamento termico, mentre i dati sulle precipitazioni possono essere utili per il dimensionamento dei sistemi di raccolta delle acque piovane.

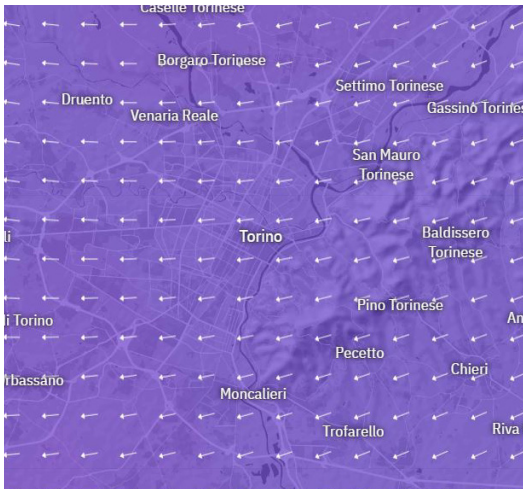


Fig. 7.12; *Ingrandimento alla scala urbana di Torino della rappresentazione del vento in Windfinder*; immagine presa da https://it.windfinder.com.

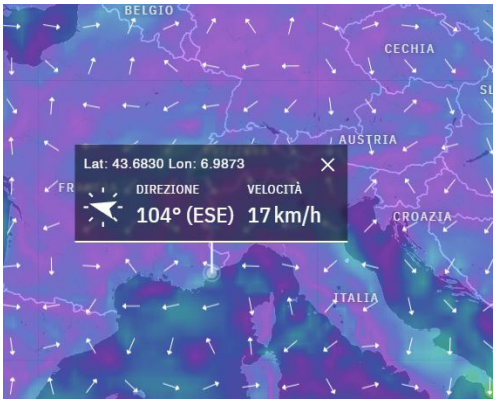


Fig. 7.9; *Rappresentazione della velocità e della direzione del vento all'interno di Windfinder*; immagine presa da https://it.windfinder.com.



Fig. 7.10; *Rappresentazione della temperatura dell'aria all'interno di Windfinder*; immagine presa da https://it.windfinder.com.

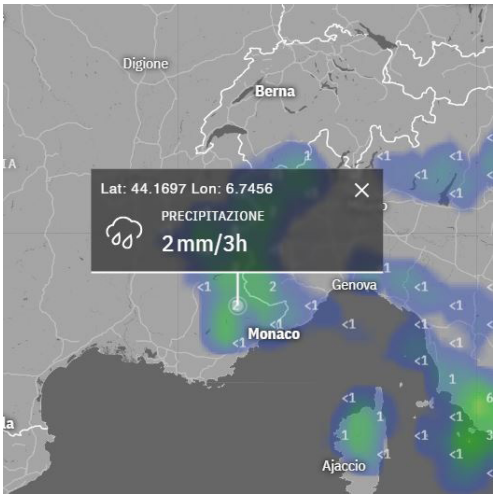
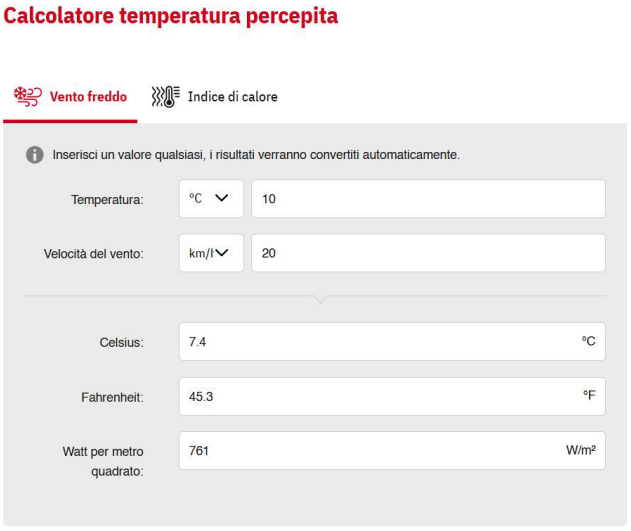


Fig. 7.11; *Rappresentazione della quantità di precipitazione all'interno di Windfinder*; immagine presa da https://it.windfinder.com.



Tab. 7.12a



Tab. 7.12b

Esempio di calcolo della temperatura percepita a partire da una temperatura dell'aria di 10 °C, con variazione del risultato in funzione dell'aumento della velocità del vento da 10 km/h (Tab. 7.12a) a 20 km/h (Tab. 7.12b); immagini prese da https://it.windfinder.com/wind/windspeed.htm.



Fig. 7.13; *Sezione "Bollettino" di Windfinder per l'Aeroporto di Torino, con dati meteorologici in tempo reale e andamento della velocità e della direzione del vento*; immagine presa da https://it.windfinder.com/report/tornino_aeroporto.

7.5 Conclusioni

In conclusione, l'analisi dei software presentati permette di affermare che la ricerca tecnologica non ha necessariamente confutato la metodologia dei fratelli ungheresi, ma ne ha ampliato l'applicabilità trasformandolo i grafici statici in strumenti dinamici e interattivi. Dei tre strumenti, BcChart v2.0 rappresenta l'applicazione più diretta della metodologia Olgyay, poiché ne utilizza il grafico bioclimatico ma ne amplia l'uso con l'aggiunta del parametro della radiazione solare. Infine, dimostra l'efficacia del metodo per un'analisi preliminare ma ne evidenzia i limiti. Le applicazioni di Andrew Marsh costituiscono l'evoluzione dei grafici e degli strumenti di Olgyay, poiché rendono tridimensionali e interattivi i diagrammi solari e bioclimatici, permettendo di comprenderne meglio l'utilizzo. Windfinder, pur non essendo stato concepito con il metodo Olgyay alla base, espande molto la possibilità di svolgere un'analisi climatica di una zona anche molto ristretta e risulta quindi uno strumento utilizzabile come supporto alla progettazione.

8. Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro di tesi è stato verificare se il metodo Olgyay possa essere ancora considerato valido come strumento di lettura climatica. La ricerca storica ha messo in luce come i fratelli Olgyay considerassero il clima come un parametro che influenza il processo progettuale: in questo senso, il loro approccio risulta rilevante ancora oggi, perché ha permesso di collegare in modo diretto dati climatici, strategie architettoniche e comfort termoigrometrico, trasformando elementi come la temperatura, l'umidità, la radiazione solare e il vento in parametri di progetto. L'analisi dei casi studio ha mostrato come i principi bioclimatici possano essere applicati in modi diversi a seconda del clima, della scala dell'intervento e del periodo storico considerato. Nei primi edifici progettati dagli Olgyay, la residenza Tschögl e lo stabilimento Stühmer, il controllo ambientale si manifesta attraverso strategie ancora legate all'orientamento, al controllo solare e alla costruzione di involucri capaci di filtrare le condizioni esterne. Nei casi successivi, questi principi vengono progressivamente reinterpretati ed espansi: dalla porosità della casa Ena de Silva alla massa termica della Parekh House, dal muro di Trombe della Kelbaugh House alla leggerezza regolabile della Magney House, fino ad arrivare alla Commerzbank Tower e al Grattacielo Intesa Sanpaolo, dove l'approccio bioclimatico viene integrato con sistemi tecnologici più complessi e con l'uso di risorse rinnovabili.

Lo studio degli scritti successivi ha confermato che il metodo Olgyay non è rimasto invariato nel tempo, ma è stato ripreso, ampliato e criticato da altri autori. Manuali e articoli successivi ne riconoscono il valore fondativo, ma ne evidenziano anche i limiti, soprattutto quando il grafico bioclimatico originario viene applicato a condizioni climatiche e a tipologie edilizie molto diverse da quelle per cui era stato originariamente pensato. Da questo punto di vista, il metodo appare efficace come struttura logica di partenza, ma non sufficiente, da solo, a descrivere la complessità del comportamento reale di un edificio. La necessità di considerare le condizioni esterne, carichi termici, materiali, uso degli ambienti e variazioni nella velocità dell'aria dimostra, infatti, come l'approccio bioclimatico contemporaneo richieda strumenti più dinamici e articolati.

L'applicazione del metodo alla città di Torino, attraverso BcChart v2.0, ha permesso di verificare concretamente questa doppia natura del metodo Olgyay. Da un lato, l'analisi conferma la sua utilità come strumento preliminare di analisi climatica, capace di individuare le principali esigenze di comfort e di orientare le strategie progettuali più adatte. Dall'altro lato, proprio l'uso del software mostra come il metodo debba essere aggiornato e integrato con dati più precisi, procedure automatizzate e strumenti capaci di rappresentare meglio la complessità del clima locale. Nel caso torinese, il metodo consente di riconoscere la prevalenza delle esigenze di riscaldamento e conservazione del calore, ma anche la necessità di controllo solare e ventilazione naturale durante i mesi estivi.

L'analisi degli strumenti di analisi contemporanei conferma infine che la ricerca tecnologica non ha reso obsoleto il metodo Olgyay, ma ne ha trasformato il campo di applicazione. Infatti, software come BcChart v2.0, gli strumenti di Andrew Marsh e Windfinder mostrano come i grafici e le procedure elaborate dai due fratelli possano oggi essere reinterpretati in forma dinamica, interattiva e più facilmente applicabile a contesti reali. Tuttavia, questi strumenti non eliminano la necessità di una lettura critica da parte del progettista: i risultati ottenuti devono essere considerati come un supporto all'analisi preliminare, non come delle risposte definitive.

In conclusione, il metodo Olgyay mantiene la propria validità non tanto come procedura da applicare in modo letterale, ma come base teorica e metodologica per comprendere il rapporto tra clima, comfort e progetto. La sua attualità risiede nella capacità di impostare una domanda ancora centrale per l'architettura contemporanea: come può l'edificio lavorare con le risorse naturali disponibili, invece di opporsi ad esse?
Alla luce del percorso svolto, si può quindi affermare che il metodo Olgyay conserva un valore operativo e culturale, purché venga interpretato come strumento di orientamento progettuale, da integrare con dati aggiornati, simulazioni digitali e una maggiore consapevolezza delle condizioni specifiche del luogo e dell'edificio.

9. Bibliografia

Autori vari. (2014). Beyond architecture: New intersections and connections: Proceedings of the ARCC/EAAE International Conference on 2014 architectural research. Honolulu, HI: University of Hawaiʻi at Manoa.

Autori vari. (2025). Fragments of a theoretical discourse in architectural design research. Milano: *Fuoco Amico 10*, MMXII Press.

Barber, D. A. (2020). *Modern architecture and climate: Design before air conditioning*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Correa, C. M. (1980). Form follows climate. *Architectural Record*, 7, 96. New York, NY: McGraw-Hill.

Douvlou, E. D. (2003). Climatic responsive design & occupant comfort: The case of the atrium building in a Mediterranean climate. Sheffield: University of Sheffield.

Foster, N. (1996). Commerzbank headquarters, Frankfurt. *Oz*, 18, Article 9. Manhattan, KS: New Prairie Press, Kansas State University.

Frampton, K. (2018). The work of Charles Correa. In M. Feichtner & S. Piel (Eds.), *Mumbai Ahmedabad: Ein Einblick in die traditionelle und zeitgenössische Architektur von Indien* (p. 264). Zürich: ETH Zürich, Professur Gigon/Guyer.

Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture* (2nd ed.). Ripple Road, Barking, Essex: Applied Science Publishers.

Grosso, M. (2017). *Il raffrescamento passivo degli edifici in zone a clima temperato* (4ª ed.). Santarcangelo di Romagna: Maggioli Editore.

Herb, S. (2024). *Beyond the bioclimatic chart: An automated simulation-based method for assessing natural ventilation and passive design potential*. Stuttgart: University of Applied Sciences Stuttgart.

Izard, J.-L., & Guyot, A. (1979). *Archi bio: Architettura bioclimatica*. Milano: Clup.

Košir, M., & Pajek, L. (2017). *BcChart v2.0: A tool for bioclimatic potential evaluation*. Ljubljana: University of Ljubljana.

Leatherbarrow, D., & Wesley, R. (2014). Performance and style in the work of Olgyay and Olgyay. Cambridge: Cambridge University Press.

Lepratti, C. (2018). Caratteri permanenti dell’architettura sostenibile. *Sustainable Design and Construction*, 3. Genova: Genova University Press.

Moffitt, L. (2019). Victor and Aladár Olgyay’s thermoheliodon: Controlling climate to reduce climate control. *Architectural Research Quarterly, 23(3), 255-266*. Cambridge: Cambridge University Press.

Olgyay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Woodstock, Oxfordshire: Princeton University Press.

Olgyay, V., & Olgyay, A. (1957). *Solar control and shading devices*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Rogora, A. (2012). Progettazione bioclimatica per l'architettura mediterranea. In G. Scudo & A. Rogora (Eds.), *Architettura edilizia sostenibilità*. Milanofiori Assago: Wolters Kluwer Italia.

Sachs, A. (2018). *Environmental design: Architecture, politics and science in postwar America*. Charlottesville, VA: University of Virginia Press.

Sayad, B., et al. (2022). Designing for optimum thermal comfort using bioclimate simulation and analysis as an urban and architectural design and educational support tool. *International Journal of Low-Carbon Technologies*.

Sayigh, A. A. M., & Alajlan, S. (1995). *Bioclimatic approach to building design*. Hatfield: University of Hertfordshire.

Szymosz, T. (2018). *Computational design process in bioclimatic architecture: Optimization of comfort and energy performance*. Lisbona: Técnico Lisboa.

Topaloğlu, B. (2003). *Solar envelope and form generation in architecture*. Ankara: Middle East Technical University.

Watson, D. (1981). Analysis of weather data for determining appropriate climate control strategies in architectural design. In R. Haisley (Ed.), *International Passive and Hybrid Cooling Conference*. Coral Gables, FL: Florida Solar Energy Association.

10. Sitografia

https://en.wikipedia.org/wiki/Victor_Olgyay
(Ultima consultazione: 16/06/2026)

https://grokipedia.com/page/victor_olgyay
(Ultima consultazione: 16/06/2026)

https://es.wikipedia.org/wiki/Alad%C3%A1r_Olgyay
(Ultima consultazione: 16/06/2026)

https://www.nytimes.com/1970/04/23/archives/victor-olgyay-59-architect-dead-princeton-faculty-member-designed.html
(Ultima consultazione: 16/06/2026)

https://www.re-thinkingthefuture.com/rtf-architectural-reviews/a8866-book-in-focus-design-with-climate-bioclimatic-approach-to-architectural-regionalism-by-victor-olgyay/
(Ultima consultazione: 16/06/2026)

https://www.fosterandpartners.com/insights/plus-journal/bioclimatic-architecture
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://en.wikipedia.org/wiki/Tsch%C3%B6gl_Building
(Ultima consultazione: 10/06/2026)

https://pestbuda.hu/en/cikk/20211129_sweet_life_in_happy_times_of_peace_the_stuhmer_factory_from_foundation_to_nationalisation
(Ultima consultazione: 10/06/2026)

https://urbanistak.hu/olgyay-viktor-es-olgyay-aladar/
(Ultima consultazione: 10/06/2026)

https://www.sundaytimes.lk/160731/plus/the-house-that-bawa-built-that-bawa-trust-rebuilt-202772.html
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://geoffreybawa.myshopify.com/products/gbt-drawing-poster-ena-house-plan
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://www.instagram.com/p/DDT2RZyzAdS/?img_index=7
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://www.wallpaper.com/architecture/residential/ena-de-silva-house-geoffrey-bawa-sri-lanka
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://architecture-history.org/architects/architects/BAWA/OBJ/1962,%20Ena%20de%20Silva%20House,%20Colombo,%20Sri%20Lanka.html
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://www.aljazeera.com/features/2016/9/20/sri-lanka-ena-de-silvas-moving-house
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://geoffreybawa.com/number-05
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://charlescorreafoundation.org/2022/03/13/parekh-house/
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://www.australiandesignreview.com/architecture/revisiting-the-residential-work-of-charles-correa/
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://charlescorreafoundation.org/2022/03/13/parekh-house/
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://www.witoldrybczynski.com/architecture/douglas-kelbaugh-1945-2023/
(Ultima consultazione: 4/06/2026)

https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/19/the-planet-is-the-client/33741/the-kelbaugh-house
(Ultima consultazione: 4/06/2026)

https://www.motherearthnews.com/sustainable-living/green-homes/passive-solar-house-design-zmaz77zlan/
(Ultima consultazione: 4/06/2026)

https://www.nytimes.com/1975/11/16/archives/sun-to-heat-a-princeton-home.html
(Ultima consultazione: 4/06/2026)

https://centralnjmodern.wordpress.com/princeton-modern/kelbaugh-solar-house/
(Ultima consultazione: 4/06/2026)

https://hiddenarchitecture.net/ungreen-trombe-wall/
(Ultima consultazione: 6/06/2026)

https://www.southcoasthistory.org.au/history-stories-nsw-south-coast/magney-house-bingie-bingie
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://ofhouses.com/post/717811983362195456/1048-glenn-murcutt-magney-house-bingie
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://plansmatter.com/view-rentals/magney-house-bingie-nsw-australia
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://www.ozetecture.org/magney-house-bingie-point
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://www.area-arch.it/magney-house/
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://arxiubak.blogspot.com/2014/09/magney-house-glenn-murcutt.html
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://ofhouses.com/post/717811983362195456/1048-glenn-murcutt-magney-house-bingie
(Ultima consultazione: 7/06/2026)

https://www.urbansystems.design/commerzbank-hq-frankfurt-germany
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://www.bernerzeitung.ch/berner-retten-frankfurts-gruenes-wahrzeichen-775089086668
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://alustory.international-aluminium.org/green-building/commerzbank-building/
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://www.fosterandpartners.com/projects/commerzbank-headquarters
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://www.archiweb.cz/en/b/commerzbank-headquaters
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://architizer.com/projects/commerzbank-1/
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://alustory.international-aluminium.org/green-building/commerzbank-building/
(Ultima consultazione: 12/06/2026)

https://www.majowiecki.com/grattacielo-intesa-sanpaolo/se5c49e46
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://torino.repubblica.it/cronaca/2015/10/08/news/torino_il_grattacielo_intesa_sanpaolo_e_il_piu_ecologico_d_europa-124607019/
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://group.intesasanpaolo.com/it/sezione-editoriale/sedi-intesa-sanpaolo-milano-torino/grattacielo-intesa-sanpaolo/serra-bioclimatica
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://www.intermediariassicurativi.it/iass-distribuzione-assicurativa/iass-news/iass-patrimonio-immobiliare-assicurativo/grattacielo-intesa-san-paolo-super-green.html
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://www.museotorino.it/view/s/847281523d75490cb4a92442f1eb5e31
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://www.leca.it/referenze/grattacielo-intesa-sanpaolo-torino/
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://www.fondazionerenzopiano.org/it/project/intesa-sanpaolo-office-building/
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://www.promozioneacciaio.it/realizzazioni/torre-intesa-san-paolo/
(Ultima consultazione: 21/06/2026)

https://it.wikipedia.org/wiki/British_thermal_unit
(Ultima consultazione: 26/06/2026)

https://www.solerpalau.com/blog/it-it/umidita-relativa-assoluta-e-specifica/
(Ultima consultazione: 9/01/2026)

https://www.sydney.edu.au/medicine/museum/mwmuseum/index.php/Lee,_Douglas_Harry_Kedgwin#:~:text=From%20Faculty%20of%20Medicine%20Online,in%20hot%20and%20humid%20climates.
(Ultima consultazione: 2/04/2026)

https://www.nytimes.com/1993/02/19/nyregion/a-p-gagge-85-a-biophysicist-and-researcher.html
(Ultima consultazione: 2/04/2026)

https://www.nae.edu/19579/19581/51314/51343/188533/A-PHARO-GAGGE-19081993
(Ultima consultazione: 2/04/2026)

https://adp.uq.edu.au/article/2024/07/vale-steve-szokolay
(Ultima consultazione: 15/06/2026)

https://architectureau.com/articles/Vale-steve-szokolay/
(Ultima consultazione: 15/06/2026)

https://en.wikipedia.org/wiki/Wladimir_K%C3%B6ppen
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://en.wikipedia.org/wiki/Rudolf_Geiger
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://www.britannica.com/biography/Rudolf-Oskar-Robert-Williams-Geiger
(Ultima consultazione: 30/06/2026)

https://www.meteo.dfg.unito.it/meteo.php
(Ultima consultazione: 26/06/2026)

https://andrewmarsh.com/
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://andrewmarsh.com/software/
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://drajmarsh.bitbucket.io/shading-box.html
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://it.windfinder.com
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://it.windfinder.com/wind/windspeed.htm
(Ultima consultazione: 24/06/2026)

https://it.windfinder.com/report/tornino_aeroporto
(Ultima consultazione: 24/06/2026)