

**POLITECNICO DI MILANO**



**FACOLTA DI ARCHITETTURA E SOCIETA**

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA  
IN ARCHITETTURA**

**PHRESH HOUSING, ATENE-PROGETTO RESIDENZA  
BIO-CLIMATICA**

***SPERIMENTAZIONE DELL'APPLICAZIONE DI SISTEMI DI GUADAGNO  
SOLARE DIRETTO E RAFFRESCAMENTO EVAPORATIVO PASSIVO,  
SIMULAZIONE E VERIFICA TERMO-ENERGETICA DEL MODELLO B.I.M  
ATTRAVERSO LA CONVERSIONE IFC***

**(PHRESH - Passive Hybrid Residential Evaporation-cooling e Solar Heat-gain)**

Tesi di Laurea di:

**ANAFI AMIT**

**Matr:711984**

**BITSIANIS GEORGIOS**

**Matr:711955**

Relatore

**prof.Ezio Arlati**

Anno Accademico: 2009-2010

## Sommario

|   |           |
|---|-----------|
| <b>SOMMARIO</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>INTRODUZIONE</b> .....   | <b>5</b>  |
| <b>LA SCELTA DELL'ARGOMENTO – PERCHÉ ARCHITETTURA BIOCLIMATICA?</b> .....   | <b>5</b>  |
| <i>Percorso formativo</i> .....   | 5         |
| <i>La scelta del luogo –Atene</i> .....                                     | 7         |
| <b>OBIETTIVI</b> .....  | <b>8</b>  |
| <b>METODO E SVOLGIMENTO</b> .....   | <b>8</b>  |
| <i>Analisi del quartiere Metaxourgeion</i> .....                            | 9         |
| Analisi storica .....   | 9         |
| Gli anni del declino .....  | 18        |
| Lettura del territorio .....  | 19        |
| Analisi climatica .....   | 19        |
| Lettura della struttura urbana .....  | 20        |
| L'ambiente costruito .....  | 22        |
| Uso del Suolo .....   | 25        |
| Cenno al regolamento edilizio vigente nel centro di Atene .....             | 26        |
| Uso del suolo .....   | 26        |
| Analisi sociologica .....   | 27        |
| Metaxourgeion Oggi - Aspetti demografici .....                              | 27        |
| Problematiche del quartiere .....   | 28        |
| Nuove Prospettive .....   | 28        |
| <b>IL PROGETTO</b> .....  | <b>29</b> |
| <i>Concept</i> .....  | 29        |
| <i>Sistema costruttivo</i> .....  | 29        |
| <i>Funzionamento dei sistemi bioclimatici</i> .....                         | 31        |
| Giorno estate .....   | 31        |
| Notte estate .....  | 32        |
| Giorno inverno .....  | 32        |
| Notte inverno .....   | 33        |
| <i>Scelte tecnologiche e architettoniche</i> .....                          | 33        |
| L'edificio è l'impianto .....   | 33        |
| Forma degli edifici e posizionamento sui siti .....                         | 34        |
| Fattori influenti sul comfort igrotermico .....                             | 35        |
| Fattori ambientali incidenti sul comportamento termico degli edifici .....  | 35        |
| Fattori strutturali incidenti sul comportamento termico degli edifici ..... | 36        |
| Resistenza termica degli involucri edilizi .....                            | 36        |
| Proprietà radiative delle superfici edilizie .....                          | 37        |
| Inerzia termica .....   | 37        |
| I PCM - Phase Change Materials .....  | 38        |

|   |           |
|---|-----------|
| Chiusure verticali opache .....                           | 39        |
| Chiusure trasparenti .....                                | 40        |
| Sistema di guadagno solare diretto .....                  | 40        |
| Serramenti e vetrazioni .....                             | 42        |
| Sistemi di schermatura solare .....                       | 44        |
| Il raffrescamento passivo degli edifici .....             | 45        |
| Raffrescamento evaporativo .....                          | 46        |
| Raffrescamento ventilativo .....                          | 47        |
| Raffrescamento geotermico .....                           | 48        |
| Raffrescamento passivo ad evaporazione d'acqua. ....      | 49        |
| Origini.....  | 50        |
| Principi e strategie.....                                 | 52        |
| Applicazioni moderne – sistemi e componenti .....         | 53        |
| Sistemi di guadagno indiretto – Panelli fotovoltaici..... | 54        |
| Sistema costruttivo .....                                 | 55        |
| La scelta del materiale – il Legno. ....                  | 55        |
| Il legno lamellare .....                                  | 57        |
| Norme tecniche di riferimento.....                        | 58        |
| <b>BIBLIOGRAFIA.....</b>                                  | <b>59</b> |

## Indice delle figure

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: La serra solare sperimentata durante il laboratorio di costruzione.....  | 6  |
| Figura 2: tavola riassuntiva, laboratorio di costruzione .....   | 7  |
| Figura 3: La prima illustrazione del centro commerciale, in via di costruzione e della residenza Cantacuzenos (da: Fr. Stademann, Panorama von Athen).....   | 10 |
| Figura 4: Una sezione della mappa di Atene del 1837 secondo Aldenhoven; le aree evidenziate corrispondono ai quattro lotti abbandonati di via Millerou, all'incrocio stradale al Dipylon e la fortezza di Haseki.....  | 11 |
| Figura 3: sezione della mappa francese di Atene del 1853/4 (Dépôt de la Guerre). Le aree evidenziate corrispondono ai quattro lotti abbandonati e al frutteto della seteria sulla via Millerou (allora denominata Kerameikou), alla vecchia strada per Sepolia e all'incrocio stradale Dipylon (da:L. & R. Matton, Athènes et ses monuments du XVIIe s. À nos jours, Athens 1963). ..... | 12 |
| Figura 4: sezione della mappa di Atene nel 1862, realizzata dall'ufficiale tedesco C. Von Stranz. La zona di Omonoia è già costruita. Il lotto della seteria è evidenziato unificato a quello adiacente verso Sud Est. All'angolo tra via Millerou e via Piraeus sono evidenti l'edificio dell'orfanotrofo e, più a Sud, sulla via Piraeus, il gasometri (Gazi).....                     | 13 |
| Figura 5: una sezione della mappa di Atene realizzata da J.A. Kaupert nel 1875. Le aree evidenziate corrispondono alla zona industriale della città (basandosi sulle guide dell'epoca), alla seteria e all'orfanotrofo, ai limiti dell'espansione della città verso ovest. .   | 14 |
| Figura 6: sezione della mappa francese di Atene realizzata nel 1896 (della guida Joannes, Hachette et Cie); le aree evidenziate corrispondono alle zone delle fabbriche ruote per carrozze in via Sarri, Lefkoriou, Asomaton e Millerou.....   | 15 |
| Figura 7: gli impianti industriali nel quartiere Metaxourgeion nel 1930. ....  | 16 |
| Figura 8: "Fabbrica dell'automobile" (nel 1997 era un'officina) in Via Millerou 54: prova vivente di una storia lunga ma dimenticata. ....   | 17 |
| Figura 9: Diagramma solare di Atene .....  | 19 |
| Figura 10: Una pianta di Atene disegnata dal console francese Louis François Sébastien Fauvel, poco prima del 1800.....  | 20 |
| Figura 11: I viali forniti da von Klenze sono segnati come "Boulevard des neuen Stadtplans" in questa pianta topografica di Atene, disegnata nel 1841 da P. W. Forschammer.....  | 21 |
| Figura 10: Lo sviluppo della città di Atene fino alla fine del 1870' come descritto nel piano Kaupert, pubblicato nel 1881 .....   | 22 |
| Figura 15: Palazzo residenziale .....  | 23 |
| Figura 16: edilizia residenziale anni '60-'70 .....  | 23 |
| Figura 17: Villa da due piani, recentemente ristrutturata .....  | 23 |
| Figura 18: Villetta recentemente restaurata .....  | 23 |
| Figura 19: Coesistenza nuovo, vecchio .....  | 24 |
| Figura 20: Progetto edilizio di recente realizzazione.....   | 24 |
| Figura 21: Palazzi abbandonati .....   | 24 |
| Figura 23: Modesta residenza da un piano in stato di abbandono.....  | 25 |
| Figura 22: Il restauro della vecchia seteria (ospiterà la nuova pinacoteca comunale) .....   | 25 |
| Figura 24: solaio in legno lamellare .....   | 30 |
| Figura 25: EM2N_Hegianwandweg housing, posa dei solai in legno lamellare .....   | 30 |
| Figura 26: EM2N_Hegianwandweg housing, fasi di costruzione .....   | 31 |
| Figura 24: yazd wind tower .....   | 52 |
| Figura 25: Hassan Fathy. Torri di ventilazione realizzate in Egitto .....  | 52 |
| Figura 26: Torrent research centre, Ahmedabad, India .....   | 52 |

## Introduzione

Il cambiamento climatico e l'esaurimento delle risorse di energia non rinnovabili hanno riportato l'attenzione di molti progettisti su tipologie e tecnologie in grado di offrire risposte soddisfacenti all'esigenza di edilizia a basso impatto ambientale. Un nuovo linguaggio architettonico, che annovera nel proprio dizionario il risparmio energetico, l'uso di materiali ecosostenibili e l'utilizzo di fonti di energia rinnovabile sta progressivamente emergendo evolvendosi e arricchendosi sempre di più. Nascono così diverse scuole di edilizia a basso impatto ambientale. L'approccio ecosostenibile pone l'attenzione sull'uso di materiali naturali, riciclabili, autoctoni e in linea generale poco inquinanti. La scuola di architettura bioclimatica è quella che si focalizza su soluzioni rivolte alla riduzione dei consumi energetici ricorrendo a fonti di energia rinnovabile quali l'irraggiamento solare, l'energia eolica e quella geotermica.

Al giorno d'oggi acquisisce pertanto particolare importanza la considerazione, nella progettazione di nuove opere architettoniche, di fattori quali il sito e l'ambiente che le ospita, il clima specifico, le materie prime presenti nel territorio e le fonti di energia rinnovabile.

Tutt'ora gli esempi di architettura che usano una tecniche di progettazione bioclimatica sono più diffusi nei paesi del nord dell'Europa oppure in paesi caratterizzati da condizioni climatiche estreme. Questo avviene perché risulta più facile progettare dei sistemi rivolti a rispondere ad esigenze prevalentemente di un tipo (raffrescamento o riscaldamento), tipiche dei climi dominanti.

La nostra volontà era quella di sperimentare una soluzione di edilizia residenziale che utilizzi sistemi per il controllo delle condizioni termiche interne dell'abitazione, in un luogo caratterizzato da un clima temperato, ove la loro applicazione è resa più complessa dalle ampie oscillazioni termiche che rendono necessaria l'integrazione di sistemi di raffrescamento e di riscaldamento.

La progettazione di una residenza caratterizzata da un buon livello di comfort termico durante tutto l'arco delle 24 ore, ricorrendo prevalentemente a sistemi bioclimatici di condizionamento, senza metterli in conflitto tra di loro, è stata la sfida che ci siamo posti nella scelta del progetto di tesi.

## La scelta dell'argomento – perché architettura bioclimatica?

### *Percorso formativo*

Il nostro interesse per l'argomento dell'architettura bioclimatica nasce dal corso di Progettazione Ambientale condotto, nel primo anno della laurea specialistica, dal professor Gianluca Brunetti. Le nozioni teoriche e le corrispondenti soluzioni tecniche pratiche ci hanno entusiasmato profondamente e hanno costituito una parte importante del bagaglio teorico con cui abbiamo affrontato il laboratorio di costruzione del secondo anno della specialistica, condotto dai professori Ezio Arlati e Giorgio Novati.

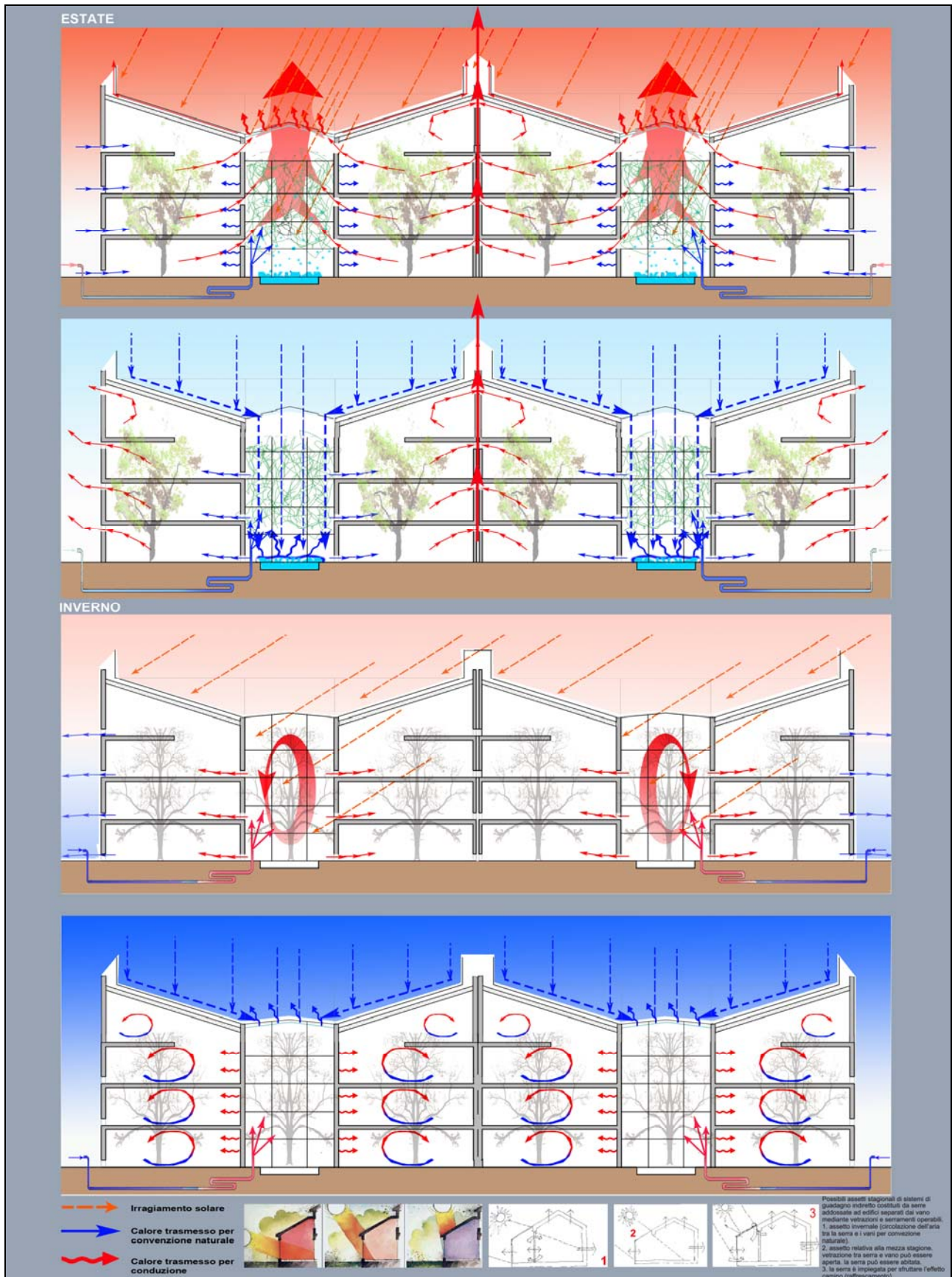
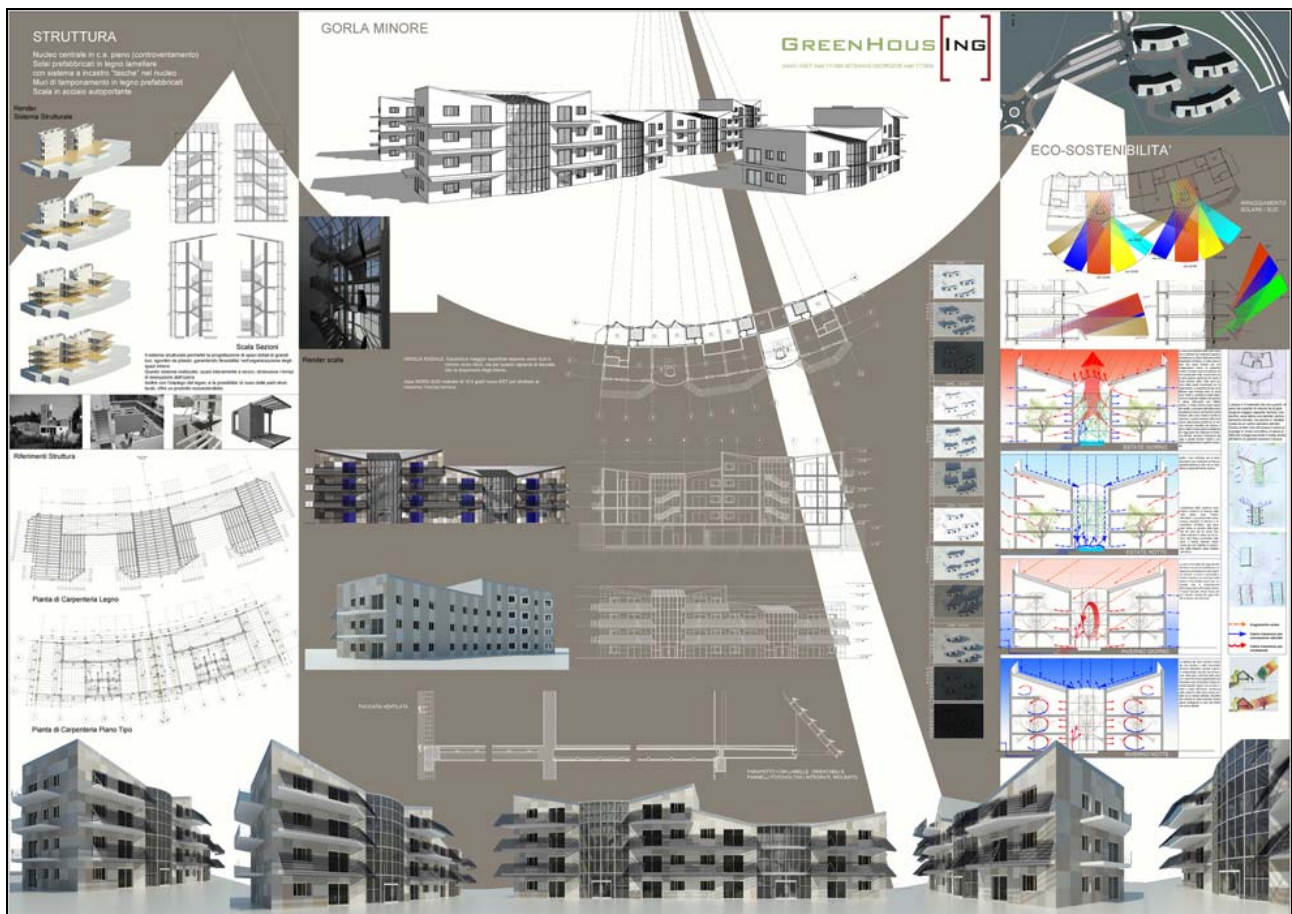


Figura 1: La serra solare sperimentata durante il laboratorio di costruzione



**Il progetto di laboratorio ha previsto l'impiego di una serra solare come sistema di guadagno solare diretto, nonché un approfondimento di altri argomenti riguardanti la progettazione bioclimatica quali la scelta dell'involucro, il comportamento termico estivo ed invernale, la ventilazione naturale e l'applicazione di sistemi di guadagno energetico indiretto (come quello fotovoltaico).**

Il nostro interesse per questo campo, accentuato dal progetto e dallo studio di questi argomenti ma anche dalla nostra convinzione della sua cruciale importanza per il futuro della **società** in generale e dell'**architettura** in particolare, ci ha spinto a scegliere il tema della progettazione bioclimatica e il risparmio energetico come base per il nostro progetto di tesi della laurea specialistica.



**Figura 2: tavola riassuntiva, laboratorio di costruzione**

### ***La scelta del luogo –Atene***

La complessità nella progettazione bioclimatica nelle zone mediterranee è legata, in primo luogo, alle condizioni di clima temperato, caratterizzato da ampie oscillazioni stagionali. Di conseguenza, i sistemi di guadagno energetico e di calore devono essere adeguati a offrire soluzioni efficaci sia nei periodi caldi che in quelli freddi dell'anno. Diversa è la condizione in climi più stabili, quali quelli del Nord Europa o del Sud Est asiatico dove è predominante la richiesta per sistemi di raffrescamento o di riscaldamento, rispettivamente.

Questa complessità, insieme con altri fattori di tipo economico e sociologico, ha probabilmente contribuito alla tuttora scarsa applicazione e sperimentazione di quest'ultimi

nei paesi del mediterraneo, in confronto ad altre aree geografiche. Essendo entrambi originari dai paesi del mediterraneo (Grecia ed Israele) il tema dell'edilizia ecosostenibile in queste zone riveste, naturalmente, per noi, un'importanza particolare.

La nostra volontà di sperimentare tutto il percorso progettuale ci ha spinto a cercare una realtà urbana esistente. Nelle nostre ricerche abbiamo trovato un concorso edilizio per una residenza per studenti, intitolato "Up to 35". Il progetto è situato in pieno centro storico di Atene, nel quartiere Metaxourgeion. Si tratta di un quartiere a carattere misto (produttivo - residenziale) che sta attraversando ultimamente un processo di riqualificazione urbana, in seguito a un periodo storico di declino e degrado.

## Obiettivi

L'obiettivo primario di questa tesi di laurea specialistica è stato la sperimentazione dell'impiego di metodi di costruzione a basso consumo energetico in una zona caratterizzata da clima mediterraneo temperato.

A questo scopo sono stati ipotizzati i seguenti obiettivi specifici:

1. Lo studio del contesto urbano nelle sue caratteristiche climatiche, urbani e sociologiche
2. La progettazione di un edificio residenziale impiegando il software di modellazione tridimensionale orientato oggetti interoperabile
3. Controllo del modello 3D attraverso una simulazione termodinamica per verificarne l'effettivo comportamento termico e l'eventuale risparmio energetico

## Metodo e svolgimento

Partendo dal patrimonio di conoscenza acquisito durante i corsi di progettazione ambientale e laboratorio di costruzione abbiamo deciso di approfondire i concetti dell'architettura bioclimatica, applicandoli a un progetto vero e proprio.

Il percorso scelto, una volta individuato il luogo specifico, è stato quello di analizzarlo e di sviluppare un progetto che prenda in considerazione i processi di raffrescamento e riscaldamento passivo.

I dati climatici derivanti dall'analisi del luogo, ci hanno indirizzati a preferire tre sistemi particolari per poter, teoricamente, raggiungere gli obiettivi di risparmio energetico e la limitazione (forse persino l'annullamento dell'impiego di sistemi di condizionamento tradizionali).

Per il raffrescamento passivo estivo abbiamo ritenuto opportuno l'uso di torri di ventilazione con il metodo di ventilazione ad evaporazione d'acqua in corrente d'aria discendente.

Per quanto riguarda la stagione invernale, abbiamo impiegato un sistema di guadagno solare diretto attraverso vetrazioni posizionati a sud associate a masse d'inerzia termica nei solai e muri di fondo.

Un ulteriore concetto che abbiamo esplorato, importante dal punto di vista ecosostenibile, è la prefabbricazione industrializzata delle membrature edilizie. I vantaggi dell'industrializzazione, dal punto di vista ecosostenibile e bioclimatico, sono rappresentati



dalla riduzione nella quantità di rifiuti normalmente generati in cantiere e l'accurato controllo sulle prestazioni delle singole parti del corpo edilizio, ottenendo standard misurabili sia dal punto di vista strutturale che dal punto di vista termico.

Il passo successivo era di modellare l'edificio con un software BIM per poi utilizzare il linguaggio IFC (Industrial Foundation Classes) per convertire il progetto in un modello che può essere interpretato da un simulatore termodinamico.

Attraverso i risultati del simulatore volevamo verificare se le tecnologie scelte da noi in quanto ritenute opportune ai fini del risparmio energetico, abbiano effettivamente comportato un'efficace riduzione dei consumi energetici.

## ***Analisi del quartiere Metaxourgeion***

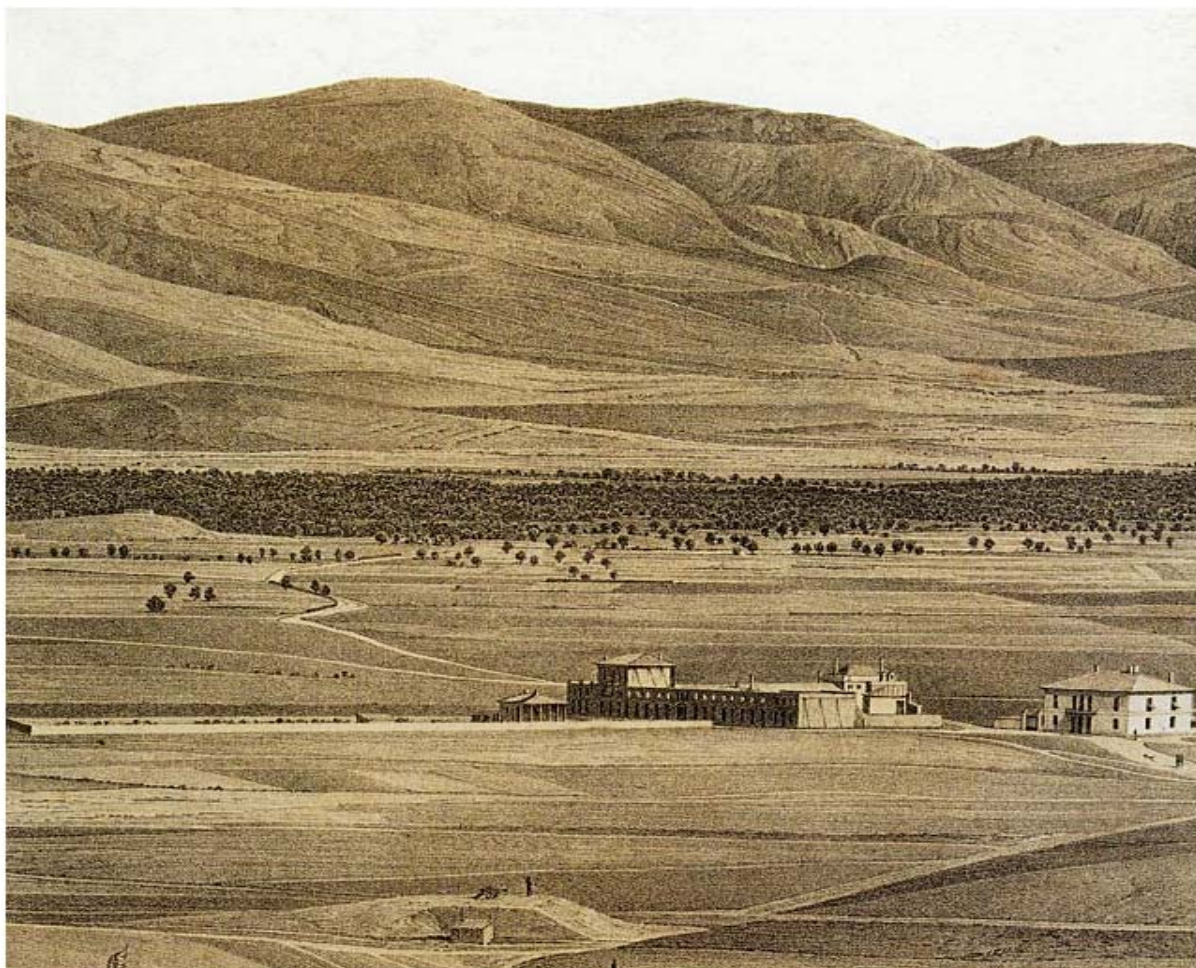
### **Analisi storica**

La storia del quartiere Metaxourgeion parte da quella di un edificio: la "seteria" (in Greco Metaxourgeion) del "Consorzio di seta di Atene di Athanassios Douroutis & Co.

Metaxourgeion si trova appena al di fuori del centro storico di Atene. Si trattava di una zona rurale di campi e frutteti, caratterizzata da due importanti fattori, che ne hanno predisposto lo sviluppo in una specifica direzione.

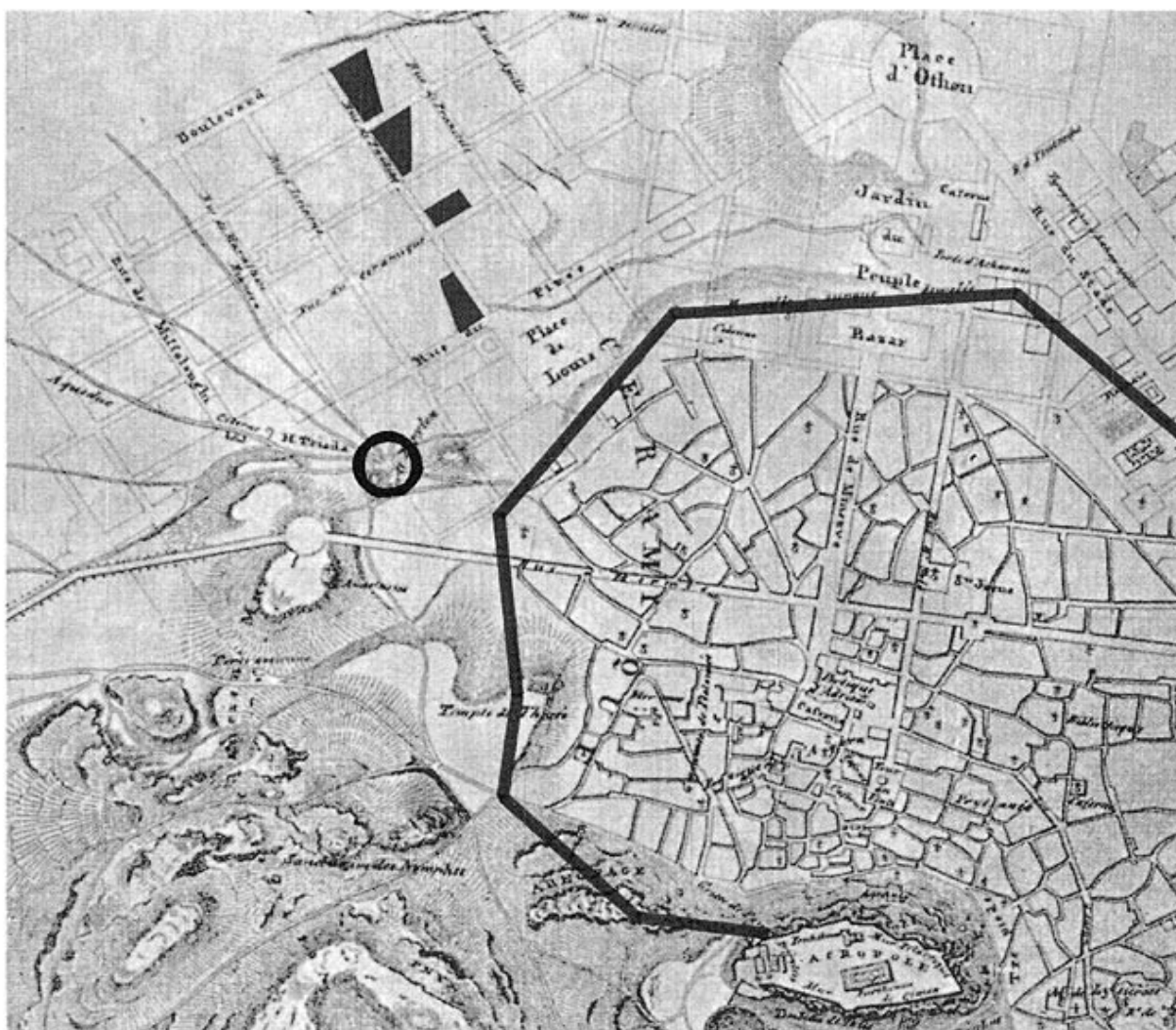
La prima è rappresentata dalla collocazione, a sud, della zona di Dipylon (oggi il sito archeologico di Keramikos), un incrocio di tre importanti assi stradali, provenienti da Eleusis (Iera Odos), Piraeus e Sepolia. La seconda, è l'insediamento dei "fabbricanti zingari" nella zona di Porta Moria (denominata anche la Porta degli Zingari). Pertanto, le funzioni di trasporto e di comunicazione erano già ben rappresentate nella zona, prima ancora che Atene diventasse la capitale della Grecia.

Con la proclamazione di Atene a capitale, l'intera area fu inglobata nella pianificazione urbana della nuova città, dando luogo a nuove prospettive di urbanizzazione. In quel momento, le possibili direzioni di una futura urbanizzazione erano, naturalmente molteplici. Una prima direzione fu tracciata da una decisione temporanea rappresentata dal piano iniziale di Kleanthis- Schaubert e Klenze per la costruzione del palazzo reale nelle vicine aree di Omonoia e Dipylon. La prospettiva di una futura area urbana centrale, ha mobilitato l'acquisto di terreni nella zona, compresa la decisione del Principe George Cantacuzenos di comprare un gran lotto per la costruzione di un centro commerciale, nonché la costruzione di vaste residenze da parte di immigrati benestanti.



**Figura 3: La prima illustrazione del centro commerciale, in via di costruzione e della residenza Cantacuzenos (da: Fr. Stademann, Panorama von Athen)**

La decisione, presa nel 1836, di collocare il futuro palazzo reale nella parte opposta della città, ha fermato tutti i moti di sviluppo del quartiere, il cui futuro urbano divenne incerto, bloccando anche l'ultimazione del centro commerciale. Infatti, la domanda per terreno urbano si spostò verso la parte nord-est dove sorgevano i primi quartieri di periferia. Tuttavia le residenze già costruite oppure ultimate da lì a poco (anche se tante sono state abbandonate dai ricchi proprietari) hanno in vita le prospettive residenziali della zona per un altro po'. La mappa urbana francese del 1854 mostra un livello di occupazione del territorio uguale a quello del 1837 (quattro lotti in entrambi i periodi), con la sola aggiunta del frutteto della fabbrica di seta. La mappa evidenzia anche l'importanza di via Millerou quale asse generatrice dell'insediamento nel quartiere.



**Figura 4: Una sezione della mappa di Atene del 1837 secondo Aldenhoven; le aree evidenziate corrispondono ai quattro lotti abbandonati di via Millerou, all'incrocio stradale al Dipylon e la fortezza di Haseki**

Quando, nel 1852, la "Wrampe & Co" ha deciso di acquistare il complesso e trasformarlo in una fabbrica di seta, la zona non era stata ancora incorporata nella maglia urbana della città. La scelta dell'edificio fu per prima guidata dal fatto che era l'unico edificio ad Atene di dimensioni analoghe e struttura adeguata per uso industriale. Inoltre, il suo nuovo scopo di utilizzo non era in conflitto con le prospettive urbane, in pratica inesistenti, della zona.

Questo intervento ha contribuito in modo significativo alla futura incorporazione del quartiere nella zona industriale di Atene, contribuendo alla formazione della dicotomia, tuttora esistente, tra le raffinate zone residenziali dell'alta borghesia ad est ed i quartieri popolari composti da umili residenze e spazi di lavoro, nella parte ovest.

Il ritmo di sviluppo di quest'area, lento all'inizio, ha poi subito una forte accelerazione nel corso dell'ultimo quarto del 800', in parallelo al generale sviluppo urbano generale della città. Infatti, almeno all'inizio fu la seteria, che nel frattempo si sviluppò in un complesso a utilizzo misto, a spingere lo sviluppo residenziale di questa parte di Atene.



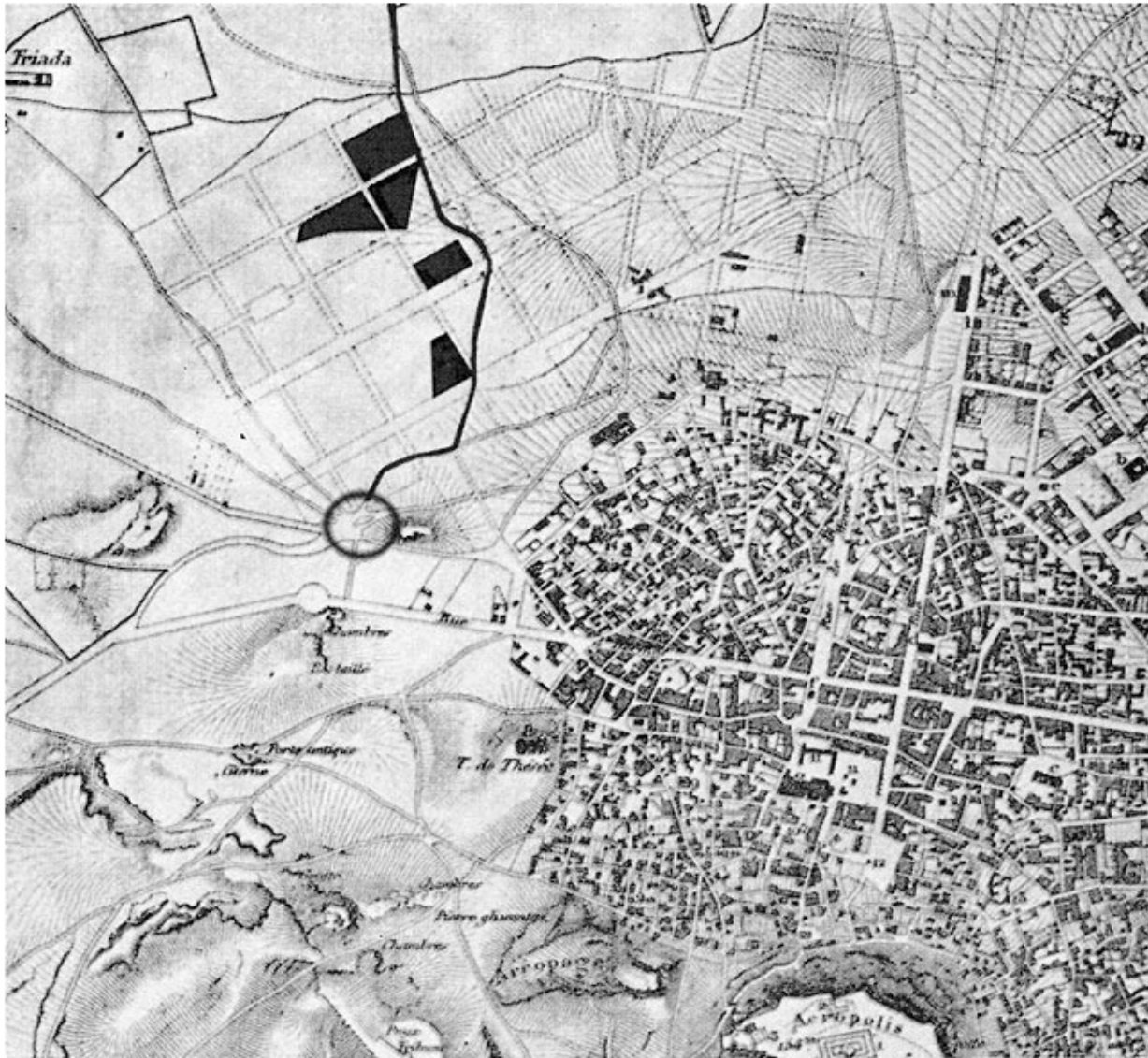


Figura 5: sezione della mappa francese di Atene del 1853/4 (Dépôt de la Guerre). Le aree evidenziate corrispondono ai quattro lotti abbandonati e al frutteto della seteria sulla via Millerou (allora denominata Kerameikou), alla vecchia strada per Sepolia e all'incrocio stradale Dipylon (da: L. & R. Matton, *Athènes et ses monuments du XVIIe s. À nos jours*, Athens 1963).

Dalla mappa del 1862 risulta evidente che la seteria era ancora situata ai limiti della città e che il processo costruttivo cominciava solo ad estendersi da piazza Omonoia verso ovest. Persino nel 1875, quando la zona fu già interamente incorporata nella rete urbana è ancora evidente come la seteria e il suo formassero una barriera al lato ovest della città.

Tra il 1854 e il 1862, altri due eventi hanno contribuito a fissare ulteriormente il carattere del quartiere. Il primo fu l'apertura in questa zona dell'orfanotrofio Chatzikostas, dapprima situato nella residenza N.Kyklos in via Kerameikou, e poi nella residenza Vranis all'angolo tra le vie Millerou e Piraeus. In accordo con la strategia di "integrazione sociale dei bambini poveri" del suo filantropo l'orfanotrofio aprì delle botteghe in cui i ragazzi potevano imparare diverse professioni artigiane come sarto, calzolaio e fabbro. La fucina divenne poi una fabbrica che, nel 1884, impiegava circa 50 dipendenti. Il secondo evento importante fu la costruzione, tra 1859 e 1861, dello stabilimento dei gasometri nella zona

sud. I cosiddetti “Gazi” furono il primo passo nella trasformazione della Atene - Piraeus in un asse industriale di primaria importanza fino a poco tempo fa.



**Figura 6: sezione della mappa di Atene nel 1862, realizzata dall'ufficiale tedesco C. Von Stranz. La zona di Omonoia è già costruita. Il lotto della seteria è evidenziato unificato a quello adiacente verso Sud Est. All'angolo tra via Millerou e via Piraeus sono evidenti l'edificio dell'orfanotrofo e, più a Sud, sulla via Piraeus, il gasometri (Gazi).**

Questo asse di via Millerou, con la seteria e le botteghe dell'orfanotrofo da un lato, e i gasometri dall'altro, costituiva il primo polo d'attrazione per le attività industriali della zona ovest di Atene. Tali attività erano storicamente ancorate a questa zona e già nel periodo ottomano la struttura cittadina fu già caratterizzata da una distinzione delle attività in “pulite” e “inquinanti”, e le ultime collocate nel settore occidentale.

L'espansione della zona industriale verso le aree nord ed est è stata impedita dalla presenza delle zone così dette “buone” di Omonoia e Sintagma. A est la via Ermou ospitava i più raffinati negozi e bar terminando negli alberghi e i palazzi signorili di piazza Syntagma. Verso nord il Teatro Boukoura (1840), il liceo Varvakeion (1857) e la sede centrale della National Bank delimitavano la zona di piazza Omonoia.

Di conseguenza il versante ovest della città rappresentava l'unica direzione possibile per l'espansione della zona industriale e anche il vecchio nodo di comunicazione si stava espandendo. Piazza Aghion Asomaton divenne il capolinea per carrozze e per vari altri mezzi di trasporto in arrivo da Piraeus, e il nodo fu ulteriormente rafforzato dall'apertura della stazione ferroviaria nel 1869. L'intera area si riempì di strutture a servizio delle



esigenze delle attività di trasporto – dal fabbricante di bisacce, ai commercianti navali, fabbricanti di carrozze, falegnami e ferramenti.

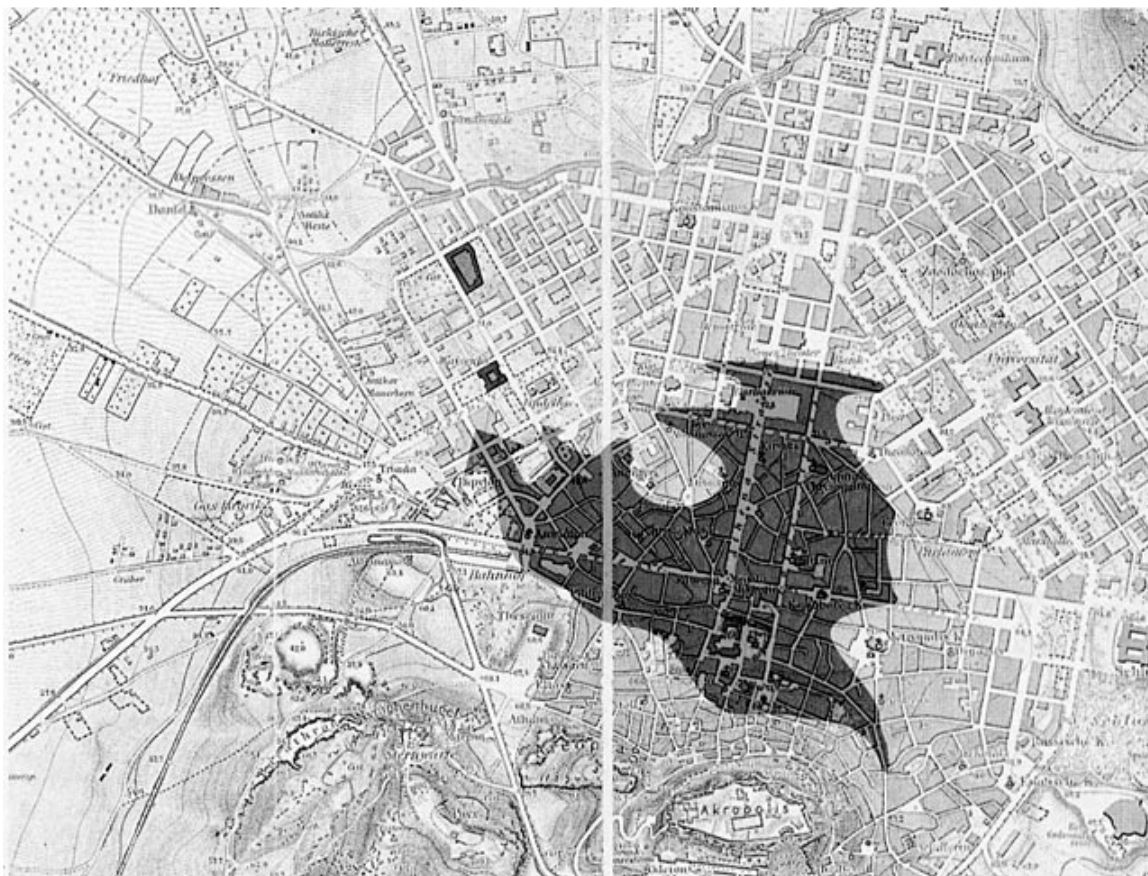
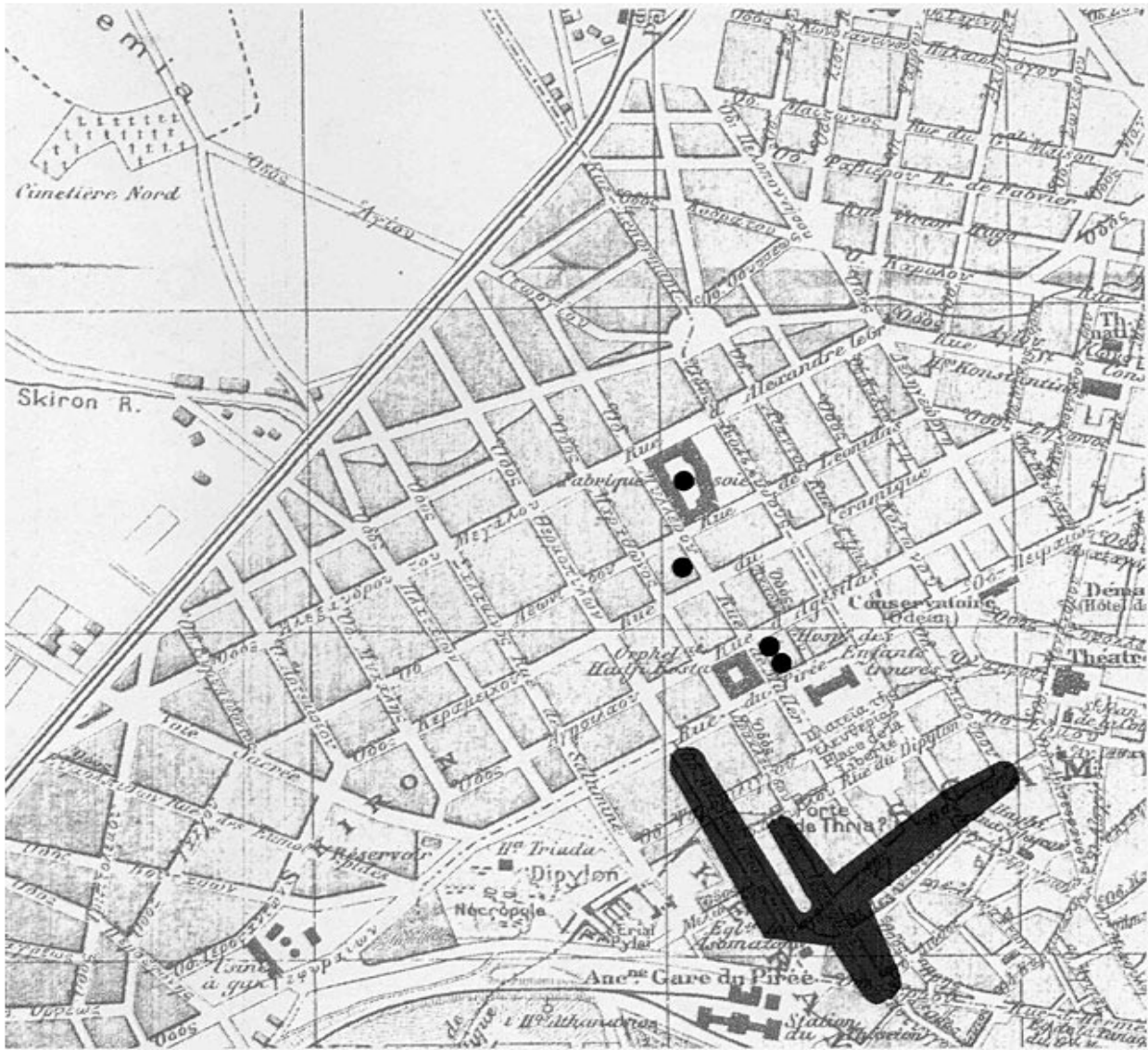


Figura 7: una sezione della mappa di Atene realizzata da J.A. Kaupert nel 1875. Le aree evidenziate corrispondono alla zona industriale della città (basandosi sulle guide dell'epoca), alla seteria e all'orfanotrofio, ai limiti dell'espansione della città verso ovest.

Nel 1875 la seteria chiuse i suoi battenti e la zona fu di nuovo ad un bivio. Tuttavia questo periodo fu caratterizzata da una forte e pressante domanda di abitazioni; la capitale entrò un vortice di rapida espansione con un vertiginoso aumento del numero dei residenti, da 44.250 nel 1879 a 63.374 nel 1879 (incremento del 42%) e fino a 107.251 nel 1889 (incremento del 69%). Di conseguenza, nel decennio 1875-1885 l'intera la zona fu popolata e inglobata nella maglia della città.

La sua identità quale zona per le classi meno abbienti e la natura della domanda per alloggi (immigrazione di massa dalla campagna e da province periferiche) hanno contribuito alla formazione di un quartiere popolare con modeste abitazioni per artigiani, venditori ambulanti e altri piccoli commercianti e produttori.

Comunque, l'invasione di massa della costruzione residenziale non fermò la compenetrazione di attività industriali nella zona della seteria (Metaxourgeion). Al contrario le caratteristiche dei nuovi arrivati hanno facilitato ulteriormente questo misto funzionale. Con via Millerou come asse centrale e le fabbriche di carrozze quali attività dominanti, il quartiere fu infiltrato da tanti posti di lavoro.



**Figura 8:** sezione della mappa francese di Atene realizzata nel 1896 (della guida Joannes, Hachette et Cie); le aree evidenziate corrispondono alle zone delle fabbriche ruote per carrozze in via Sarri, Lefkoriou, Asomaton e Millerou.

Verso la fine dell'ottocento fecero il loro arrivo diverse officine metalliche e una di loro, situata vicino ai binari della ferrovia, che allora definiva i confini della città, divenne l'importante fabbrica BIO. Queste fabbriche, e tante altre minori, probabilmente non menzionate nelle guide dell'epoca, formarono gli elementi di base del carattere del quartiere Metaxourgeion, quale quartiere di piccola borghesia con uso misto di residenze, commercio e industria.

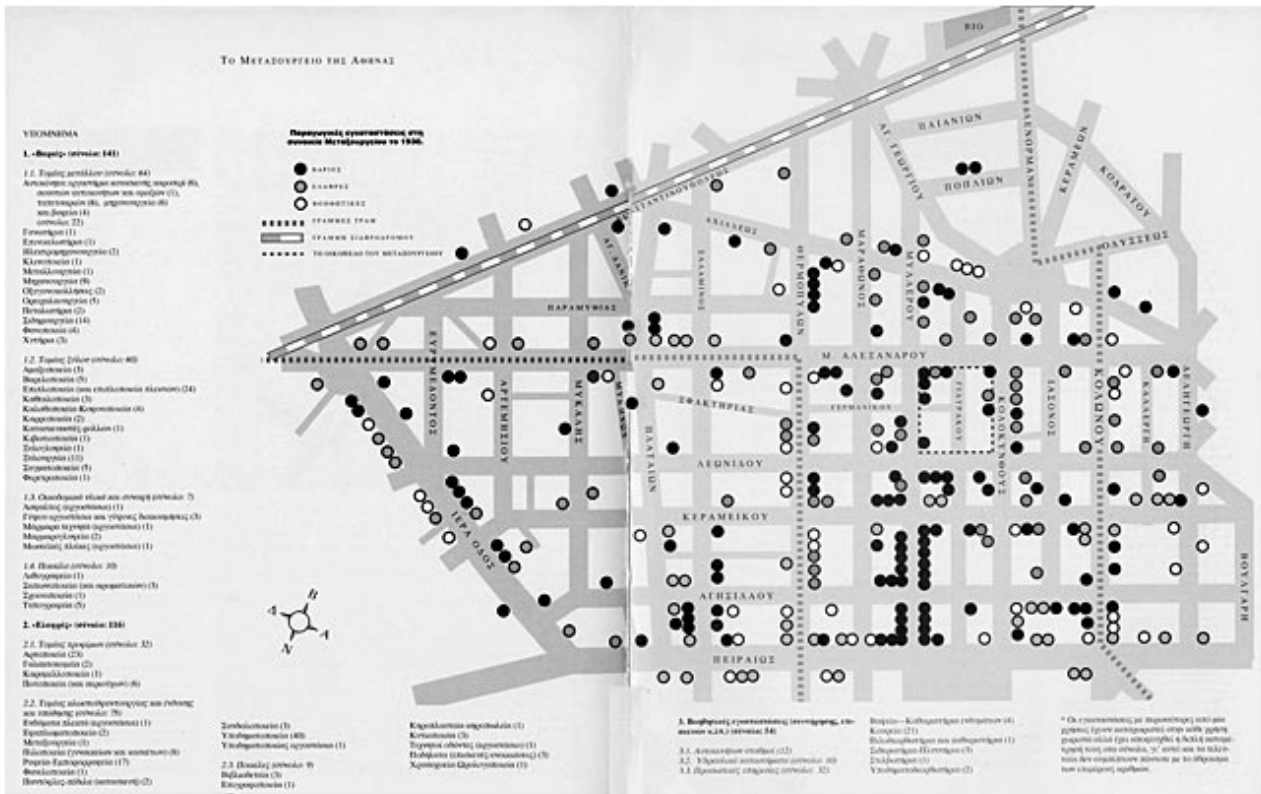


Figura 9: gli impianti industriali nel quartiere Metaxourgeion nel 1930.

Questa fisiognomia è chiaramente evidente da una mappa del 1930 che indica tutti gli usi industriali (primari e ancillari) nell’area. Infatti, il quartiere comprendeva oltre 1900 indirizzi, di cui 680 – un edificio su tre – adibito a usi diversi da quello residenziale (industria, commercio, servizi).

La mappatura di questi servizi mostra le caratteristiche di base del quartiere e per prima, il suo carattere popolare. Per esempio, rispetto al resto dell’area cittadina si riscontrano meno negozi di abbigliamento-calzature ma una percentuale superiore di botteghe di sarti e calzolai; l’area ospita un solo ristorante ma un numero elevato di cucine e bar. In un secondo luogo, La seconda cosa evidente è l’elevato numero di esercizi commerciali e la varietà dei servizi (tra cui sanità, istruzione e tempo libero) che confermano la completa urbanizzazione del quartiere.

Comunque la caratteristica più rilevante del quartiere Metaxourgeion è la concentrazione di stabilimenti industriali, principalmente di quelli che possono essere classificati “pesanti”, ovvero impianti per la lavorazione di metalli, depositi di legno, materiali per l’edilizia e tipografie (un totale di 141 unità). Degna di nota è la concentrazione di queste attività lungo via Millerou che, a 75 anni dalla costruzione della seteria, rimane l’asse centrale per workshop e piccole fabbriche, mentre l’adiacente via Thermopylon ospita attività più “leggere” (abbigliamento, calzature, piccole manifatture).

Ancora più indicativo della resistenza di fattori storici nella formazione della fisiognomia del quartiere è l’evidente specializzazione in servizi per il trasporto; non solo fabbriche di carrozze. Si tratta di officine automobilistiche quali meccanici, carrozzerie, ricambi auto, e parcheggi. Nel periodo di dopo-guerra, quando tutte le speranze di formare un’industria

automobilistica Greca si esauriscono, queste fabbriche si trasformeranno gradualmente in officine meccaniche.



**Figura 10:** “Fabbrica dell’automobile” (nel 1997 era un’officina) in Via Millerou 54: prova vivente di una storia lunga ma dimenticata.

La formazione del quartiere Metaxourgeion è caratterizzata da un insieme di fattori che ne hanno determinato l’inserimento nella rete urbana e nella storia di sviluppo di Atene, tra cui si annoverano spostamenti e assorbimenti laterali, forze di attrazione esercitate da forti presenze sul territorio (quali grosse proprietà e funzioni particolari) e raggiustamenti degli usi produttivi. Non si tratta di uno sviluppo lineare e la fisiognomia del quartiere è emersa dalla sintesi di tendenze opposte (industria – residenza) che tante volte sembravano di dominare contemporaneamente. La grande struttura della seteria ha avuto un ruolo decisivo in questo conflitto di sviluppo, provocando prima un’espansione della parte industriale di Atene verso ovest per venire poi ‘assediate’ dalla conseguente domanda residenziale. Tale influenza che durò molto più a lungo della stessa seteria in quanto le attività di produzione, con asse centrale in via Millerou, infiltrarono questo nuovo insediamento con un misto inestricabile di residenze-posti di lavoro risultando nella formazione di un quartiere urbano con un’identità forte e chiara.

## **Gli anni del declino**

Durante l'occupazione tedesca, il quartiere di Metaxourgeion subì frequenti bombardamenti come conseguenza di conflitti tra le forze d'occupazione e i gruppi di resistenza insediati nella zona, come in tanti altri quartieri popolari di Atene. Infatti, l'edificio della seteria, che prima ospitò dei rifugiati dai bombardamenti di Piraeus, fu poi trasformato nel quartier generale dell'esercito della resistenza (ELAS).

Gli anni che seguirono la seconda guerra mondiale comportarono un peggioramento del degrado della zona. Durante l'intensa ondata di urbanizzazione degli anni 50' e 60', il quartiere attirava la tipologia di immigrati meno favorita, come risultato dei prezzi bassi degli alloggi e delle prospettive di lavoro nelle fabbriche e botteghe della zona. L'intensità delle attività produttive, la frammentazione dei lotti di terreno, le strade strette ma anche la presenza sotterranea di resti archeologici hanno contribuito a impedire la costruzione degli edifici multi-piano, un fenomeno di importante valore di costo-resa nell'Atene degli anni 50'-70'.

Il declino dell'area continuava con la moltiplicazione di attività non compatibili con aree residenziali (quali fabbriche, officine, magazzini, bordelli), e l'incremento dell'inquinamento atmosferico e acustico dovuto al traffico sempre più intenso dato dalla vicinanza ai principali assi di trasporto che delimitavano la zona. Ciò nonostante, il quartiere riuscì a conservare quasi intatta la sua natura popolare e di piccola borghesia, in cui gli edifici residenziali convissero con le attività produttive, fino agli anni 60'.

Tuttavia, questi fattori citati, in combinazione con l'assenza di verde e di spazi pubblici, hanno gradualmente portato al deterioramento del quartiere e tra gli anni 70' e 80' si è assistito all'abbandono del quartiere da parte di una gran parte dei residenti che vi sono stabiliti negli anni 60', costretti a migrare di nuovo in cerca di una qualità di vita più accettabile. Questi abitanti sono stati sostituiti in parte da immigrati stranieri, la maggior parte musulmani da Tracia, che si stabilirono negli edifici abbandonati di Gazi, Metaxourgeion e a Votanikos.

La decisione, presa nel 1979 con decreto presidenziale, di considerare Metaxourgeion parte del centro storico di Atene, fu un momento di fondamentale importanza nella storia del quartiere. Un ulteriore decreto pubblicato in questi anni, con lo scopo di ridurre l'inquinamento nella zona, proibì l'incremento del traffico nonché la costruzione di nuove industrie, ebbe un effetto decisivo sulla natura produttiva della zona. La maggior parte delle industrie tradizionali non rientravano nei nuovi standard posti dal decreto e furono costrette a chiudere. Tanti proprietari di palazzi, non potendo più sostenere le spese di manutenzione, decisero di demolirli per timore di dover sostenere delle spese di manutenzione obbligatoria. Perciò verso la fine degli anni 80', Metaxourgeion assunse le sembianze di un quartiere fermo con molti edifici abbandonati alternati a vuoti urbani e palazzi multi-piano.

La riforma del 85' incluse Metaxourgeion tra le zone destinate a purificazione e i primi interventi, eseguiti negli anni 90', consistevano principalmente in attività di studio e valutazione degli interventi. Tra questi, meritevole di nota è uno studio di 'upgrade' che, ritenendo l'area meritevole per l'insediamento residenziale prevedeva alcuni interventi di ristrutturazione e miglioramento d'aspetto per attirare di nuovo gli abitanti nel quartiere. Questi interventi risultarono tuttavia insufficienti per migliorare le condizioni e la qualità della vita dei residenti.



## Letture del territorio

La lettura del luogo è cominciata con una visita ad Atene e al quartiere Metaxourgeion. Il quartiere è stato visitato accedendo da diverse parti della città; arrivando dal centro e passando dalla zona di piazza Omonia, scendendo dall'Acropoli e partendo dalla zona dei gasometri - "Gazi".

In questo modo si è cercato di capire e percepire le interazioni del quartiere con le zone limitrofe e le reciproche influenze.

La visita stessa, condotta in orari sia diurni che notturni, consisteva nello studio fisico dei luoghi: le strade, i locali, i giardini. Sono state conosciute e intervistate diverse figure tipiche del quartiere: dal barista al costruttore di un progetto edilizio recentemente realizzato. Infine, è stato approntato un portfolio di documentazione fotografica.

## Analisi climatica

Consultando le informazioni climatiche dell'aeronautica militare Greca sulla città di Atene (longitudine 23° 40' 1" e latitudine 38° 2' 59") sono stati estratti i dati significativi per la progettazione architettonica:

1. Temperature: ampia variazione tra la stagione estiva (fino a 45°C) e quella invernale (fino a -5.8°C).
2. Umidità relativa: molto bassa nella stagione estiva – intorno al 44%: un dato molto favorevole per l'applicazione di un sistema di raffrescamento evaporativo passivo
3. Intensità e direzione del vento: venti dominanti provenienti principalmente da Sud-Ovest e Nord-Est con un'intensità media di 3,2 m/s
4. Diagramma solare: necessario per definire il percorso del sole a seconda delle stagioni e delle ore per poter conoscere l'incisione dei raggi solari sugli edifici della zona.

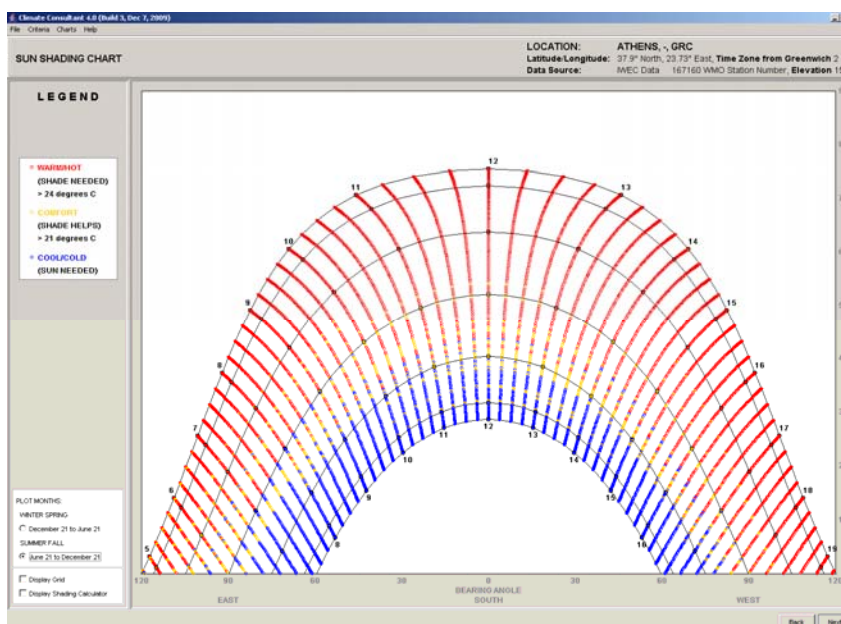


Figura 11: Diagramma solare di Atene

## Lettura della struttura urbana

Si nota il tessuto consolidato di matrice medievale del centro storico di Atene, con una maglia stradale irregolare ai piedi di Acropoli. La traccia delle vecchie mura che proteggevano la città è a tutt'oggi e traccia il primo anello stradale, al di fuori del quale è avvenuta la prima espansione, con un tessuto consolidato di matrice ottocentesca. L'isolato urbano è compatto e l'edificazione ordinata sul fronte strada, secondo il principio dell'allineamento fisso.

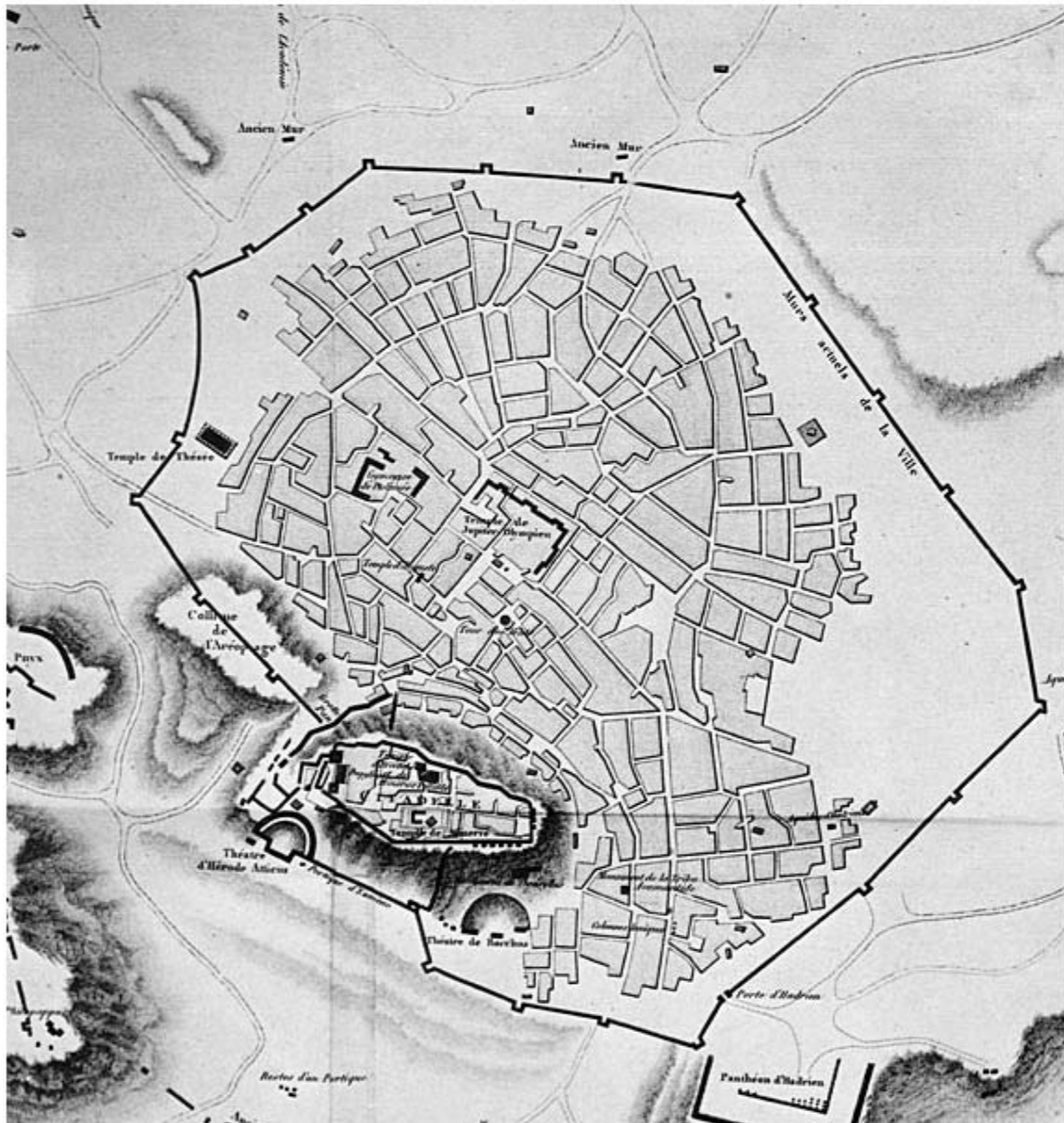


Figura 12: Una pianta di Atene disegnata dal console francese Louis François Sébastien Fauvel, poco prima del 1800

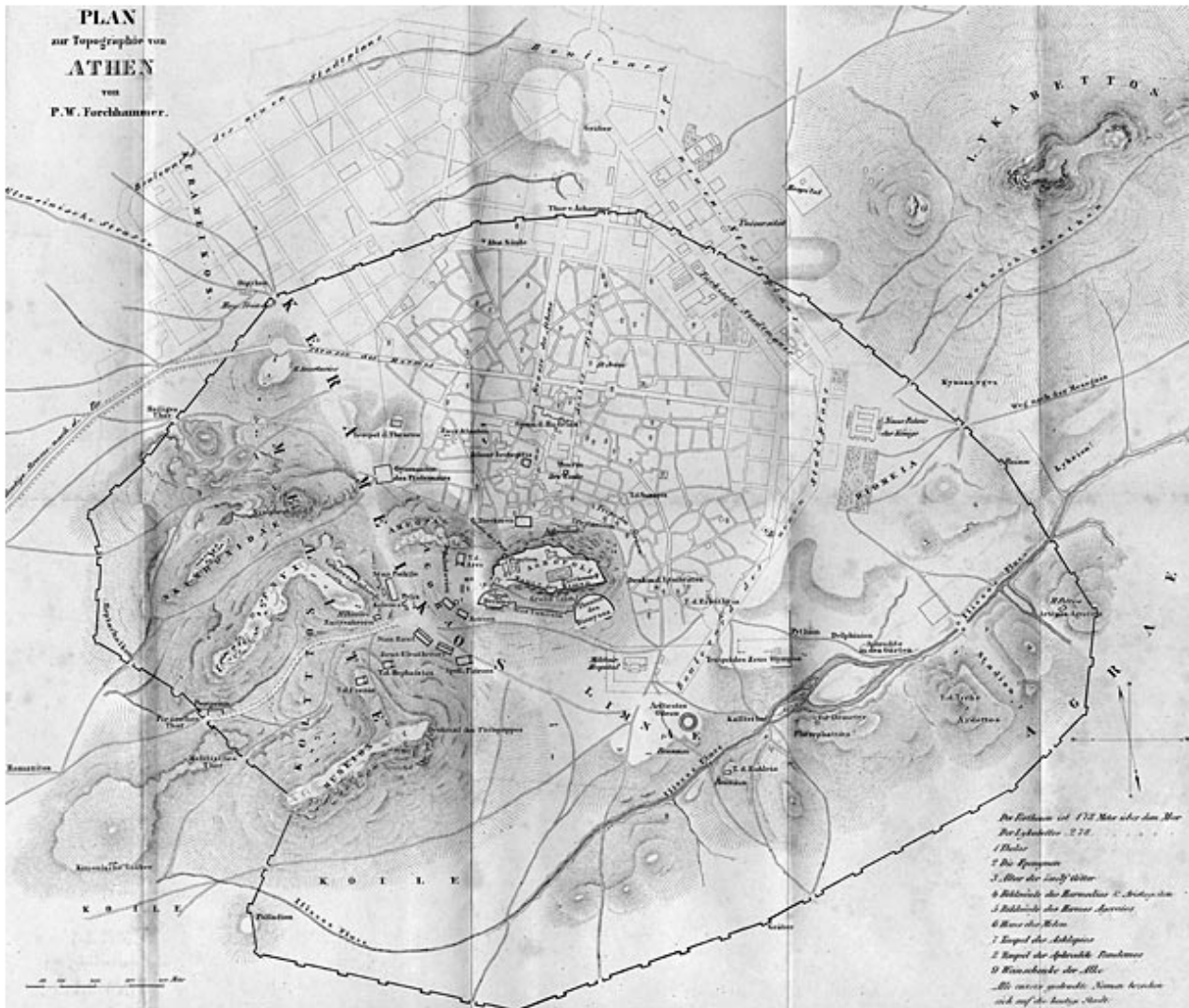


Figura 13: I viali forniti da von Klenze sono segnati come "Boulevard des neuen Stadtplans" in questa pianta topografica di Atene, disegnata nel 1841 da P. W. Forchhammer



**Figura 14: Lo sviluppo della città di Atene fino alla fine del 1870' come descritto nel piano Kaupert, pubblicato nel 1881**

## **L'ambiente costruito**

L'edilizia a Metaxourgeion comprende una vasta gamma di tipologie, un risultato della coesistenza di molteplici attività. Le modeste residenze da un piano, tipiche dell'era antecedente alle guerre Balcaniche 1912-13, convivono con le ville da due e tre piani, costruite prevalentemente tra gli anni 1875-1925. Gli scialbi palazzi multipiano degli anni 60'-70', che hanno sostituito quelli demoliti durante la ricostruzione di Atene, si trovano nella parte interna del quartiere. Un quarto del volume edificato fino al 1950 è stato mantenuto fino ad oggi, e si localizza prevalentemente nel centro del quartiere. Tuttavia, tanti di questi palazzi, altrimenti meritevoli di nota, sono stati completamente o parzialmente abbandonati mentre altri sono stati occupati da immigrati o soggetti



emarginati (quali i tossicodipendenti) oppure ospitano residenti delle basse classi sociali che vivono in condizioni di disagio. In previsione dei giochi olimpici, alcuni edifici sono stati restaurati (soprattutto nella zona di Piazza Avdi) e oggi sono evidenti nel quartiere diversi interventi di riqualificazione, di solito puntuali, nonché nuovi cantieri di edilizia moderna.



**Figura 15: Palazzo residenziale**



**Figura 16: edilizia residenziale anni '60-'70**



**Figura 17: Villa da due piani, recentemente ristrutturata**



**Figura 18: Villetta recentemente restaurata**





**Figura 19: Coesistenza nuovo, vecchio**



**Figura 20: Progetto edilizio di recente realizzazione**



**Figura 21: Palazzi abbandonati**



**Figura 22: Modesta residenza da un piano in stato di abbandono**



**Figura 23: Il restauro della vecchia seteria (ospiterà la nuova pinacoteca comunale)**

## **Uso del Suolo**

La grande diversità che caratterizza gli edifici del quartiere si riflette in un altrettanto vasta gamma di usi del suolo. Gli edifici multi-piano (la maggioranza di 5-6 piani), situati lungo gli assi stradali principali, ospitano soprattutto attività di servizi e commercio rappresentati da banche, uffici, alberghi, o negozi. Non è raro trovare edifici che ospitano abitazioni ai piani superiori mentre il piano terra è occupato da attività commerciali. Vice versa, nella zona vicina a via Achilleos si concentrano attività meccaniche come officine, negozi di pezzi di ricambio, carrozzerie e altre attività di disturbo, compresa l'industria del sesso.

Verso la fine degli anni 90' si è evidenziata una tendenza di inserire nuove tipologie di attività nel quartiere, principalmente centrate nei settori della ricreazione e intrattenimento, con ristoranti, night club, teatri e gallerie d'arte. Questa tendenza molto positiva è stata promossa anche dalla prossimità di Metaxourgeion ai quartieri Gazi e Psyri, già in precedenza trasformati in centri d'intrattenimento, che cominciarono a mostrare segni di saturazione. In questi due quartieri l'introduzione di attività ricreative fu fatale allo sviluppo residenziale e gli abitanti furono in pratica costretti a lasciare le zone diventate parzialmente o addirittura completamente invivibili. Metaxourgeion, tuttavia, possedeva altri vantaggi relativi che comprendono la vicinanza alle zone culturalmente attive quali Via Sarri, Via Piraeus ecc., la centralità che offre facile accesso e la presenza di molti edifici e magazzini abbandonati adatti ad uso per attività alternative ed infine i modesti affitti.

Le nuove attività d'intrattenimento sono state concentrate principalmente nella zone di Piazza Avdi e fu collegata allo sviluppo di quelle culturali. La presenza di teatri sperimentali incentivava l'apertura di caffè, ristoranti e bar. In conclusione, queste aree oggi attraggono nuovi gruppi di popolazione e presentano le moderne dinamiche per la formazione di nuove circostanze.

# Cenno al regolamento edilizio vigente nel centro di Atene

## Uso del suolo



L'area di nostro interesse è caratterizzata come area prevalentemente residenziale con aree pedonali e piccoli negozi nel mercato rionale. Il regolamento dell'uso del suolo dell'area prevede la combinazione di due tipologie di area:

**Viola** – Zona residenziale

**Verde** – Zona residenziale con attività commerciali minori



un portico obbligatorio

L'area edificabile lorda denota il numero totale di metri quadri che possono essere costruiti per sito.

1. L'area edificabile lorda massima è normalmente data dall'area del lotto moltiplicata per il coefficiente di area edificabile lorda che, nel nostro caso, equivale a 2,2
2. Per gli edifici residenziali, tutti gli spazi a uso primario, situati sia sopra che sotto il suolo (che in questo caso dovrebbero possedere condizioni di sufficiente luminosità e ventilazione) fanno parte del calcolo dell'area edificabile lorda
3. Ogni rientranza aperta e scoperta (cioè non ombreggiata da piani superiori) verso l'interno del volume dell'edificio, che abbia almeno un diametro inferiore a 1,20m fa parte del calcolo dell'area edificabile lorda
4. I balconi e gli spazi semi-coperti non rientrano nel calcolo dell'area edificabile lorda
5. I portici laterali sulle strade non fanno parte del calcolo dell'area edificabile lorda e il loro volume non rientra nel volume edificabile lordo.

L'area d'impronta costruita è descritta dai contorni dell'edificio visti dall'alto.

1. Il calcolo dell'area di impronta dell'edificio comprende tutti gli spazi che si trovano sopra il livello del suolo, coperti o meno, ad eccezione dei balconi, strutture ombreggianti, estroflessioni di ornamenti architettonici di dimensioni inferiori a 0,40m, e giunture sismiche. Queste ultime sono strutture di inserimento tra i margini del lotto e l'involucro dell'edificio, obbligatorie in tutti i casi in cui è previsto un contatto diretto tra i due. Esse dovrebbero rispettare una larghezza minima di 0,10m (e comunque dipendente dall'altezza dell'edificio e dalle condizioni delle strutture adiacenti) ed estendersi lungo tutto il lato dell'edificio.
2. L'area di impronta massima di un edificio equivale al 70% dell'area del lotto. Il rimanente 30% è definito l'area scoperta minima obbligatoria. Quest'area è la somma di tutte gli spazi scoperti del lotto situate davanti o dietro l'edificio e comprende anche qualsiasi rientranza nel volume dell'edificio con una lunghezza di almeno 4,55m.
3. I due terzi dell'area scoperta obbligatoria dovrebbero essere piantumati, e un terzo può essere piastrellato.
4. In base all'attuale regolamento di governo del territorio per questa zona, un edificio può arrivare a toccare uno o più dei margini del proprio territorio (a sinistra, destra o dietro), o ne è distaccato da una distanza minima di  $3m + 0.1$  dell'altezza massima. Nel nostro caso questo parametro ha il valore di 4,55m.

Gli spazi a uso primario di un edificio residenziale sono tutti quelli nei quali è possibile passare più di due ore al giorno. In altre parole, si riferiscono a tutti gli spazi ad eccezione delle aree di magazzino, i bagni, le cantine, le scale, i parcheggi, gli spazi meccanici ecc. Gli spazi a uso primario dovrebbero avere un'altezza pavimento-soffitto minima di 2.40m, mentre gli spazi a uso secondario dovrebbero avere un'altezza minima di 2.20m, e le scale fino a 2.00m. Spazi a uso primario dovrebbero avere luce naturale ed essere areati mediante finestre e porte finestre.

La cantina è un piano sotterraneo il cui soffitto non può superare l'altezza di 0.80m sopra il livello del suolo.

Ogni parte della cantina che sporge dall'area di impronta dell'edificio dovrebbe essere coperta da almeno un metro di terra, come illustrato dalla sezione diagrammatica B.

L'altezza massima per un nuovo edificio nella zona equivale a 15.5m dal livello del suolo. Le seguenti aree possono superare tale altezza massima:

1. torri di raffrescamento
2. sistemi solari

## **Analisi sociologica**

### **Metaxourgeion Oggi - Aspetti demografici**

L'area di Metaxourgeion rappresenta una combinazione unica dal punto di vista demografico e socioeconomico. La popolazione è generalmente caratterizzata da un'età elevata, in accordo con il generale invecchiamento osservato nel centro di Atene, dovuto alla tendenza di giovani coppie e famiglie di trasferirsi in periferia. Il contributo dei bambini degli immigrati, soprattutto di origine musulmana, alla popolazione giovanile è decisivo. Vice versa, la popolazione anziana è ulteriormente incrementata dalla percentuale di



rifugiati Greci e provenienti dall'Asia Minore che si stabilirono nel quartiere negli anni passati.

La maggior parte dei residenti, inclusi i musulmani della Tracia, sono nati in Grecia. L'altra categoria comprende i rifugiati in arrivo dall'Asia Minore negli anni 60'-80' e i immigrati più giovani arrivati tra 1975-1980 da diversi paesi: Bulgari, Polacchi, Russi, Albanesi, Egiziani ecc. Infine, negli ultimi anni sono arrivati tanti immigrati dal sud est asiatico, in maggioranza Cinesi. Pertanto, il 29.4% dei residenti nel quartiere sono immigrati, in confronto al 17.4% degli altri quartieri di Atene.

I residenti attuali di Metaxourgeion si occupano di una vasta gamma di attività professionali quali consulenze freelance, piccolo commercio, impiegati del settore pubblico e privato, e lavoratori di molte specializzazioni e rami professionali. È importante anche la presenza di imprese piccole e medie, alcune basate nell'area da generazioni (come le officine meccaniche), e di servizi e autorità pubbliche (quali l'azienda elettrica e l'istituto di provvidenza sociale). Infine, negli ultimi anni il quartiere è stato oggetto di un progetto artistico (ReMap) che vi ha attirato tanti pittori, architetti e altri artisti a trasferirsi nel quartiere, attratti dal fascino di un quartiere che conserva il fascino di un piccolo villaggio in pieno centro storico di Atene.

## **Problematiche del quartiere**

I fenomeni di degrado sociale e architettonico sono molto evidenti a Metaxourgeion. I problemi principali del quartiere rimangono la mancanza di verde e di spazi pubblici, avendo ora solo Piazza Avdi come spazio verde ad uso comune. L'inquinamento e l'intenso traffico sono sostenuti da un lato dalla vicinanza alla centrale piazza Omonoia e dall'altro dalla funzione delle vie del quartiere quali affluenti delle principali arterie di trasporto. La percentuale di edifici abbandonati è elevata e il paesaggio urbano è contrassegnato dalla coesistenza di volgari palazzi popolari costruiti negli anni 50'-60' accanto ad edifici neoclassici in vario grado di degrado o di abbandono, spesso trasformati in rifugio per tossicodipendenti, alternandosi con vuoti urbani e attività commerciali abbandonate. La presenza di immigrati che vivono in gruppi e le attività meno desiderate, soprattutto l'industria del sesso, risultano in un senso di insicurezza e di cattiva qualità della vita che risultano in un allontanamento delle famiglie dalla zona.

## **Nuove Prospettive**

Il riconoscimento delle attuali problematiche del quartiere Metaxourgeion non equivale alla sua considerazione come area derelitta e prova di prospettiva di rinascita. Al contrario, dopo una considerazione più attenta e approfondita della situazione si potrebbe dire che sono proprio questi fenomeni di degrado a contribuire alla speciale natura di Metaxourgeion e che, grazie a una serie di interventi specifici potrebbero essere limitate al massimo contribuendo, allo stesso tempo, alla creazione di un'area culturale moderna e sfaccettata. Le ricche radici storiche dell'area e il suo ruolo speciale nella formazione sociale ed economica dell'Atene moderna, hanno donato a Metaxourgeion un complesso ambiente urbano che ben riflette le tracce delle dinamiche passate ed odierne. Le nuove prospettive tendono a trasformare le condizioni esistenti creando una nuova piattaforma di attività. Questa può comprendere una vasta gamma di funzioni, in accordo con la tradizione di Metaxourgeion quale area polifunzionale, dove cultura e ricreazione convivevano mano per mano con gradevoli abitazioni e piccola industria.

## IL PROGETTO

### **Concept**

Analizzando il lotto di progettazione abbiamo idealizzato una maglia strutturale radiale, con una leggera rotazione sull'asse Nord – Sud per sfruttare l'inerzia termica. La maglia radiale ci permette di realizzare ampie aperture vetrate verso sud e limitare la superficie rivolta a Nord. Siamo partiti con la maglia radiale dall'asse di via Thermopylon, per poter avere un affaccio allineato con la strada. Modellando la volumetria abbiamo preso in considerazione l'ombreggiamento creato dagli edifici adiacenti e, per evitare che i corpi edilizi si ombreggino uno l'altro abbiamo alzato gli edifici di un piano, garantendo una sufficiente illuminazione naturale e guadagno solare per tutti gli appartamenti.

Abbiamo anche creato un arretramento dei volumi di ogni piano per poter dotando ogni appartamento di un balcone (fattore importante nelle case mediterranee) e, nel contempo sfruttando la sporgenza come schermatura per la stagione estiva.

Il rialzamento degli edifici di un piano permette di avere dei percorsi di accesso e attraversamento fisicamente e visivamente ininterrotti, privilegiando alcune viste prospettiche al livello della strada.

Per quanto riguarda il trattamento dell'esistente abbiamo deciso di riutilizzare il materiale lapideo recuperato dagli edifici esistenti in rovina per rivestire le facciate cieche che rivolte verso il lotto, ricoperte da rampicanti.

### **Sistema costruttivo**

Il sistema strutturale scelto da noi è composto da un nucleo di calcestruzzo armato, dotato di tasche dove si incastrano dei solai di legno lamellare, appoggiato ad un'estremità su una struttura di travi e pilastri in legno.

Oltre alle vantaggiose proprietà sostenibili e fisiche del materiale, l'impiego del legno consente la realizzazione di solai con dei luci di apertura significativi evitando l'ingombro di pilastri in punti chiave degli appartamenti, con conseguente flessibilità nell'organizzazione degli spazi interni.

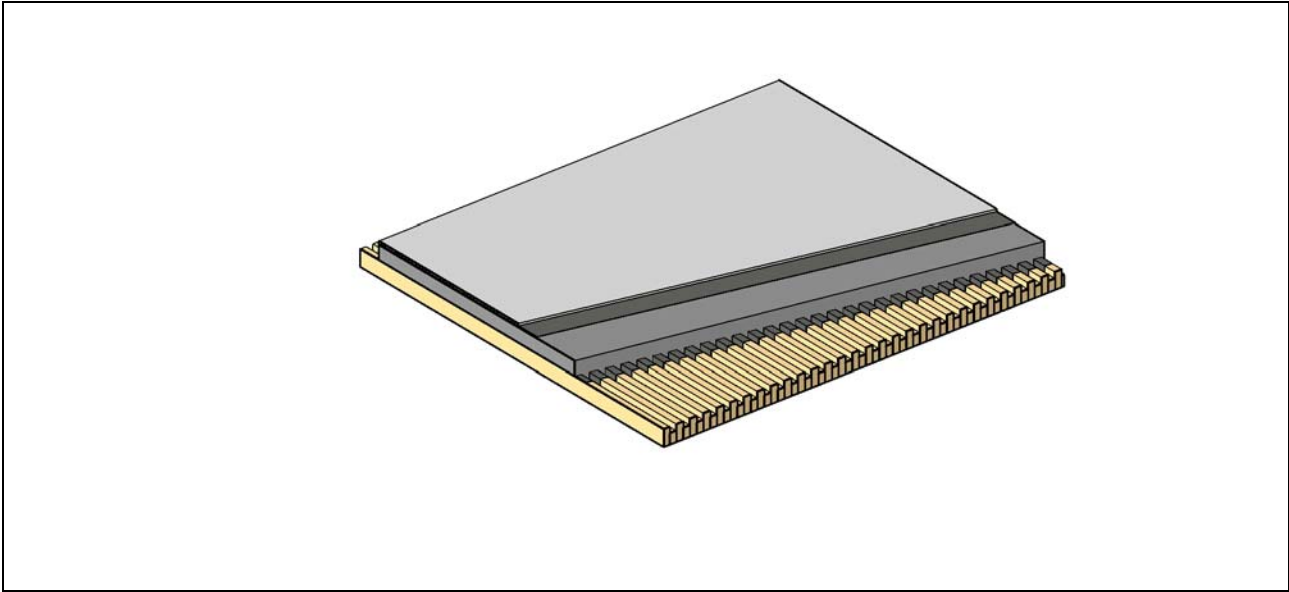


Figura 24: solaio in legno lamellare

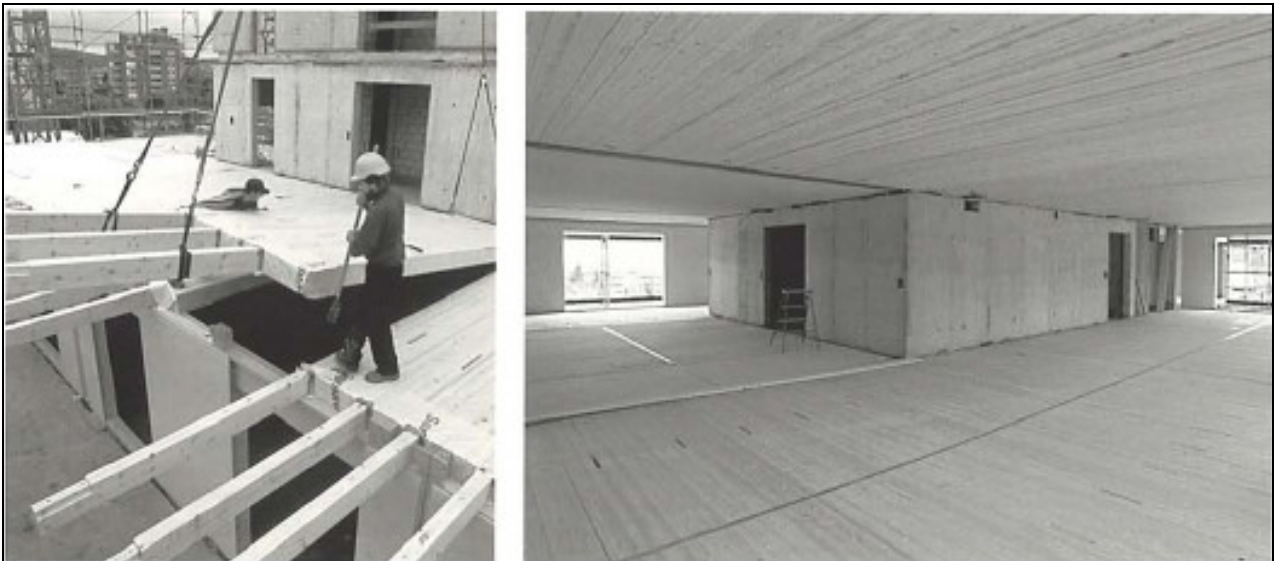


Figura 25: EM2N\_Hegianwandweg housing, posa dei solai in legno lamellare



Figura 26: EM2N\_Hegianwandweg housing, fasi di costruzione

## ***Funzionamento dei sistemi bioclimatici***

### **Giorno estate**

Torri di ventilazione ad evaporazione d'acqua: Le torri di ventilazione catturano il vento. I nebulizzatori posti sotto le loro aperture spruzzano acqua che evapora a causa dell'elevata temperatura dell'aria in ingresso. Il cambiamento dello stato fisico dell'acqua toglie energia al sistema causando l'abbassamento di temperatura dell'aria. La forza gravitazionale su una massa d'aria (relativamente fredda) crea una corrente discendente che sposta l'aria dalla fonte di raffreddamento alle zone occupate dell'edificio. Il fenomeno



si manifesta come un effetto camino all'inverso. Le torri sono poste a nord in modo da non ricevere direttamente l'irraggiamento solare e rimanere relativamente fresche.

Camini solari: I camini posti a Sud aumentano il flusso dell'aria, evitandone la stratificazione all'interno dei vani, garantendo il comfort termico. Esposti direttamente all'irraggiamento solare, sfruttano l'effetto camino e contribuiscono all'espulsione del calore.

Facciate ventilate: Esposte a Est e a Ovest. Riducono la quantità di calore che penetra per conduzione dalla superficie muraria. I pannelli rivolti verso l'esterno ricevono l'irraggiamento ma non lo trasmettono all'interno grazie all'effetto camino che si manifesta all'interno dell'intercapedine d'aria, posto tra lo strato esterno e interno del muro. Il calore viene espulso verso l'esterno.

Schermature solari: Le schermature sono tende a rullo, composti da fibra di vetro e PVC, che si muovono dentro binari in tre direzioni: orizzontale, verticale e inclinata, i cui vertici formano un triangolo rettangolo. Sono in grado di schermare efficacemente sia le ampie vetrate messe in verticale che le superfici opache orizzontali senza impedire la vista. La tenda mobile, a forma di vela, posta sopra il tetto dell'edificio, impedisce l'irraggiamento diretto della superficie riflettendo i raggi. Durante la stagione estiva l'irraggiamento della superficie piana del tetto si accentua a causa dell'angolazione più verticale dei raggi solari e l'effetto protettivo della tenda risulta accentuato.

Collettori fotovoltaici: I pannelli fotovoltaici assorbono l'energia solare per trasformarla in energia elettrica, schermando contemporaneamente le superfici vetrate.

## **Notte estate**

Torri di ventilazione ad evaporazione d'acqua: I sensori rilevano la temperatura all'interno dei vani e rimettono in funzione le torri se questa supera il livello di comfort.

Camini solari: Le aperture poste in alto promuovono l'espulsione del calore che si accumula negli strati superiori dei vani.

Schermature: Le schermature mobili si chiudono arrotolandosi, incoraggiando l'espulsione di calore dalle superfici orizzontali, soprattutto quando il cielo è sgombero, situazione molto frequente durante l'estate ad Atene

## **Giorno inverno**

Involucro: Le facciate Sud e Nord sono specializzate. Sud:Guadagno solare, Ampie Vetrate; nord: riduzione delle dispersioni, Ben isolata, aperture di ridotte dimensioni. Le facciate ventilate a Est e Ovest non permettono la formazione di condensa all'interno del muro, nelle stagioni con umidità relativa elevata.

Superfici trasparenti: Durante la stagione invernale le vetrate, esposte a Sud, dell'edificio captano l'irraggiamento solare, con un angolo d'incidenza non lontano dal perpendicolare.

Effetto serra: Il guadagno termico e l'innalzamento delle temperature sono dovuti all'effetto serra. La radiazione solare passa attraverso i vetri e viene assorbita dagli oggetti presenti all'interno dell' edificio che la rimettono in seguito sotto forma di radiazione termica, di lunghezza d'onda più lunga di quella solare. Pertanto, il calore non riesce ad attraversare i vetri e disperdersi all'esterno. I vetri risultano opachi alla radiazione termica che rimane

intrappolata all'interno dei vani. Il conseguente aumento della temperatura è dovuto all'intrappolamento all'interno dei vetri sia della radiazione termica che dell'aria stessa.

Masse d'inerzia termica: Parte dell'irraggiamento si accumula nella massa d'inerzia termica contenuta nella porzione esposta del solaio e nei muri di fondo.

Orientamento: Tra le ore 10.00 e le 14.00 l'edificio sfrutta al massimo l'energia solare. La rotazione dell'asse centrale Est-Ovest di 18° in senso antiorario genera un'anticipazione dell'orario in cui si verificano le temperature massime giornaliere rendendo l'andamento giornaliero delle temperature più adatto alla fruizione.

Collettori fotovoltaici: I pannelli fotovoltaici assorbono l'energia solare per trasformarla in energia elettrica, senza schermare le superfici vetrate.

Schermature solari: Le schermature solari sono chiuse, per permettere il guadagno diretto dell'irraggiamento solare.

## **Notte inverno**

Masse d'inerzia termica: Di notte, l'energia solare assorbita dalle masse d'accumulo (contenuta nella porzione esposta all'irraggiamento del solaio e nei muri di fondo) durante il giorno viene riemessa, per irraggiamento e convezione naturale, all'interno dei locali creando condizioni di comfort termico. Questo ritardo è dovuto all'inerzia termica di queste masse, che sono dotate di elevate densità e capacità termica.

PCM (Phase Change Materials): Oltre alla massa di calcestruzzo con elevata densità e capacità termica, i PCM sono in grado di conferire un ritardo all'orario di riemissione del calore nei vani. I PCM sono materiali a cambiamento di stato. Sono sali o paraffine che accumulano o rilasciano calore ad una temperatura costante che è la temperatura del loro cambiamento di fase fisica, da solida a liquida e vice versa.

Schermature solari: La tenda posta sopra il tetto dell'edificio diminuisce l'eccessiva dispersione di calore verso la volta celeste quando il cielo è sgombero.

## **Scelte tecnologiche e architettoniche**

### **L'edificio è l'impianto**

In un clima mediterraneo temperato, come quello della Grecia, i cicli che potrebbero essere sfruttati ai fini della climatizzazione naturale si dividono in stagionali e giornalieri. Tuttavia, il ciclo più evidente di variazione delle condizioni locali è quello giornaliero ed è infatti quello previsto dalla maggior parte delle strategie di climatizzazione passiva impiegate in edilizia.

Il nostro compito da progettisti è stato quello di progettare un organismo edilizio dotandolo di un efficace funzionamento termico. Un sistema basato sulla climatizzazione passiva è altamente dipendente dalla corretta conformazione e orientamento degli edifici, dalla scelta dei materiali e da un'efficiente distribuzione delle superfici trasparenti e di quelle opache.

*L'edificio è l'impianto*, nel senso che il comfort all'interno dei vani è garantito dall'integrazione tra edificio e ambiente ed è gestito attraverso l'applicazione di

componenti edilizie regolabili quali schermature, finestre apribili, lucernari, oscuramenti termoisolanti, e lastre riflettenti ad inclinazione regolabile.

Per quanto riguarda il loro orientamento, gli edifici in questo progetto sono stati disposti su una griglia radiale, composta da raggi e cicli omocentrici. L'asse Nord-Sud è leggermente inclinato verso Est in senso antiorario. La griglia radiale ha reso possibile la creazione di singoli appartamenti la cui superficie esposta verso Sud sia maggiore di quella esposta a Nord. L'ampia superficie vetrata verso Sud capta l'irraggiamento solare aumentando il guadagno termico, mentre la ben isolata chiusura verticale opaca verso Nord consente di diminuire le dispersioni. Inoltre, tutti gli edifici sono corpi edilizi con una profondità di vani pari a 8 metri, che garantisce un grado sufficiente d'illuminazione ed aerazione a tutti gli spazi interni.

## **Forma degli edifici e posizionamento sui siti**

Ai fini della climatizzazione naturale in un clima temperato, l'esposizione migliore degli edifici risulta quella lungo l'asse est-ovest. In inverno, gli edifici così orientati riceveranno un quantitativo consistente della radiazione solare invernale. Vice versa, d'estate il sole a mezzogiorno irraderà in modo diagonale e poco efficace la facciata verticale Sud evitandone il surriscaldamento, mentre di mattina e pomeriggio, la sua azione sulle facciate Est ed Ovest, di superficie limitata e con involucro di facciata ventilata, sarà di entità trascurabile.

L'orientamento più auspicabile, non è però, quello esattamente giacente sull'asse Est-Ovest, ma quello ruotato di qualche grado in senso antiorario. Tale rotazione rende l'andamento giornaliero delle temperature più adatto alla fruizione in quanto, grazie all'inerzia termica, causano un'anticipazione dell'orario in cui si verificano le temperature massime giornaliere all'interno dei vani.

Considerate le condizioni climatiche ad Atene, la rotazione ottimale risulta quella di 17.5 gradi. Scostamenti di non più di 30 gradi in senso orario o antiorario dall'asse Est-Ovest non provocano riduzioni eccessive nel guadagno solare delle facciate orientate a Sud, che si mantengono nel raggio del 10%. I corpi edilizi degli edifici progettati hanno l'asse centrale che va ruotato dai 17 fino ai 24 gradi, consente dogli di sfruttare il vantaggio dell'inerzia termica.

A causa del loro ruolo bioclimatico le facciate Sud e Nord degli edifici sono specializzate. La facciata Sud è finalizzata al guadagno solare e perciò è stata abbondantemente dotata di chiusure trasparenti e collettori solari fotovoltaici. Vice versa, il ruolo della facciata nord è quello di ridurre nel modo efficace più possibile le dispersioni termiche. Di conseguenza essa risulta di superficie più limitata e dotata di poche chiusure vetrate di modeste dimensioni.

Infatti, la curvatura dei corpi edilizi e quindi delle facciate incide sul rendimento termico. I motivi dipendono dal fatto che, curvando un corpo edilizio vi sono delle facciate che aumentano di superficie e facciate che diminuiscono, con effetti sulla dispersione termica. Inoltre le vetrate presenti sulle facciate Sud "incontrano" la radiazione solare con angoli di incidenza non lontani dalla perpendicolare per un maggior numero di ore, rispetto agli edifici sviluppati in modo rettilineo.

Nei climi temperati, e in particolare quello Greco, del Mediterraneo e più in generale Europeo, le morfologie edilizie più vantaggiose sono quelle che favoriscano un interscambio *selettivo* con l'ambiente esterno, ammettendo o escludendo, a seconda del

momento climatico, dei specifici fattori esterni quali: irraggiamento solare, ventilazione o umidità.

Il guadagno solare che si verifica in un edificio dipende in primo luogo dalla quantità di radiazione solare che penetra all'interno attraverso le finestre o gli altri sistemi di guadagno solare previsti (serre, pannelli o muri solari) tutti comunque basati sull'effetto serra che è il principale responsabile di guadagno solare all'interno dei corpi edilizi. L'effetto serra si verifica in questo modo: la radiazione solare passa attraverso i vetri e viene assorbita dalle superfici presenti all'interno degli edifici. Tale energia viene quindi riemessa dagli oggetti stessi sotto forma di radiazione termica, di lunghezza d'onda più lunga di quella solare, che perciò riesce ad attraversare i vetri e disperdersi verso l'esterno. I vetri risultano infatti, opachi ad essa, ed essa rimane quindi intrappolata all'interno dei vani, innalzandone la temperatura l'effetto combinato di intrappolamento dell'energia termica e della stessa aria.

Nella progettazione di questi corpi edilizi, la nostra intenzione è stata quella di accentuare l'effetto serra all'interno dei vani durante i mesi invernali garantendo un sufficiente innalzamento delle temperature grazie all'irraggiamento solare.

### **Fattori influenti sul comfort igrotermico**

I fattori che principalmente influiscono sul comfort termico degli occupanti di uno spazio abitativo comprendono la **temperatura dell'aria**, la **temperatura delle superfici** (temperatura radiante), l'**umidità relativa** e la **velocità dell'aria**. La zona del comfort è definita da livelli di umidità relativa compresi tra 30% e 70% e livelli di temperatura compresi tra 18 °C e 26 °C, ma è anche molto legata a orientamenti e abitudini personali e culturali. Il concetto di *temperatura operante*, che vuole essere rappresentativo della sensazione termica complessiva effettivamente percepita in una data situazione, è dato dall'effetto combinato della temperatura dell'aria, della temperatura radiante e della velocità dell'aria.

Il movimento dell'aria all'interno e attorno agli edifici modifica la temperatura delle facce interna ed esterna degli involucri edilizi, per incremento dello scambio termico tra facciata e aria in modo direttamente proporzionale alla velocità dell'aria. Quando la temperatura dell'aria risulta inferiore a quella delle membrature edilizie, un incremento della sua velocità di circolazione può favorire l'abbassamento di temperatura delle ultime, situazione che in estate può essere utilmente utilizzata a fini del raffrescamento. Un aumento della velocità dell'aria all'interno dell'edificio crea una sensazione soggettiva di raffrescamento, anche grazie all'incremento dell'evaporazione diretta dalla pelle delle persone (che tra l'altro è tanto più abbondante quanto più la temperatura radiante e dell'aria è elevata).

### **Fattori ambientali incidenti sul comportamento termico degli edifici**

Le condizioni climatiche esercitano un effetto predominante sul comportamento termico degli edifici.

I parametri principali che descrivono il clima comprendono:

- La quantità di *radiazione solare* media ricevuta annualmente dalle superfici (orizzontali o verticali) intesa in senso unitario e quindi solitamente misurata per mq



- L'andamento delle *temperature dell'aria* a bulbo secco e a bulbo umido (quest'ultima dipende dal livello di umidità relativa)
- La *velocità del vento* e la sua direzione

Il microclima di un sito è definito dagli stessi parametri usati nella determinazione del clima generale dell'area che lo contiene, da cui può comunque differire in modo sostanziale. Per esempio, una condizione frequente nelle aree urbane è rappresentata da situazioni di ombreggiamento, specialmente ai piani inferiori degli edifici, da parte delle costruzioni attigue, con notevole rallentamento della velocità del vento e perdita della sua direzionalità.

Un'altra situazione ricorrente nelle aree urbane è il cosiddetto effetto "isola di calore". Si tratta di un innalzamento delle temperature, specialmente notturne, nelle zone centrali della città, principalmente causato dalla combinazione di due fattori:

- a) insufficiente dissipazione termica radiativa verso il cielo, piuttosto consistente nelle aree sgombrere, a causa della predominanza di superfici verticali, rispetto a quelle orizzontali, che si irradiano a vicenda invece di dissipare il calore verso la volta celeste
- b) l'ostacolo alla penetrazione del vento all'interno delle aree urbane, specialmente nei casi in cui i sistemi viari non sono caratterizzati dalla presenza di assi continui passanti.

Fin dalla fase della creazione del concept e d'impostazione del planivolumetrico, è stata nostra intenzione evitare l'ombreggiamento sulle facciate dei corpi edilizi del progetto, in modo da poter garantire il massimo possibile irraggiamento solare diretto.

Questo obiettivo è stato raggiunto con l'innalzamento dei corpi di un piano rispetto livello terreno e il mantenimento di una distanza tra corpi edilizi contigui, calcolata rispetto alla lunghezza dell'ombra proietta il giorno 21 Dicembre, quando il sole si muove con la più bassa traiettoria rispetto all'asse terrestre. Questa decisione ha impedito uno sfruttamento fitto del terreno edificabile ma ha offerto la possibilità di volontari spettare le condizioni di comfort senza l'impiego di impianti convenzionali di condizionamento.

## **Fattori strutturali incidenti sul comportamento termico degli edifici**

### **Resistenza termica degli involucri edilizi**

Le parti componenti l'involucro edilizio da prendere in considerazione ai fini della scelta delle soluzioni tecniche sono le *pareti*, i *serramenti*, le *vetrazioni* e le *coperture*.

Maggiore è la resistenza termica di una parte dell'involucro edilizio e minore sarà la dispersione calorica attraverso di essa.

Per ciascun materiale, la resistenza termica è proporzionale allo spessore e inversamente proporzionale alla conduttività.

Dalla resistenza termica è possibile ricavare il valore della trasmittanza termica, che è pari al suo reciproco. Dalla trasmittanza termica dipende il flusso di calore in uscita o in entrata attraverso una chiusura opaca dell'involucro edilizio. Quando le pareti perimetrali sono costruite da materiali ad elevata trasmittanza termica elevata, la temperatura della loro faccia interna seguirà piuttosto da vicino quella della loro faccia esterna, (fredda d'inverno e calda d'estate).

Un valore accettabile di trasmittanza termica delle pareti per edifici ordinari dovrebbe essere sempre inferiore a  $0,3\text{W/mq}^\circ\text{C}$ . Sempre nel caso di edifici ordinari, valori pari a  $0,2\text{W/mq}^\circ\text{C}$  sono da considerarsi molto soddisfacenti per le pareti e piuttosto soddisfacenti per le coperture. Valori decisamente soddisfacenti per le coperture sono inferiori a  $0,18\text{W/mq}^\circ\text{C}$ .

## Proprietà radiative delle superfici edilizie

Il fattore di assorbimento e quindi l'emissività relativa alla *radiazione termica*, dipendono soprattutto dalla finitura superficiale in relazione alle caratteristiche dei materiali. I colori chiari sono caratterizzati da fattori di assorbimento bassi, quelli scuri da fattori di assorbimento elevati.

Oggi esistono *superfici selettive* hanno dotate di un elevato fattore di assorbimento solare e di bassa emissività termica. Queste superfici sono molto utili per la captazione solare nei sistemi di guadagno solare in quanto, grazie alle loro favorevoli proprietà radiative, sono in grado di guadagnare molta radiazione solare ma di disperdere solo una quantità modesta di energia termica.

## Inerzia termica

Assieme alla conduttanza e alle proprietà radiative delle superfici, la qualità che più influisce sul comportamento termico degli oggetti architettonici, è la loro capacità termica. La *capacità termica* di un oggetto denota la sua capacità di immagazzinare calore e dipende da due caratteristiche dei materiali da cui esso è composto: il calore specifico e la densità. La capacità termica conferisce agli oggetti l'inerzia termica. L'effetto di inerzia termica, sia di una costruzione nel suo complesso, che delle sue singole parti componenti, consiste nel livellamento dell'andamento delle temperature all'interno dell'edificio e nel suo ritardo rispetto a quello della temperatura esterna.

Fino alla penultima generazione di edifici, l'importanza associata ai fattori di resistenza e di inerzia termica era di ordine simile. Tuttavia, oggi al fattore di resistenza termica viene riconosciuto un valore superiore per gli edifici passivi, rispetto a quello dell'inerzia termica. In questi edifici passivi la trasmittanza termica dell'involucro raggiunge valori di  $0,1-0,15\text{W/mq}^\circ\text{C}$ , e quella dei sistemi di vetratura e serramento valori generalmente compresi tra  $0,8$  e  $1,1\text{W/mq}^\circ\text{C}$ . Per raggiungere livelli di trasmittanza così bassi è necessario l'impiego di spessori consistenti di termoisolante ( $20-25\text{cm}$ ), che comportano spessori murari considerevoli.

Dato lo spessore già elevato degli strati termoisolanti, in genere si evita di aumentarlo ulteriormente collocandovi materiali dotati di massa d'inerzia termica. Pertanto, molti degli edifici passivi sono caratterizzati da valori modesti d'inerzia termica, un fatto che li rende più idonei al riscaldamento che al raffrescamento passivo e di conseguenza più adeguati a climi temperati freddi che ai climi temperati mediterranei del Sud Europa.

Nei climi temperati-freddi la sola presenza del superisolamento, indipendentemente dalla tecnica con cui esso è realizzato, ha importanti ricadute sull'impostazione progettuale degli edifici riducendo l'importanza di una corretta esposizione e forma degli edifici stessi (senza peraltro annullarla del tutto). Anche nei climi caratterizzati da forte differenza di temperatura tra ambiente esterno e vani da climatizzare, in regime termico relativamente statico (tipicamente quelli molto freddi e molto caldi), l'importanza della massa d'inerzia termica è piuttosto scarsa e quella della resistenza termica è notevole. Vice versa, nei climi caratterizzati da ampie oscillazioni delle temperature diurne e notturne e da temperature medie compatibili con i livelli di comfort come quelli nel nostro caso,

l'importanza del fattore d'inerzia termica aumenta a discapito di quella della resistenza termica.

E' presumibile che un edificio passivo pensato appositamente per il clima temperato delle latitudini simili a quelli della Grecia possa giovare di una presenza di masse di inerzia termica più generosa di quanto non avvenga nelle case di ultima generazione realizzate nel Nord Europa. Pertanto, abbiamo adattato una soluzione costruttiva vantaggiosa che prevede un involucro edilizio di alta capacità termica abbinato a isolamento termico collocato in corrispondenza delle superfici edilizie esterne (isolamento a capotto) evitando così anche i ponti termici. In questo modo, all'interno dei vani risulta possibile usufruire dei benefici dell'isolamento termico senza rinunciare a quelli dell'inerzia termica.

Infatti, nel nostro progetto la massa d'inerzia termica è ben rappresentata e si basa su:

- a) Strutture edilizie leggere, in legno o in metallo
- b) Chiusure verticali e coperture realizzate a secco con pannelli e lastre portate da telai leggeri, sempre in legno (con peso 5 - 7 volte inferiori a quelle degli edifici ordinari)
- c) Una significativa massa d'inerzia termica utile localizzata prevalentemente nei solai e nei muri di fondo.

## **I PCM - Phase Change Materials**

Le attuali tendenze di ricerca e di applicazione, hanno mostrato la possibilità di associazione tra strati di isolamento e masse d'inerzia termica artificiale, programmabile sulla temperatura desiderata, grazie al posizionamento nel nucleo interno, o nelle frontiere trasparenti, di strati di PCM (Phase Change Materials).

Questi materiali (sali o paraffine) possono accumulare o rilasciare una grande quantità di calore a una temperatura costante, che è la temperatura del loro cambiamento di fase fisica (da solida a liquida). I PCM sono altamente efficaci e riescono a raggiungere un pari effetto di accumulo di calore con l'impiego di una quantità di materiale 40 volte inferiore in peso rispetto alla stessa prestazione fornita da un nucleo massiccio in calcestruzzo.

Il PCM va scelto secondo la temperatura di comfort desiderata ma il calcolo della quantità e qualità del materiale da applicare è un punto ancora poco sperimentato limitando tuttora l'uso dei PCM nel campo dell'edilizia.

I PCM forniscono all'edificio una massa termica artificiale basata non sulla capacità di accumulo inerziale, come nei materiali tradizionali, ma sul calore latente. Durante il giorno questi materiali passano dalla fase solida a quella liquida immagazzinando il calore in eccesso che altrimenti surriscalderebbe l'ambiente. Durante la notte, al calare della temperatura, il materiale si solidifica nuovamente, cedendo all'ambiente freddo il calore accumulato.

In estate, l'effetto principale dei PCM è quello di smorzare l'onda di calore durante il giorno ed è necessario favorirne lo scarico durante la notte per funzionare nuovamente il giorno seguente. Vice versa, nel periodo invernale il calore accumulato durante le ore calde è rilasciato durante la notte ed è importante prevedere un sistema che permetta di ritardare la perdita di calore.

## **Chiusure verticali opache**

Le strategie che possono essere adottate per riscaldare e raffrescare con strategie di climatizzazione naturali, passive, sono principalmente due: controllare il flusso del calore che passa attraverso le chiusure edilizie (verticali e orizzontali) e aumentare l'inerzia termica degli edifici stessi.

Negli anni, in concomitanza con la crescita delle aspettative di risparmio energetico e comfort ambientale si è assistito a una riduzione della richiesta di trasmittanza termica delle chiusure verticali essere che è scesa fino a valori nell'ordine di  $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$  (o anche meno, nel caso di edifici passivi).

La riduzione del flusso di calore attraverso gli involucri si ottiene mediante l'impiego di materiali termoisolanti e può essere associata o meno con riduzione dell'inerzia termica dell'involucro stesso rispetto ai vani abitativi, in relazione al posizionamento del termoisolante.

L'isolamento termico in una parete può essere collocato in corrispondenza di qualsiasi suo strato, eccezione fatta per gli strati di finitura e protezione delle chiusure stesse. Tuttavia, la sua collocazione sulla faccia interna delle pareti può risultare svantaggiosa poiché impedisce di sfruttare la massa di inerzia termica. Un metodo comune per l'isolamento della faccia esterna delle pareti verticali è quello di fissarvi pannelli isolanti intonacati, creando il cosiddetto isolamento a cappotto. Altri tipi d'isolamento esterno delle chiusure verticali opache sono quello "a vetture" (pannelli attentati) e quello ventilato.

### ***Isolamento a cappotto***

Ha lo scopo è quello di formare sul supporto strutturale un rivestimento termoisolante continuo e privo di ponti termici. L'isolamento a cappotto è di solito realizzato incollando uno strato isolante composto da pannelli termoisolanti rigidi agli strati di supporto di una parete proteggendoli con un intonaco plastico armato da una rete di iuta (nel caso di una scelta di materiale ecosostenibile).

### ***I termoisolanti***

L'impiego di termoisolanti di origine naturale è più vantaggioso ai fini della sostenibilità ambientale, sia perché essi siano più ecocompatibili, sia perché essi incorporano una quantità di energia in genere molto modesta a paragone con gli isolanti minerali e di sintesi. In edifici a consumo energetico molto basso, il tempo di ritorno sull'investimento energetico per l'approntamento di uno strato isolante realizzato a basso contenuto di energia incorporata, come per esempio la fibra di cellulosa, è in genere di pochissimi mesi, mentre il tempo di ritorno per l'approntamento di un isolamento realizzato con materiale termoisolante ad alto contenuto energetico, come per esempio il polistirene, è di alcuni anni. Questo è un elemento di forte vantaggio degli isolanti ecocompatibili.

Tuttavia, siccome questi tipi di isolanti non sono impermeabili devono essere abbinati a intercapedini ventilate o micro ventilate. Ne risulta una maggiore complessità tecnologica e costruttiva, costosa che le rende spesso più costose delle chiusure non ventilate.

La ventilazione delle facciate offre dei vantaggi anche dal punto di vista termico.



Nel nostro progetto, per evitare spessori murari considerevoli, senza rinunciare ad un bassa trasmittanza termica abbiamo deciso di utilizzare un iperisolante. Si tratta di un isolante sottile multistrato, di derivazione aerospaziale, composto da una serie di strati riflettenti metallizzati, intervallati da strati separatori che intrappolano aria ferma. I prodotti più complessi (14 strati) presentano  $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  con uno spessore di 2 cm. Il loro comportamento è basato su tutte le modalità di trasferimento di calore; radiazione, convezione e conduzione.

### ***Facciata ventilata - Raffrescamento ventilativo per convezione termica***

La ventilazione convettiva di origine termica degli edifici è di solito dovuta ad effetto camino. Lo sfruttamento dell'effetto camino è specialmente indicato nei climi caldi e aridi, dove la ventilazione durante il giorno è impossibile e controindicata.

La ventilazione per effetto camino ha luogo quando la temperatura dell'aria all'interno di uno spazio confinato dotato di aperture in alto e in basso è superiore a quella dell'aria esterna. In tali condizioni, l'aria all'interno della cavità risulta anche più leggera, e tende dunque a fuoriuscire dall'alto della cavità-camino, richiamando aria più fresca dalle aperture in basso.

La velocità dell'aria originata dall'effetto camino è proporzionale alla differenza di temperatura con l'aria esterna, all'altezza del camino (in particolare, alla distanza tra le sue aperture in entrata e in uscita che deve comunque superare i 6m), e alle dimensioni delle aperture. L'effetto raffrescante dell'aria, a parità di velocità, cresce con la portata del camino stesso.

### **Chiusure trasparenti**

Le chiusure trasparenti sono gli elementi del sistema tecnologico che hanno il compito di soddisfare i requisiti di benessere degli ambienti interni consentendo illuminazione, ventilazione naturale, visione attraverso, e un adeguato isolamento termico e acustico.

In inverno le temperature superficiali di una lastra di vetro possono essere di molti gradi inferiori alla temperatura dell'aria all'interno dei locali e causare il discomfort ambientale riducendo la temperatura media radiante e generando un'assimetria radiante. Le infiltrazioni d'aria e i moti convettivi associati alla presenza di vetri possono esacerbare questo discomfort. Infine, la radiazione solare diretta, prevalentemente in estate, ma in taluni casi anche in inverno, è fonte di disturbo sia visivo sia termico.

Le soluzioni progettuali e tecnologiche adottate nel progetto cercano di consentire di ottenere il massimo del guadagno solare in inverno e il minimo in estate, per limitare le dispersioni di calore per trasmissione e di raggiungere le migliori condizioni di isolamento acustico e di illuminazione naturale limitando i fenomeni di abbagliamento.

### **Sistema di guadagno solare diretto**

Per il riscaldamento invernale abbiamo adattato il sistema di guadagno solare diretto, lo spazio in cui avviene la captazione della radiazione solare è lo stesso da climatizzare e la funzione di accumulo termico viene espletata direttamente negli spazi abitati. Un tale sistema ha il pregio della semplicità tecnologica e consente, in teoria, un rendimento energetico molto vantaggioso di conversione dell'energia solare in energia termica, in considerazione del fatto che l'energia solare è guadagnata e convertita in calore direttamente nel vano, senza, possibilità che si verifichino dispersioni nel trasporto del

calore. Tale elevato rendimento non è facile da realizzare nella pratica, a causa del fatto che se il sistema fosse progettato per massimizzarne i guadagni solari, al suo interno si rischia di ottenere sbalzi termici eccessivi e abbagliamento luminoso, sia a livello stagionale, sia intragiornaliero. In considerazione a questo fatto, la superficie di chiusura trasparente sugli affacci è contenuta entro certe proporzioni in relazione alla quantità di superficie di pavimento da riscaldare.

La soluzione che abbiamo adattato era quella di, aumentare l'inerzia termica dei vani e schermare la radiazione solare in eccesso con delle schermature interne verticali scorrevoli di colore scuro in modo da assorbire l'irraggiamento, non rifletterlo verso l'esterno, evitando contemporaneamente l'abbagliamento senza rinunciare al guadagno termico.

La riduzione delle superfici trasparenti riduce anche il guadagno solare, e perciò anche l'efficienza del sistema, però di giusto ai fini dell'efficienza, essa comporta che riduce anche le dispersioni termiche, a causa del fatto che le chiusure opache in genere sono caratterizzate da una conduttanza termica minore di quella delle lastre trasparenti.

Aumentare l'inerzia termica dei vani, attraverso un più generoso dimensionamento delle masse d'inerzia termica, era molto utile, ma deve essere valutato e calcolato bene, poiché esistono limiti alla sua efficienza. La prima cosa importante per poter beneficiare dell'accumulo termico è che le masse devono essere esposte direttamente alla radiazione solare, come avviene con lo strato di 10 cm di cemento e PCM, posto direttamente sopra il solaio.

L'irraggiamento indiretto, prodotto dalla luce diffusa, è di efficacia molto più bassa, ai fini dell'apporto energetico, di quello diretto. La misura della profondità dei vani, in particolare, risulta essere piuttosto vincolata da questo tipo di esigenza. Essa non dovrebbe essere di proporzioni tali da essere d'ostacolo all'irraggiamento diretto delle masse accumulanti.

Un modo per far giungere un po' di radiazione solare di tipo diretto anche sulle superfici prive di accessibilità solare diretta è quello di impiegare come masse di accumulo anche i muri di fondo e i soffitti dei vani, sfruttando l'impiego di pavimentazione dalle finiture chiare lucide, parzialmente riflettenti, davanti ai vani di accumulo diretto. La radiazione solare incide sui nostri muri di fondo fino ad una altezza di un metro, e questi muri fino a quella altezza li abbiamo dotati di una massa di inerzia termica, composta da 10 cm di cemento.

In tanti casi, il sovradimensionamento delle masse d'inerzia termica risulterebbe inutile e addirittura sprecante perché la sua efficienza energetica ai fini dell'accumulo termico sono limitati, data la conduttività del materiale stesso. Per esempio, nel caso del calcestruzzo risulterebbe poco utile spingersi oltre i 18 cm e nel caso del laterizio pieno risulterebbe poco utile spingersi oltre i 12 cm; strati più profondi non verrebbero raggiunti dal flusso del calore nei cicli termici giornalieri, ma solo nei cicli più lunghi.

Per ciascun materiale può essere riconosciuto uno spessore massimo utile ai fini della climatizzazione naturale all'interno di un ciclo di 24 ore. Le due ragioni sopra menzionate fanno sì che la massa di inerzia termica nei sistemi di guadagno diretto non possa essere dimensionata oltre un certo limite di quantità, e ciò obbliga la riduzione della superficie vetrata, attraverso la quale avviene il guadagno.

Una limitazione dell'efficienza dei sistemi di guadagno isolato sta nella stretta dipendenza dei rendimenti di tali sistemi dalle soluzioni di finitura e arredo degli spazi interni. Poiché il "caricamento" termico delle masse di accumulo avviene specialmente per irraggiamento diretto, la collocazione di mobili e tappeti in quantità cospicua sul pavimento di un vano ad

accumulo diretto ce causa un minore accumulo da parte delle masse di accumulo e un maggiore sprigionamento immediato nelle ore del guadagno solare.

Un'altra limitazione è quella delle consistenti dispersioni termiche notturne che avvengono dai sistemi di guadagno diretto nel caso essi non siano dotati da un sistema di isolamento a tenuta d'aria da posizionare davanti alle finestre e detrazioni o nei telai stessi. La soluzione di mettere isolanti operabili si è rivelata negli anni scarsamente percorribile da un punto di vista pratico, in particolare a causa del fatto che gli utenti degli edifici sono tenuti a chiuderli di sera e aprirli di mattina, cosa che in genere viene vissuta con fastidio e a lungo andare trascurata.

Una soluzione tecnologica attuale è l'uso delle vetrazioni e serramenti ad alta efficienza termica che possono ridurre di tanto le dispersioni notturne, evitando il ricorso alle schermature isolanti notturne. L'incremento di efficienza termica dei sistemi di detrazione e serramento è dovuta all'impiego di sistemi costituiti da doppi o tripli vetri a bassa emissività e cavità infravetrate riempite con gas termoisolanti, come Argon, Krypton e anidride carbonica e di serramenti in materiali isolanti come PVC o legno o di serramenti metallici a taglio termico.

Per evitare l'eccessiva dispersione termica notturna attraverso le nostre superfici notturne abbiamo impiegato dei serramenti metallici a taglio termico, vetrate doppie, riempite con Argon.

## **Serramenti e vetrazioni**

Il calore viene trasmesso attraverso le finestre per conduzione, convezione e irraggiamento. Quando, per esempio, i raggi solari colpiscono dall'esterno un vetro singolo, una parte della radiazione incidente viene cioè riflessa, senza influire sulla temperatura né del vetro né del vano abitato. Della parte di energia che non viene riflessa dal vetro, una certa quantità riesce a filtrare attraverso di esso, andando a influire direttamente sulla temperatura del vano. Questo perché, dopo avervi fatto eccesso, una parte di essa rimbalza sul pavimento e sulle pareti, oltre che sugli oggetti presenti, ed una parte viene assorbita. Una parte dell'energia in ingresso (quella assorbita) viene quindi riemessa come radiazione nello spettro dell'infrarosso, appunto come calore radiante. E poiché il passaggio delle onde nello spettro dell'infrarosso attraverso il vetro è più difficoltoso di quanto non avvenga nel caso delle onde nello spettro del visibile, la radiazione termica rimane intrappolata all'interno dell'edificio, dandovi luogo a un innalzamento della temperatura.

Vi è poi un'altra parte della radiazione solare incidente sul vetro che non viene riflessa all'esterno ma non riesce neanche a passarvi attraverso: questa parte di energia viene assorbita dal vetro stesso e va anch'essa a influire, in un modo più indiretto sulla temperatura del vano.

Le vetrazioni costituiscono una parte considerevole della superficie dei serramenti. Ne deriva che gran parte della resistenza termica di un serramento dipende dalle vetrazioni. La più importante innovazione del XX secolo nel campo dei serramenti è costituita dalle vetrazioni multiple separate da intercapedini d'aria. Tale soluzione ha consentito di ridurre in modo consistente la trasmittanza termica delle vetrazioni.

L'aumento della resistenza termica delle vetrazioni multiple è dovuto allo spessore d'aria presente tra le due lastre. Quando la distanza tra i vetri è ottimale ai fini della resistenza

termica, indicativamente compreso tra 9-25 mm, la trasmissione avviene soprattutto per irraggiamento e la resistenza termica raggiunge i valori più elevati.

Dal punto di vista costruttivo e produttivo, il problema principale delle vetrazioni multiple sta nella tenuta della sigillatura tra le lastre. Tenuta la cui importanza è determinata dal fatto che la presenza di umidità in corrispondenza dell'intercapedine si tradurrebbe nella formazione di condensa tra i vetri ed eventuale opacizzazione degli stessi. Il problema della tenuta all'aria dei giunti tra vetri e telai è stato risolto dall'impiego dei vetrocamera, che si ottengono chiudendo in modo stagno l'intercapedine lungo i bordi le due lastre. Il telaio interno metallico che costituisce il distanziatore solitamente è in alluminio e trattiene Sali igroscopici, finalizzati ad assorbire l'umidità presente nella cavità stessa. Nei sistemi di vetratura ad alte prestazioni termiche i distanziatori sono però, invece, isolanti polimerici (*bordo caldo*).

Nelle vetrazioni doppie i vetri esterni sono interessati da maggiori escursioni termiche di quelli interni e dunque è importante che essi siano liberi di dilatarsi in modo apprezzabile. Per ottenere questo, la loro tenuta è costituita di solito di guarnizioni e sigillanti elastici.

Il comportamento radiativo delle vetrazioni doppie non dipende dalla distanza tra le lastre, ma dallo spessore e dalle proprietà dei vetri. I fattori aventi l'influenza più significativa sul comportamento radiativo dei vetri sono i fattori di riflessione, trasmissione, e assorbimento relativi alla radiazione solare nel suo complesso, alla radiazione luminosa e alla radiazione termica.

**Vetri a bassa emissività** – l'emissività (di una qualsiasi superficie) relativa alla radiazione elettromagnetica di una certa lunghezza d'onda è uguale al coefficiente di assorbimento (della superficie) relativo a quella lunghezza d'onda. Nel caso dei vetri a bassa emissività, l'obiettivo è quello di evitare l'assorbimento e l'emissione dei raggi nello spettro dell'infrarosso (cioè dello spettro termico, non visibile). I vetri a bassa emissività (cioè a basso coefficiente di emissività) sono infatti caratterizzati dalla proprietà di emettere, e quindi anche assorbire – una bassa quantità percentuale di radiazione infrarossa, sia del tipo solare sia del tipo termico. In un certo senso, un vetro a bassa emissività si comporta nei confronti del calore irraggiato come un vetro riflettente si comporta nei confronti della luce.

Si tratta di vetri in grado di costituire un'efficace barriera alla radiazione elettromagnetica che trasporta calore, in pratica sono vetri che operano un certo isolamento radiativo. Questo è molto importante, perché le dispersioni termiche invernali e i carichi termici estivi sono in larga parte dovuti alla componente radiativa del calore.

Il comportamento dei sistemi di vetrazioni a bassa emissività è dovuto alla presenza di uno (o anche più di uno) sottile strato caratterizzato da bassa emissività costituito da: a) materiale metallico o materiale plastico accoppiato a materiale metallico, ed incollato a una delle facce di una delle due (o più) lastre di vetro (solitamente si tratta della faccia esterna del vetro interno) oppure; b) da materiale plastico accoppiato a materiale metallico sospeso tra i vetri, in modo teso, all'interno dell'intercapedine.

Trasmittanze termiche più basse, che possono arrivare a 1,3-1,5 W/mq°C sono caratteristiche delle vetrazioni doppie basso emissive con cavità riempita di gas di bassa emissività. Si tratta di vetrazioni molto adatte non solo a ridurre le dispersioni, ma anche ad incrementare l'effetto serra e il guadagno solare. Vetrazioni di questo tipo, completate da schermature esterne regolabili, in grado di ridurre i guadagni solari estivi, costituiscono

infatti, sistemi molto efficienti in qualsiasi situazione climatica da un punto di vista termico e luminoso.<sup>1</sup>

Riempimento delle intercapedini tra i vetri con gas termoisolante – Argon o Krypton (gas nobili), o anche anidride carbonica. Questo provvedimento può generare una riduzione della trasmittanza termica dei sistemi-finestra stimabile intorno al 15-20%.

Telai a taglio termico (a bassa conduttanza) – in questo caso specifico, l'incremento della resistenza termica è ottenuto mediante il perseguimento di un'accurata interruzione dei ponti termici. L'importanza dell'interruzione dei ponti termici nei telai dei serramenti è dovuta al fatto che questi occupano una superficie consistente dei vani finestra, di solito compresa tra il 10% e il 30% di quella disponibile. Ai fini di risparmio energetico, il telaio termico è particolarmente imperativo nel caso degli infissi in alluminio, a causa dell'elevata conduttività del materiale.

Impiego di spaziatori a bassa conduttanza tra lastre di vetro – gli spaziatori metallici danno luogo a una conduzione molto consistente, può ridurre notevolmente l'effetto isolante dello strato d'aria, fino a quasi vanificarlo. Per evitare questo, la cavità interna va riempita con materiale termoisolante.

## **Sistemi di schermatura solare**

La funzione delle schermature solari è quella di intercettare parte della radiazione solare incidente sulle chiusure verticali trasparenti (o talvolta opache) o sulle operabili (p.e. aperture delle finestre), impedendo che essa possa fare ingresso attraverso di esse negli edifici e di consentire una successiva dispersione del calore intercettato, o, in subordine, è quella di impedire che la radiazione solare possa raggiungere le zone abitate dei vani.

Le schermature solari svolgono una funzione *termica* e una funzione *luminosa*, che non sempre vanno di pari passo. In base al posizionamento delle schermature, alla loro conformazione (considerate in relazione alla latitudine dei siti di progetto) e alle loro caratteristiche materiche, il loro effetto termico e il loro effetto luminoso può essere concordante o discordante, nel senso che può esservi prevalenza dell'uno o dell'altro, a seconda dei casi.

Ne consegue che l'appropriatezza di una soluzione di schermatura solare deriva anche dall'esistenza di un giusto equilibrio nella risposta della schermatura stessa ad esigenze di tipo termico e luminoso. Equilibrio che, specialmente nel caso di schermature fisse, non è sempre facile da trovarsi. Per questo motivo, la progettazione di schermature solari richiede spesso di definire delle soluzioni di compromesso.

Dal punto di vista termico, le schermature solari sono più efficaci se sono collocati all'esterno di un involucro edilizio piuttosto che sulla sua faccia interna, rivolta verso i vani, perché la prima collocazione garantisce un più rapido e agevole smaltimento del calore accumulato dai corpi schermanti per effetto del guadagno solare. Il motivo di ciò è che nei casi in cui le schermature siano collocate all'esterno, il calore che si accumula su di esse quando intercettano i raggi solari viene disperso prevalentemente per convezione e per irraggiamento verso l'ambiente esterno, senza che tale dispersione vada ad influire in modo molto apprezzabile sulle condizioni igrotermiche e luminose dei vani. In ragione di questo fatto, le schermature esterne consentono un consistente riduzione del guadagno

---

<sup>1</sup> Gian Luca Brunetti, *Architettura pratica*, vol. 2, Sistemi Editoriali, Napoli 2006.



solare, che può raggiungere o superare l'80%. I principali inconvenienti derivanti dal posizionamento esterno delle schermature sono di tipo costruttivo, e di impatto estetico. Noi abbiamo cercato di integrare le schermature con il corpo edilizio, creando una struttura di sostegno esterna. La struttura esterna dà la possibilità a queste schermature mobili di muoversi in tre direzioni che hanno la forma di un triangolo. Il conseguente vantaggio è quello di poter schermare efficacemente senza impedire le viste verso l'esterno, le superfici vetrate verticali e le superfici opache orizzontali.

Le schermature interne, collocate sul versante interno di chiusure trasparenti, risultano occultate dalla vista, di più facile manutenzione, e protette dagli agenti atmosferici, e quindi anche riparati dalle sollecitazioni del vento. Tutti motivi per i quali esse in tale posizione risultano più economiche delle schermature esterne. Tuttavia l'effetto termico di schermature così collocate è meno soddisfacente ai fini della riduzione del guadagno solare di quello delle schermature esterne. Il motivo è che il calore guadagnato da esse per effetto della radiazione solare, viene successivamente da esse disperso per convezione e anche irraggiamento nei vani anziché verso l'ambiente esterno.

A differenza di quanto accade nel caso delle schermature esterne, le proprietà radiative delle superfici delle schermature interne risultano determinanti per l'effetto termico delle schermature. Nel nostro caso il fattore di riflessione delle schermature è basso, essendo delle schermature scure e opache, in grado di assorbire gran parte dei raggi solari in arrivo e di rimmetterli come radiazioni infrarosse, le quali non potendo passare attraverso i vetri, contribuiscono a dare luogo all'effetto serra, ossia all'innalzamento della temperatura dei vani interni. Per questi motivi la riduzione del guadagno solare che le schermature interne generano è limitata. La funzione per la quale le abbiamo impiegate, risulta dunque soprattutto essere di natura luminosa.

Nel caso in cui le schermature siano caratterizzate da un fattore di riflessione elevato (come accade nel caso delle superfici di colore chiaro e lucide e, ancor più, nel caso delle superfici metalliche lucide), esse, riflettono gran parte della radiazione solare in arrivo senza assorbirla. E nel caso in cui le schermature siano interne, la radiazione riflessa dalle schermature, essendo di tipo solare (non termico), può passare attraverso le vetrazioni senza contribuire in modo consistente all'innalzamento della temperatura dei vani. La riduzione del guadagno solare operata da una schermatura a lamelle metalliche lucide collocate all'interno dei vetri può giungere il 50%.

Una altra ipotesi è quella di una vetratura multipla includente l'intercapedine, a sua volta ospitante le schermature.

I sistemi di schermatura si dividono in 3 grandi sottoinsiemi. Sistemi a schermatura orizzontale, sistemi di verticale e a griglia.

Un altro sistema è quello delle schermature verdi. La capacità di autoregolazione delle schermature verdi nelle possibilità, è di duplice natura. La autoregolazione si verifica nelle piante a foglie caduche, che sono in genere latifoglie.

## **Il raffrescamento passivo degli edifici**

Probabilmente a causa del fatto che i paesi del mediterraneo d' Europa sono stati, finora, meno attivi di quelli dell' Europa centrale e settentrionale nelle sperimentazioni nel campo del risparmio energetico, il tema del raffrescamento passivo a oggi è stato meno affrontato e approfondito di quello del riscaldamento passivo.

Il problema generato dalla carenza di sperimentazioni su casi reali nel campo del raffrescamento passivo è accresciuto in primo luogo dal fatto che il raffrescamento passivo sotto molti punti di vista è più complesso da ottenere e regolare del riscaldamento naturale.

Esistono però numerose altre soluzioni propizie al raffrescamento passivo, ma, se non controllabili (rimovibili o annullabili) sfavorevoli per il riscaldamento passivo.

Tra queste vi sono:

- La schermatura solare delle chiusure vetrate
- L'abbondante ventilazione delle intercapedini o delle cavità presenti nelle pareti e nelle coperture, nel caso in cui esse siano del tipo ventilato o micro ventilato
- Le torri di ventilazione
- Morfologie edilizie e posizione delle aperture idonee alla ventilazione passante, specialmente nel caso in cui i serramenti adottati non presentino una tenuta elevata rispetto alle infiltrazioni d'aria
- L'altezza elevata dei vani edilizi, accentuante la stratificazione in altezza dell'aria in base dell'aria in base a differenza di temperatura
- La configurazione a corte e a patio dei corpi edilizi
- La presenza di specchi d'acqua, corsi d'acqua e vegetazione.

In linea generale, in climi temperati, quali quelli greci, sia le esigenze di riscaldamento, sia quella di raffrescamento sono importanti. E in diverse realtà Greche le esigenze di raffrescamento naturale in termini sia di comfort, sia di costi sono addirittura superiori a quelle connesse al riscaldamento.

Le possibili strategie di raffrescamento passivo, che devono sempre essere abbinate all'intercettazione della radiazione solare mediante schermature, sono quella del *raffrescamento radiativo*, del *raffrescamento evaporativo*, del *raffrescamento ventilativo*, e del *raffrescamento geotermico*.

La strategia del **raffrescamento radiativo** verso il cielo è efficiente di notte e in presenza di cieli sgombri, non coperti. Questa tecnica fa aumentare le dispersioni termiche per irraggiamento verso la volta celeste.

## **Raffrescamento evaporativo**

Il *raffrescamento evaporativo* ha luogo perché l'acqua evaporando sottrae calore all'ambiente. Nei sistemi di raffrescamento passivo basati sul raffrescamento evaporativo si distingue in diretto (nel caso delle vasche d'acqua) e indiretto (nel caso della nebulizzazione di gocce d'acqua nell'aria). Il raffrescamento evaporativo di modo indiretto è più efficace di quello di tipo diretto, perché la superficie complessiva delle goccioline di acqua nebulizzata è molto elevata, così che quindi, è maggiore l'evaporazione, e quindi il raffrescamento a cui questa soluzione dà luogo a parità di volume d'acqua. Questo in

considerazione del fatto che le gocce, essendo di piccola dimensione, sono caratterizzate da un rapporto superficie/volume molto alto.

Anche la vegetazione dà luogo ad un raffrescamento evaporativo apprezzabile, di tipo diretto. Si tratta, in questo caso, più precisamente, di evapotraspirazione.

Un importante limite di applicabilità della strategia di raffrescamento evaporativo è dovuto al fatto che essa è perseguibile solo nel caso in cui l'umidità relativa non sia elevata, prima di tutto perché l'evaporazione dell'acqua in ambienti che siano quasi saturi di vapore acqueo e quindi il suo potenziale effetto raffrescante – è minore, e in secondo luogo perché in questi casi l'evaporazione avviene in ambienti già carichi di umidità, li rende ancora più umidi e quindi insalubri.

## **Raffrescamento ventilativo**

La ventilazione può essere dovuta al vento o può essere di origine termica, ossia dovuta alle differenze di temperatura dell'aria. La prima dipende dalla velocità del vento, dalla posizione e dalla forma degli edifici e dalla conformazione delle facciate edilizie, e la seconda dal fatto che vi siano delle differenze di temperatura consistenti tra un ambito spaziale ed un altro comunicante con il primo.

### *Raffrescamento ventilativo da vento*

Gli sporti edilizi, orizzontali e verticali, giocano un ruolo importante nel indirizzare i flussi ventilativi e dunque nel convogliarli nelle direzioni più favorevoli alla ventilazione dei vani. Un esempio molto caratteristico sono le torri di ventilazione Iraniane, la cui apertura superiore è orientata verso la direzione di arrivo dei venti prevalenti e conformata per catturare il vento e convogliarlo ai piani inferiori.

### *Raffrescamento ventilativo per convezione termica (camino solare)*

Non in tutti i siti di progetto la velocità del vento in estate è sufficiente a garantire all'interno dei vani un movimento dell'aria soddisfacente ai fini del raffrescamento. In queste situazioni, e in generale nei casi in cui vi sia necessità di ventilazione in carenza di vento, una strategia di ventilazione adottabile senza controindicazioni è quella generata da differenza di temperatura di certe masse d'aria rispetto ad altre masse d'aria.

La ventilazione convettiva di origine termica degli edifici è di solito dovuta ad effetto camino. Lo sfruttamento dell'effetto camino è comunque specialmente indicato per i climi caldi e aridi, dove la ventilazione durante il giorno è impossibile o controindicata. In questi casi, l'effetto camino viene sfruttato durante la notte per fare sì che l'aria fresca carichi le strutture pesanti degli edifici.

La ventilazione per effetto camino ha luogo quando la temperatura dell'aria all'interno di uno spazio confinato (per esempio un vano, o un ampio condotto) dotato di aperture in alto e in basso, è superiore a quella dell'aria esterna.

La velocità dell'aria originata dall'effetto camino cresce con la differenza di temperatura tra l'aria esterna e interna al camino, con l'altezza del camino (in particolare alla distanza tra le sue aperture in uscita e in entrata), e con la grandezza delle aperture, e l'effetto raffrescante dell'aria, a parità di velocità, cresce con la portata del camino stesso. E affinché tale ventilazione sia accettabilmente influente sul raffrescamento, è necessario che l'altezza del camino sia di almeno 6 m.

La ventilazione per effetto camino è spesso operata nei camini solari. Si tratta di torri concepite per far sì che l'aria presente al loro interno si scaldi il più possibile. Nella maggior parte dei casi, più precisamente, concepite per far sì che l'aria alla loro sommità si scaldi il più possibile, perché ciò risulta più semplice da un punto di vista pratico che far scaldare l'aria alla loro base. Il rischio che il riscaldamento della sommità del camino possa dare luogo a discomfort termico degli abitanti è più ridotto. In genere la strategia adottata per riscaldare la sommità di un camino prevede lo sfruttamento dell'energia solare, mediante vetrazioni e/o impiego di superfici nere. Le masse d'aria contenute all'interno del camino scaldandosi fuoriescono dalla sommità del camino stesso, creando appunto una depressione al suo interno e richiamando nuove masse di aria più fresca dalle aperture poste inferiormente.

Un consistente vantaggio della ventilazione per effetto camino, e di conseguenza, dei camini solari, è che è affidabile: in genere quando serve c'è. Il suo vantaggio non è l'intensità. E' che essa, in un certo senso, si autoregola.

## **Raffrescamento geotermico**

La strategia del raffrescamento geotermico si basa sul fatto che la temperatura del terreno al di sotto dei 6 metri di profondità è pressoché stabile per tutto l'anno, e attestata intorno a quella media annua dei siti specifici. Si tratta perciò di una temperatura che alle, in una maggioranza di situazioni, è più bassa di quella del comfort. Questo consente di utilizzare il terreno come una sorgente di fresco per il raffrescamento estivo- oltre che come un sorgente di calore ai fini del riscaldamento invernale, estraibile mediante le pompe di calore.

Le pompe di calore, possono anche essere utilizzate con ciclo inverso, per raffrescare gli edifici, ma in questo caso l'apporto del terreno non è necessario, può esservi o non esservi. Nel caso del riscaldamento, infatti il terreno serve per preriscaldare l'aria da cui estrarre calore. Ma nel caso del raffrescamento, la pompa di calore che preleva calore dall'interno dell'edificio non deve per forza scaricarlo nel terreno, riscaldandolo: tale calore può infatti essere anche liberato direttamente nell'aria esterna, perché tale strategia ne favorisce la dispersione.

Un'altra differenza tra riscaldamento geotermico e raffrescamento geotermico degli edifici è che il riscaldamento geotermico, se non operato mediante l'impiego di pompe di calore, può servire a fornire calore per pre-riscaldare l'acqua o l'aria del riscaldamento, poiché la temperatura del terreno non è sufficientemente alta per riscaldare direttamente i vani abitati, mentre se operato mediante l'impiego di pompe di calore, può bastare a portare l'aria o l'acqua del riscaldamento alle temperature desiderate. Nel caso del raffrescamento, il fresco del terreno prelevato dal terreno può invece essere direttamente utilizzato per raffrescare i vani sia in nel casi in cui il fresco sia prelevato senza l'impiego di pompe di calore, sia in cui sia prelevato con impiego di pompe di calore.

L'efficienza energetica del raffrescamento geotermico è generalmente superiore a quella del riscaldamento. Gli impianti di raffrescamento geotermico sono in grado di fornire il 25% del fabbisogno energetico per il raffrescamento.

Il calore o il fresco siano catturati mediante scambiatori di calore. Gli scambiatori servono per trasmettere il calore o la frescura all'aria per la climatizzazione dell'edificio, nel caso in cui questo sia climatizzato ad aria, o all'acqua nel caso in cui il suo impianto di climatizzazione attiva o semiattiva sia ad acqua.

Il clima favorevole di Atene, con dei valori di umidità relativa bassi durante i mesi estivi, ci ha indirizzato al adattamento di una strategia di **raffrescamento passivo ad evaporazione d'acqua**.

Il raffrescamento in corrente d'aria discendente è un'alternativa energeticamente efficiente, conveniente ed ecologica ai tradizionali sistemi di condizionamento dell'aria, applicabile ad edifici esistenti o di nuova costruzione. In visione della sempre crescente domanda per i sistemi di condizionamento, esso rappresenta una notevole opportunità per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da edifici.

Il raffrescamento in corrente d'aria discendente sfrutta gli effetti della forza gravitazionale su una massa di aria (relativamente fredda) con creazione di una corrente discendente che sposta l'aria dalla fonte di raffrescamento alle zone occupate dell'edificio. Tale fonte può essere 'passiva' o 'attiva'.

### **Raffrescamento passivo ad evaporazione d'acqua.**

Il clima favorevole di Atene, con dei valori di umidità relativa bassi durante i mesi estivi, ci ha indirizzato al adattamento di una strategia di **raffrescamento passivo ad evaporazione d'acqua**.

Il raffrescamento in corrente d'aria discendente è un'alternativa energeticamente efficiente, conveniente ed ecologica ai tradizionali sistemi di condizionamento dell'aria, applicabile ad edifici esistenti o di nuova costruzione. In visione della sempre crescente domanda per i sistemi di condizionamento, esso rappresenta una notevole opportunità per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> da edifici.

Il raffrescamento in corrente d'aria discendente sfrutta gli effetti della forza gravitazionale su una massa di aria (relativamente fredda) con creazione di una corrente discendente che sposta l'aria dalla fonte di raffrescamento alle zone occupate dell'edificio. Tale fonte può essere 'passiva' o 'attiva'.

#### *Raffrescamento passivo in corrente d'aria discendente*

La corrente discendente passiva si crea dall'evaporazione dell'acqua all'interno di una corrente d'aria. Questo fenomeno è definito PDEC (Passive Draught Evaporative Cooling) – raffrescamento passivo in corrente d'aria discendente. L'uso corretto del PDEC avviene in condizioni di clima caldo e asciutto. Nel sud dell'Europa il PDEC può coprire dal 25% all'85% della domanda di raffrescamento di un edificio non residenziale (l'equivalente di 15-60 chilowattora/m<sup>2</sup> pa). In edifici residenziali il carico di raffrescamento può essere ridotto fino a sotto i 15 chilowattora/m<sup>2</sup> pa (standard Passivhaus).

#### *Raffrescamento attivo in corrente d'aria discendente*

In condizioni di elevate temperatura e umidità, è di corretto impiego il raffrescamento attivo ottenuto mediante l'impiego di acqua raffreddata con spirali o pannelli da raffreddamento. Questo sistema evita l'impiego di ventilatori ed è pertanto associato ad un risparmio energetico nella misura del 25-35% del carico elettrico per un edificio non residenziale nonostante il ricorso a mezzi meccanici. Un ulteriore vantaggio di questo sistema è che non richiedono l'installazione di ingombranti unità di ventilazione o di conversione e le loro relative tubature.

#### *Raffrescamento ibrido*



Un sistema ibrido di raffrescamento in corrente d'aria discendente combina entrambi i meccanismi 'passivo' ed 'attivo'. Questo sistema è adatto per l'impiego in condizioni di temperatura comunque elevata ma che può essere associata sia a bassa umidità (con uso di PDEC) che a umidità elevata (ricorrendo in questo caso a spirali di raffreddamento dell'acqua).

Gli impianti di raffrescamento tradizionali ricorrono all'uso di ventilatori per condurre l'aria fresca alle zone occupate dell'edificio. Vice versa, il meccanismo per la distribuzione dell'aria dei sistemi di raffrescamento in corrente d'aria discendente si basa sui naturali processi di galleggiamento o di ventilazione naturale. Il conseguente risparmio è doppio derivando dalla riduzione sia dei costi dell'energia sia di quelli dell'impianto stesso. Tipicamente, il costo dei sistemi PDEC/raffrescamento ibrido è paragonabile a quello del comfort cooling, mentre i sistemi di aria condizionata comportano una spesa significativamente superiore.

In termini di percentuale sul costo totale di un nuovo edificio, quello del PDEC rappresenta una porzione che varia dal 4 al 12%, in confronto al 19-23% per un convenzionale impianto di condizionamento. Tali percentuali si raddoppiano se si considerano i costi di rinnovamento di un edificio preesistente. Dettagliate analisi condotte in Europa, Cina ed India, che hanno calcolato il costo per ciclo vitale dell'impianto, hanno rivelato che il sia la tipologia passiva che quella ibrida si associano a significativi risparmi in termini di costo per ciclo vitale dell'impianto.

## Origini

La tradizione di "raffrescamento senza condizionatori d'aria" comprende una serie di soluzioni architettoniche che trovano le loro origini storiche nell'antico Egitto. In seguito si espansero verso Est, attraverso il medio oriente e Iran fino all'India del Nord e all'Impero Moghul, e verso ovest, attraverso l'Africa settentrionale fino al Sud della Spagna.

In Medio Oriente furono sviluppate diverse tecniche per ottimizzare il passaggio d'aria e il raffrescamento evaporativo, sia all'interno che tra gli edifici. Bahadoori descrive i sistemi di raffrescamento, basati sull'uso di "torri di vento" e di vasi d'acqua porosi, utilizzati in Iran per diversi secoli. Questi raccoglitori di vento veicolavano l'aria esterna, facendola passare sopra una serie di vasi porosi contenenti acqua, e la conseguente evaporazione comportava una significativa riduzione di temperatura dell'aria prima del suo ingresso nel locale. Nel nord dell'India i palazzi e i giardini Moghul sfruttavano il raffrescamento evaporativo per scopi estetici e di controllo della temperatura. L'uso di sottili tubi d'acqua ('salsabil') e di altre tecniche di evaporazione fu di frequente riscontro nell'architettura Moghul tra il 13° e il 17° secolo.

Le forme e le espressioni architettoniche di questi edifici derivarono dal bisogno di rispondere a un contesto non solo culturale ma anche climatico, creando ambienti abitabili e confortevoli nonostante le condizioni talvolta estreme.

Circa cinquant'anni fa, Reyner Banham cominciava a formare un approccio innovativo alla storia dell'architettura. 'The Architecture of the Well Tempered Environment' (l'architettura dell'ambiente ben temperato) narrava l'impatto che ha avuto l'ingegneria edilizia sul processo di progettazione nell'architettura contemporanea e il ruolo dell'architetto all'interno della squadra di design.

L'invenzione (da parte di Willis Carrier nel 1906), dei sistemi meccanici di condizionamento d'aria ebbe una profonda influenza sull'architettura. Una delle ricadute che ha avuto l'introduzione di questi sistemi fu la perdita del ruolo, svolto fino ad allora dalla forma e dalla composizione degli involucri architettonici, di moderatori fondamentali della temperatura esterna sull'ambiente interno. Questo processo causò la perdita, da parte di molti architetti, dell'interesse e della conoscenza delle funzioni di controllo ambientale esercitate dallo stesso edificio. Infatti, in molti edifici moderni, l'involucro esterno non fa altro che incrementare la dipendenza dall'impianto di condizionamento meccanico come mezzo unico per ottenere un ambiente interno vivibile. Questo fu un processo graduale, che risparmiò molte delle grandi menti dell'architettura del 20° secolo. Tuttavia, verso la fine di quel secolo il controllo dell'ambiente interno divenne di dominio quasi esclusivo dell'ingegnere.

I tempi cambiano e oggi molti (tra architetti e ingegneri) credono che non sia più accettabile che l'ingegnere debba correggere con la forza quello che altri non sono riusciti a ottenere mediante una corretta progettazione. È rinato l'interesse verso un ricco, variegato e sottile vocabolario architettonico capace di moderare efficacemente l'impatto dell'ambiente esterno su quello interno ottenendo, allo stesso tempo, un guadagno termico ed estetico, senza dipendere interamente dall'intervento meccanico. La ricerca continua di alternative ai convenzionali sistemi di condizionamento d'aria, oggi riconosciuti come un significativo contribuente al riscaldamento globale e alle mutazioni climatiche, ha portato alla ribalta i principi di controllo ambientale attraverso la manipolazione delle forme architettoniche e dei materiali edilizi. In sintesi, dei principi 'passivi' di progettazione in grado di favorire il raffrescamento senza ricorso ad aria condizionata.

Molti architetti contemporanei stanno tornando alle tecniche del passato, quali il raffrescamento in corrente d'aria discendente. L'egiziano Hassan Fathy, ben cosciente del fatto che il suo paese fu l'origine di questa tradizione, fu il primo a riprendere questa tecnica sviluppandola per il raffrescamento di scuole e altri edifici. Spesso, tale corrente d'aria veniva ulteriormente incrementata dalla cattura e indirizzamento del vento con metodi simili a quelli delle tradizionali torri di vento. Anche Bahadoori propose tecniche basate sul miglioramento delle tradizionali torri di vento iraniane.

La necessità di ridurre la spesa energetica legata ai sistemi di raffrescamento e la ricerca di alternative ai convenzionali sistemi di condizionamento, risultò nella comparsa di edifici sperimentali in diverse parti del mondo. Molti aspetti delle tradizioni descritte sopra sono stati rivisitati anche dai progettisti del sito dell'Expo mondiale tenutasi a Siviglia nel 1992. Un esempio furono le 'cool towers' alte 30 metri situate in Avenue of Europe, che impiegavano delle bocchette per la nebulizzazione dell'acqua ad alta pressione, allo scopo di generare il raffrescamento in corrente d'aria discendente. Questo esempio di PDEC, impiegato oggi nell'edilizia, possiede un potenziale inestimabile come alternativa ai convenzionali sistemi di condizionamento.

Il primo esempio di applicazione su grande scala dei sistemi di raffrescamento in corrente d'aria all'interno di un edificio fu il 'Torrent Research Centre' di Ahmedabad (India) fu seguito dal loro impiego in una vasta gamma di edifici in diverse parti del mondo.



Figura 27: yazd wind tower

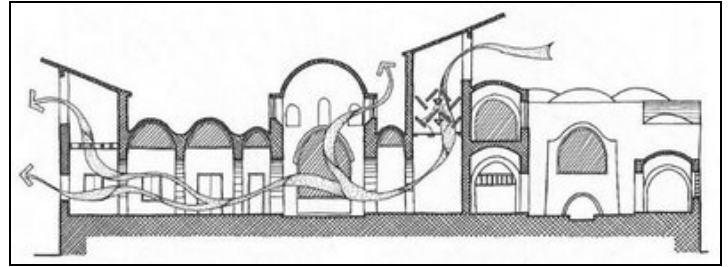


Figura 28: Hassan Fathy. Torri di ventilazione realizzate in Egitto



Figura 29: Torrent research centre, Ahmedabad, India

## Principi e strategie

### *Strategie di design basate sul raffrescamento passivo*

Il termine raffrescamento 'passivo' (al contrario di quello 'attivo') si riferisce allo sfruttamento della caduta di calore ambientale per ottenere il raffrescamento (Givoni B, 1994). Tali cadute comprendono i cambiamenti notturni nelle temperature dell'aria esterna,

del suolo e del cielo, e l'evaporazione d'acqua. Il calore può essere tolto dall'interno di un edificio attraverso il movimento di aria o acqua tra lo stesso e la fonte di caduta di calore esterna.

## **Evaporazione**

Il raffrescamento risultante dall'evaporazione dell'acqua fu sfruttato in vaste parti dell'Europa del Sud, il medio oriente e l'india settentrionale per molti secoli. In linea generale, i sistemi evaporativi consentono una riduzione della temperatura dell'aria nell'ordine del 70-80% della depressione bulbo secco / bulbo umido. Naturalmente tale differenza ammonta a pochi gradi soltanto in condizioni elevata umidità, ma può raggiungere e persino superare i 12°C in condizioni di relativa secchezza dell'aria. Il limite superiore di applicabilità dei sistemi di raffrescamento evaporativo diretto è considerato una temperatura a bulbo umido del 24°C. Come nel caso del raffrescamento convettivo, il controllo della velocità di evaporazione e della corrente d'aria, ottenuto mediante bocchette di ventilazione, è vitale per l'ottimizzazione della performance dell'impianto evitando l'umidificazione eccessiva dell'ambiente.

Il raffrescamento evaporativo è il risultato del calore latente della vaporizzazione, dato dalla quota di energia necessaria per convertire una massa d'acqua dal suo stato liquido a quello gassoso/vaporoso (che equivale circa a 2260 kJ kg<sup>-1</sup>). Questa quota è notevolmente superiore al calore specifico necessario per aumentare la temperatura della stessa unità di massa d'acqua (4.18 kJ kg<sup>-1</sup>). Nel raffrescamento evaporativo, tale energia è fornita dall'aria ambientale i cui contenuto di calore e capacità di immagazzinare il vapore sotto forma di aria umida sono indicati dalla temperatura a bulbo secco e dall'umidità relativa, rispettivamente. Il trasferimento dell'energia di calore dall'aria ambientale all'acqua provoca il processo di cambiamento di stato riducendone la temperatura (Bowman et al, 2001).

## **Applicazioni moderne – sistemi e componenti**

Il raffrescamento in corrente d'aria discendente si basa sugli effetti della forza gravitazionale su una massa d'aria (relativamente) fredda, che risulta nella sua discesa e conseguente circolazione dalla fonte del raffrescamento alle zone occupate dell'edificio. La fonte dell'aria fresca può essere 'passiva' (p.es data dall'evaporazione dell'acqua) o 'attiva' (es. da acqua raffreddata da spirali o pannelli di raffreddamento). La corrente di discesa può essere ulteriormente rafforzata (o indebolita) dagli effetti del vento, ma più di frequentemente si basa sul solo principio di galleggiamento.

Il raffrescamento passivo in corrente d'aria discendente (PDEC) implica la creazione di una corrente discendente di aria fresca attraverso l'evaporazione dell'acqua all'interno di una corrente d'aria.

## **Le torri di nebulizzazione**

La quantità di raffrescamento ottenuta mediante questi sistemi è inversamente proporzionale alle dimensioni delle gocce ottenute all'interno dell'impianto. Le bocche di nebulizzazione trovano da anni il loro impiego nei giardini botanici e nelle industrie alimentari e chimiche. L'uso di bocche di nebulizzazione ad elevata pressione

(micronisers) per provocare il raffrescamento in corrente discendente all'interno della 'Avenue of Europe' dell'Expo di Siviglia, e la ricerca alla base di quest'applicazione rappresentarono il primo impiego su larga scala di questa tecnologia nella contemporanea Europa del Sud ed è oggi di frequente riscontro nei locali all'aperto. Vice versa, la prima applicazione su grande scala di questo sistema di raffrescamento all'interno di un edificio fu rappresentato dal 'Torrent Research Centre' in India, dove la nebulizzazione ha comportato un efficace raffrescamento di laboratori e uffici di una struttura di ricerca farmaceutica. I recenti sviluppi nella tecnologia di nebulizzazione a bocchetta hanno consentito di ottenere un'efficiente evaporazione già a basse pressioni.

### ***Integrazione dei sistemi***

L'integrazione efficace dei sistemi di raffrescamento richiede una stretta collaborazione tra architetto, per decidere le fenestrazioni, ed ingegnere per attuarle e controllarle. Quando possibile, è preferibile combinare la presenza sia di ventilatori a controllo automatico (situati in altezza, fuori dalla portata degli occupanti), con quella di ventilatori controllati dagli utilizzatori dei locali. Infatti, la percezione di un controllo sulle proprie condizioni ambientali migliorerà l'accettabilità del sistema da parte degli occupanti. L'impiego di ventilatori automatici ma con l'opzione di inserimento di controllo manuale (con ritorno alla posizione di default dopo un lasso di tempo prefissato) può essere altrettanto efficace.

'Flow Blurring' - la tecnologia ideata da Ingeniatrics si è dimostrata la tecnologia pneumatica per la generazione di nebulizzatori fini, a più elevato risparmio energetico. Essa è in grado di nebulizzare i getti d'acqua in minuscole goccioline, di diametro inferiore a 15 micron, già alle basse pressioni. Per esempio, ciascuna bocchetta è in grado di frammentare un gettito di un lph con una pressione inferiore a 2 bar.

### **Sistemi di guadagno indiretto – Pannelli fotovoltaici**

I pannelli fotovoltaici impiegati in edilizia sono generalmente composti da due lastre di vetro trasparenti, traslucide e/o colorate, tra cui sono collocate celle di silicio tenute assieme da fogli di resina. Un pannello fotovoltaico può essere concepito per lasciare filtrare luce in ingresso o per schermarla.

Perché il loro rendimento sia soddisfacente, essi devono essere mantenuti a temperature non elevate. La loro inclinazione può essere verticale o pari alla latitudine di un sito, a seconda del caso in cui si voglia privilegiare la produzione elettrica invernale o si voglia dare luogo ad un compromesso tra esigenze estive ed invernali.

I moduli fotovoltaici sono costituiti generalmente da 50-60 celle di silicio mono o policristallino disposte su diverse file (4 o più) collegati in serie. I moduli collegati tra di loro in serie formano un pannello. Un insieme di pannelli, collegati in serie costituiscono una stringa, e più stringe collegate assieme, generalmente in parallelo, costituiscono un generatore fotovoltaico.

La corrente continua prodotta dai generatori fotovoltaici è trasformata in corrente alternata da un inverter.

Un pannello fotovoltaico di più o meno 1,5 mq produce la potenza di circa 0.23 KWp di energia elettrica (dati relativi ad un'impianto realizzato nel nord Italia).



## Sistema costruttivo

Per il nostro progetto abbiamo deciso di impiegare un sistema costruttivo basato sulla costruzione di nuclei di cemento armato (prefabbricati e montati in opera) contenenti una **tasca** orizzontale lungo tutta la sezione, di profondità di 10 cm. In queste tasche vengono incastrati i nostri pavimenti composti di travetti di **legno lamellare** incollati tra di loro, anch'essi assemblati in fabbrica, trasportati e montati in cantiere. Il pavimento di legno, dopo essere incastrato nel nucleo di cemento armato, va ad appoggiarsi sulla struttura esterna dell'involucro, realizzata con montanti e travi di legno. In questo modo si ottiene una struttura statica del tipo incastro-appoggio, che permette, dimensionando e calcolando la sezione dei travetti, di arrivare a dei luci notevoli (tra 8 e 9 metri), liberando gli spazi interni di qualsiasi ingombro di pilastri.

Le caratteristiche del legno quali la sua leggerezza, resistenza al fuoco, prestazione antisismica e sostenibilità ambientale lo rendono molto competitivo e un materiale di costruzione eco-sostenibile per eccellenza

## La scelta del materiale – il Legno.

Per le sue caratteristiche (lavorabilità, elasticità, elevata resistenza a flessione, buona resistenza a compressione, sostenibile ciclo di vita) il legno si presta bene a essere utilizzato nell'edilizia. Il legno si presenta come uno dei materiali più rispondenti alle necessità del XXI secolo: ecologico ed economico per eccellenza, è naturale, rinnovabile, riciclabile e totalmente biodegradabile. La sua lavorazione ha un basso impatto ambientale e i suoi scarti possono essere una preziosa risorsa energetica; in più ha bassi costi di trasformazione e di costruzione.

Inoltre, il legno è estremamente versatile, come dimostra la molteplicità di usi che ne hanno fatto le diverse culture architettoniche e ha qualità estetiche proprie e inconfondibili grazie alla grande varietà di colori, di tessiture e di consistenza che presentino le varie essenze legnose.

Il legno è una delle più antiche materie prime impiegate dall'uomo in edilizia e, allo stesso tempo, l'elemento fondamentale di una serie di materiali da costruzione tecnologicamente evoluti (*engineered wood products*). I nuovi prodotti di derivazione legnosa, ottenuti attraverso processi industriali finalizzati a migliorare le prestazioni in termini di resistenza meccanica, durabilità e sostenibilità ambientale, consentono di impiegare il legno in piena sicurezza, senza limitazioni dimensionali e con una buona uniformità qualitativa e prestazionale, contribuendo ad accrescere la competitività delle strutture in legno.

Come materiale da costruzione, rispetto ai metalli, ai polimeri sintetici e ai materiali di origine minerale (vetro, ceramica, pietra e calcestruzzo), il legno massiccio e gran parte dei prodotti legnosi presentano i seguenti vantaggi:

- Notevole leggerezza con conseguente ottimo rapporto peso/ prestazioni;
- Bassa conduttività ed elevata inerzia termica;
- Elevata sicurezza antisismica e antincendio;
- Struttura porosa ed permeabile, con elevata igroscopicità, che contribuisce al miglioramento della qualità dell'aria all'interno dell'edificio;

- Elevata durabilità e resistenza ai comuni agenti della corrosione;
- Sostenibilità ambientale del ciclo di vita (rinnovabile, riciclabile, accumulatore di CO<sub>2</sub>).

Per quanto riguarda, in particolare il comportamento al fuoco, le prestazioni risultano addirittura migliori rispetto ai materiali tradizionali. Nonostante si un materiale combustibile, caratteristica del legno è, infatti, quella di bruciare molto lentamente e con velocità costante (circa 1 mm/ min) dall'esterno verso l'interno; la carbonizzazione che ne consegue riduce gradatamente la sezione resistente prevenendo crolli improvvisi e nello stesso tempo protegge la parte centrale in quanto il materiale carbonizzato presenta una conduttività termica molto inferiore a quella del materiale in opera. La rottura del materiale avviene pertanto non per improvviso decadimento delle caratteristiche meccaniche del materiale, come nel caso dell'acciaio, ma a seguito della avvenuta riduzione della sezione dell'elemento stesso (in un tempo compreso fra alcuni minuti e alcune ore, in funzione delle dimensioni della sezione e della specie legnosa).

Vanno inoltre sottolineati i vantaggi derivanti dall'uso del legno per strutture antisismiche; le sue caratteristiche di leggerezza, resistenza (sia a trazione che a compressione) e deformabilità rendono il legno un materiale particolarmente adatto per realizzare strutture in grado di resistere a terremoti anche di elevata intensità.

Grazie alla facilità di lavorazione, all'elevata modularità e alla possa a secco, costruire in legno è rapido e conveniente. Sul mercato esistono vari prodotti prefabbricati (muri, solai, coperture ecc) che facilitano e accorciano i tempi di costruzione dell'opera.

Dal confronto con i materiali strutturali alternativi, il legno risulta più conveniente anche in termini di contenuto di energia primaria. Ma l'utilizzo del legno significa anche efficienza energetica degli edifici, in linea con i requisiti imposti dalla Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico nell'edilizia; la bassa conducibilità, l'elevata inerzia termica e la spiccata igroscopicità riducono la necessità di riscaldamento invernale e di raffrescamento e deumidificazione estivi degli ambienti, consentendo il contenimento dei consumi energetici.

Una recente comparazione dell'impatto ambientale di diverse tecnologie costruttive per un edificio residenziale ha portato alle seguenti conclusioni; una struttura in cemento armato, funzionalmente equivalente a una struttura in legno, consuma il 38% in più di energia primaria, determina una maggiore emissione di gas serra (+80%), comporta un elevato inquinamento atmosferico (+46%) e produce molto più rifiuti solidi (+164%).<sup>2</sup>

Un sensibile aumento dell'uso del legno in edilizia è un modo efficace per far fronte ai cambiamenti climatici dovuti all'immissione in atmosfera di gas serra. Durante la crescita gli alberi assorbono CO<sub>2</sub>, per fabbricare la cellulosa e la lignina di cui sono costituiti: assimilano e fissano il carbonio e liberano ossigeno nell'atmosfera grazie alla fotosintesi clorofilliana. Il legno utilizzato, sotto qualsiasi forma, quale materiale per produzione diventa un serbatoio a lungo termine di carbonio.

Il legno è una risorsa rinnovabile, presente in abbondanza in Europa e che richiede poca energia per essere trasformato, trasportato e messo in opera. L'inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo provocato dalla produzione del legname è limitato. La bassa densità del legno consente di erigere strutture senza dover ricorrere a pesanti impianti di sollevamento, riducendo il rumore e la polvere che normalmente caratterizza i cantieri.

---

<sup>2</sup> P. Lavisci, *La progettazione delle strutture in legno*, il sole24Ore, Milano 2006

Standardizzati e prefabbricati in officina, gli elementi in legno permettono di realizzare una costruzione a secco, favorendo la riduzione dei costi e dei tempi del cantiere.

Per quanto riguarda le possibili emissioni di composti organici volatili (COV), in diversi paesi l'industria ha iniziato a sperimentare con successo la fattibilità economica di possibili alternative (ai soliti collanti) a minor impatto ambientale, realizzando pannelli compositi privi di collanti, attraverso polimerizzazione ad alta pressione della lignina contenuta nelle fibre del legno, o utilizzando adesivi a base di tannino.

## **Il legno lamellare**

Il legno lamellare qualità fisiche molto simili a quelle del legno massiccio, ma presenta migliori qualità meccaniche. Il cosiddetto "effetto lamellare", che permette l'eliminazione o comunque una migliore ridistribuzione dei difetti lungo l'elemento, con conseguente aumento del grado di omogeneità, oltre ad una rigorosa selezione ed all'essiccazione controllata delle tavole, sono i motivi principali all'origine della superiorità nelle prestazioni, rispetto al materiale di base.

### ***Aspetti ecologici del legno lamellare***

**biocompatibilità** – per la produzione, vengono impiegate colle sintetiche, applicate a freddo, di diverso tipo a seconda della destinazione d'uso dell'elemento. Nel nostro caso sugli elementi protetti della struttura si usa un adesivo a base ureica, mentre per gli elementi strutturali posti all'aperto (la struttura che tiene le schermature solari) si utilizza un adesivo a base di resorcinolo e/o melamina. In Europa, la quantità di dell'adesivo usato per la produzione di travi in legno lamellare è limitata da precise norme, e tutti i test effettuati hanno dimostrato che l'emissione di formaldeide del prodotto finito è lontanissimo dalle soglie di pericolosità.

**Ecologia** – oggi, nell'ambito della valutazione economico-ambientale delle produzioni industriali, sono tre gli aspetti fondamentali presi in considerazione: il rischio di esaurimento delle materie prime, il costo energetico della produzione e l'impatto ambientale delle attività produttive (compresa la possibilità di riciclaggio). Il legno lamellare risponde in una maniera completa a queste esigenze; il legname di conifera si riproduce in natura con un ciclo breve, il processo di trasformazione, dal tronco al prodotto finito, richiede un bassissimo costo di energia (per produrre una massa unitaria di legname occorrono circa 1000KWh/t contro 4000 per l'acciaio e 70000 dell'alluminio). Inoltre, la tecnologia del lamellare permette di utilizzare al massimo il tronco, riducendo gli scarti. In Europa il lamellare è prodotto utilizzando quasi esclusivamente legno di abete rosso europeo e il suo utilizzo non distrugge i boschi (tagli precisi e pianificati), anzi stimola la forestazione di nuove aree.

**Durabilità e protezione** – nei riguardi delle aggressioni da parte di organismi xilofagi, le tavole, prima di essere destinate all'incollaggio, vengono stagionate artificialmente ad temperatura di circa 70° e portate ad un tenore di umidità relativa del 12% circa. Questo valore è decisamente sfavorevole alla proliferazione ed allo sviluppo di funghi ed insetti, contro i quali è comunque opportuno il ricorso ai trattamenti protettivi a mezzo di impregnante.

## **Norme tecniche di riferimento**

Di classificazione e produzione:

Uni EN 14080, 14081-1, 338, 384-387, 408, 1194

Di calcolo:

Uni En 1995-1-1:2005, 1995-1-2:2005, 1995-2:2005, 1998-1:2005

## Bibliografia

1. Costruire l'ambiente: gli strumenti e i metodi della progettazione ambientale / Marco Casini. - Milano: Edizioni Ambiente, 2009
2. Elementi tecnici per le costruzioni edili. 2, chiusure verticali, coperture, infissi, partizioni interne e finiture, collegamenti verticali / Gian Luca Brunetti. - Napoli: Esselibri, 2007
3. Architettura pratica: elementi tecnici per le costruzioni edili / Gianluca Brunetti. - Napoli: Sistemi editoriali 2006
4. Schermature solari / Lucia Ceccherini Nelli, Eugenio D'Audino, Antonella Trombadore. - Nuova ed. con in appendice Schermature fotovoltaiche e CDrom Helios / a cura di Marco Sala ; contributi di Alain Paolo Lusardi. - Firenze: Alinea, 2007
5. Lessico di tecnologia bioclimatica / Marco Sala, Eugenio D'Audino; introduzione di Marco Sala. - Firenze: Alinea, 1997
6. Progettare sistemi di protezione solare degli edifici: controllo del soleggiamento e microclima, sistemi di oscuramento esterni ed interni, schermature trasparenti / Giovanna Mottura, Alessandra Pennisi. - Santarcangelo di Romagna: Maggioli, 2006
7. La serra solare / Claudio Zappone. - 2. ed. - Napoli: Sistemi editoriali, 2009
8. AS1: Architettura sostenibile: 40 esempi digitali di edilizia residenziale / Marcello Balzani, Gabriele Tonelli, Roberto Meschini - Santarcangelo di Romagna: Maggioli, 2008
9. Architetture di Georg W. Reinberg / con introduzioni di Otto Kapfinger e S. Robert Hastings. - Firenze: Alinea international, 1998
10. Edilizia sostenibile: 44 progetti dimostrativi / edizione italiana a cura di Gianni Scudo e Silvia Piardi. - Napoli: Sistemi editoriali, 2002
11. Il raffrescamento passivo degli edifici: concetti, precedenti architettonici, criteri progettuali, metodi di calcolo e casi studio / Mario Grosso; prefazione di Federico Butera; contributi di Gianni Scudo, Elisabetta Parisi, Michela Perin-Bert. - Rimini: Maggioli, 1997
12. Costruire l'ambiente: gli strumenti e i metodi della progettazione ambientale / Marco Casini. - Milano: Edizioni Ambiente, 2009
13. Progettare sistemi di protezione solare degli edifici : controllo del soleggiamento e microclima, sistemi di oscuramento esterni ed interni, schermature trasparenti / Giovanna Mottura, Alessandra Pennisi. - Santarcangelo di Romagna: Maggioli, 2006

14. Introduction to architectural science: the basis of sustainable design / Steven V. Szokolay - 2. ed. - Oxford: Architectural press, 2008
15. Climate considerations in building and urban design / Baruch Givoni - New York etc.: Van Nostrand Reinhold, 1998
16. Man, climate and architecture / by B. Givoni - London: Elsevier, 1969
17. Architettura bioclimatica integrata: dai principi teorici al progetto applicativo: la Casa Matriz Consalud di Santiago del Cile / Mario Voerzio; con la collaborazione di Luca Raimondo ; presentazione di Mario Grosso - Torino: Celid, 2005
18. Heating, cooling, lighting: design methods for architects / Norbert Lechner. - New York: John Wiley & Sons, c1991.
19. Sun, wind & light: architectural design strategies / G. Z. Brown, Mark DeKay - 2. ed. - New York
20. Il fotovoltaico in architettura: l'integrazione dei sistemi per la generazione di elettricità solare: nuovo conto energia : schede tecniche di componenti e sistemi normativi / Niccolò Aste - 3. ed. - Napoli: Sistemi editoriali: Esselibri-Simone, 2008.