



Politecnico di Milano  
Facoltà di Architettura e Società  
Corso di laurea in Progettazione dell'architettura sostenibile

Tesi di laurea

# GLI EFFETTI DEL VERDE SULLA MITIGAZIONE DELL'ISOLA DI CALORE URBANA

Relatore

Prof.ssa Grazia Concilio

Correlatore

Valerio Signorelli

Laureanda

SARA BERETTA matr. 755156

Anno accademico 2011-2012



# INDICE

---

Abstract .....	9
1. Introduzione .....	10
2. L'isola di calore urbana .....	14
2.1 Cos'è e come si forma .....	14
2.1.1 L'isola di calore di superficie .....	15
2.1.2 L'isola di calore atmosferica .....	16
2.1.3 Isola di calore di superficie e atmosferica: come sono correlate .....	17
2.2 Il caso di Londra .....	19
2.3 Rapporto Legambiente 2007: a Roma e Milano il centro scotta anche d'inverno .....	21
2.3.1 Cosa fare: le priorità di azione per ridurre l'effetto isola di calore .....	24
2.3.2 Le buone pratiche delle città del mondo .....	25
3. Il verde all'interno del progetto urbano .....	29
3.1 Architettura del paesaggio e piani del verde .....	29
3.2 Classificazione del verde urbano .....	34
3.2.1 Verde di arredo .....	35
3.2.2 Verde funzionale .....	41
4. Il verde come agente di mitigazione .....	45
4.1 Regolazione del microclima .....	46
4.1.1 L'azione microclimatica del verde a Milano .....	52
4.2 Effetti non climatici della vegetazione .....	54
5. Il verde come strumento di mitigazione .....	60
5.1 I giardini pensili .....	60
5.2 I parchi .....	63
5.2.1 Il caso di Göteborg, Svezia .....	64
5.3 I diversi approcci di studio .....	70
6. I modelli di simulazione .....	74
6.1 Rayman .....	75
6.2 Ufore .....	79
6.3 Solweig .....	81
6.4 Envi-met .....	85
6.4.1 Esempio di simulazione con ENVI-met in fase progettuale .....	92
7. Applicazione: il caso di piazza Leonardo .....	97
7.1 La dimensione del verde urbano .....	97
7.2 Piazza Leonardo da Vinci .....	104
7.2.1 Area di progetto .....	105
7.2.2 Simulazioni con ENVI-met: scenario prato e alberi .....	106
7.2.3 Risultati ottenuti .....	109

---

7.2.4 Simulazioni con ENVI-met: scenario stato di fatto e proposta progettuale .....	113
7.2.5 Risultati ottenuti .....	119
8. Conclusioni .....	128
9. Bibliografia .....	129

# INDICE DELLE IMMAGINI

---

Figura 1.1 - Trend di urbanizzazione .....	10
Figura 1.2 - Isola di calore urbana .....	11
Figura 2.1 - Isola di calore atmosferica e di superficie .....	15
Figura 2.2 - Rilevamento all'infrarosso delle temperature superficiali .....	16
Figura 2.3 - Variazione delle temperature superficiali e atmosferiche .....	18
Figura 2.4 - Mappa di Londra dove vengono mostrate le 68 stazioni di misurazione .....	20
Figura 2.5 - Profilo di un intero percorso di rilevamento .....	21
Figura 2.6 - Temperatura media e distanza radiale da Londra .....	21
Figura 2.7 - Temperature medie delle maggiori città italiane .....	22
Figura 2.8 - Differenza di temperatura tra l'area urbana e l'area rurale di Milano .....	23
Figura 2.9 - Differenza di temperatura tra l'area urbana e l'area rurale di Roma .....	23
Figura 3.1 - Olmsted, sistema del verde di Riverside .....	30
Figura 3.2 - Cleveland, sistema del verde di Minneapolis .....	31
Figura 3.3 - Vienna, cintura verde del Glacis .....	32
Figura 3.4 - Stein, sistema del verde di Sunnysite .....	33
Figura 3.5 - Stein, sistema del verde di Radburn .....	33
Figura 3.6 - Roseto della Villa reale di Monza .....	36
Figura 3.7 - Central Park, Manhattan, New York, Stati Uniti .....	37
Figura 3.8 - Rambla, Barcellona, Spagna .....	39
Figura 3.9 - Orto urbano a Milano in via Chiodi .....	43
Figura 4.1 - Schema degli scambi energetici tra vegetazione e ambiente .....	46
Figura 4.2 - Rappresentazione dello spettro solare .....	47
Figura 4.3 - Processi di controllo della radiazione solare da parte della vegetazione .....	47
Figura 4.4 - Radiazione solare (onde corte) ricevuta e quella terrestre (onde lunghe) .....	48
Figura 4.5 - Variazione della temperatura dell'aria .....	50
Figura 4.6 - Quantità relative di acqua assorbita dalle diverse tipologie di vegetazione .....	51
Figura 4.7 - Piazza S. Fedele, Milano .....	52
Figura 4.8 - Piazza S. Maria delle Crociate, Milano .....	52
Figura 4.9 - Piazza Leonardo da Vinci, Milano .....	52
Figura 4.10 - Piazza Aspromonte, Milano .....	52
Figura 4.11 - Distribuzione delle isoterme in Piazza S. Maria delle Crociate, luglio, ore 13:30 .....	53
Figura 4.12 - Curve di iso budget in Piazza S. Maria delle Crociate, luglio, ore 13:30 .....	53
Figure 4.13 e 4.14 - Posizionamento degli elementi vegetali nelle strutture urbane .....	55

Figura 5.1 - Esempio di tetto verde a Saksun, Isole Faroe, Danimarca .....	60
Figura 5.2 - Illustrazione schematica dell'applicazione di un tetto verde di tipo estensivo .....	61
Figura 5.3 - Illustrazione schematica dell'applicazione di un tetto verde di tipo intensivo .....	62
Figura 5.4 - Mappa della città di Goteborg comprensiva di tutti e tre i parchi .....	65
Figura 5.5 - Mappa di Gubberoparken (2.4ha) .....	66
Figura 5.6 - Mappa di Vasaparken (3.6ha) .....	66
Figura 5.7 - Mappa di Slottsskogen (156ha) .....	67
Figura 6.1 - Schermata iniziale per l'inserimento dei dati .....	75
Figura 6.2 - Editor per la costruzione del modello .....	75
Figura 6.3 - Editor edifici .....	76
Figura 6.4 - Editor vegetazione .....	76
Figura 6.5 - Esempio output grafico: ombre .....	76
Figura 6.6 - Esempio output dati .....	76
Figura 6.7 - Indice PET di Friburgo .....	77
Figura 6.8 - Indice PET modificando la morfologia urbana .....	77
Figura 6.9 - Diagramma bioclimatico dei valori PET .....	78
Figura 6.10 - DEM .....	82
Figura 6.11 - Esempio di output prodotto dal software SOLWEIG .....	83
Figura 6.12 - Confronto tra i risultati ottenuti tramite le osservazioni e il software .....	84
Figura 6.13 - Calcolo della temperatura media radiante .....	85
Figura 6.14 - Mappa di Clementi Woods Park (CWP) .....	87
Figura 6.15 - Tre scenari per Clementi Woods Park .....	89
Figura 6.16 - Temperatura potenziale alle ore 00:00 .....	90
Figura 6.17 - Temperatura potenziale alle ore 12:00 .....	90
Figura 6.18 - Temperatura potenziale per i tre differenti scenari .....	91
Figura 6.19 - Immagine satellitare del quartiere di Villa Fumosa, Teramo .....	92
Figura 6.20 - Ipotesi di progetto per il quartiere di Villa Fumosa .....	93
Figura 6.21 - Indice PMV stato di fatto .....	94
Figura 6.22 - Indice PMV proposta progettuale .....	94
Figura 7.1 - Schermata iniziale del programma ENVI-met .....	98
Figura 7.2 - Area di progetto .....	105
Figura 7.3 - Il verde presente nell'area di progetto .....	106
Figura 7.4 - Scenario 1: prato .....	107
Figura 7.5 - Scenario 2: alberi .....	107
Figura 7.6 - Valori di albedo degli elementi che costituiscono le superfici urbane .....	112
Figura 7.7 - Flussi pedonali che attraversano piazza Leonardo da Vinci in diverse fasce orarie .....	116
Figura 7.8 - Sezioni schematiche di via Bonardi e piazza Leonardo da Vinci (a destra) .....	118

# INDICE DELLE TABELLE

---

Tabella 1 - Dati relativi ad alcune città di differenti latitudini e regioni climatiche .....	64
Tabella 2 - Dati relativi alle misurazioni effettuate a Slottsskogen e Vasaparken .....	68
Tabella 3 - Durata mensile del soleggiamento .....	77
Tabella 4 - Durata del soleggiamento in diverse latitudini .....	77
Tabella 5 - Esempio di alcuni parametri usati per la simulazione .....	88
Tabella 6 - Temperature medie giornaliere delle stazioni di rilevamento di Milano Brera e Milano Lambrate (dati ARPA Lombardia) .....	108

# INDICE DELLE TAVOLE

---

Tavola 01 - La dimensione del verde urbano - Temperatura potenziale .....	102
Tavola 02 - La dimensione del verde urbano - Temperatura potenziale .....	103
Tavola 03 - Scenari prato e alberi - Temperatura potenziale dettagli A e B .....	110
Tavola 04 - Scenari prato e alberi - Temperatura potenziale dettagli C e D .....	111
Tavola 05 - Piazza Leonardo da Vinci - Applicazione sperimentale .....	114
Tavola 06 - Piazza Leonardo da Vinci - Applicazione sperimentale .....	115
Tavola 07 - Scenari stato di fatto e progetto - Temperatura potenziale dettagli A e B .....	120
Tavola 08 - Scenari stato di fatto e progetto - Temperatura potenziale dettagli C e D .....	121
Tavola 09 - Scenari prato e alberi - Temperatura della superficie .....	122
Tavola 10 - Scenari stato di fatto e progetto - Temperatura della superficie .....	123
Tavola 11 - Scenari prato e alberi - Temperatura media radiante .....	124
Tavola 12 - Scenari stato di fatto e progetto - Temperatura media radiante .....	125
Tavola 13 - Temperatura superficiale di foglia per i quattro scenari .....	126



# ABSTRACT

---

L'isola di calore è un fenomeno che ormai caratterizza le città del mondo e che, innalzando la temperatura dell'aria, causa problemi alla salute della popolazione soprattutto durante il periodo estivo. Diversi studi hanno dimostrato come l'introduzione della vegetazione all'interno dei centri urbani possa aiutare a diminuire la temperatura di alcuni gradi e quindi migliorare le condizioni di comfort. Si è inoltre riscontrato che questo fenomeno non è limitato esclusivamente alle aree verdi, ma si propaga nella città per una profondità che si aggira intorno ad una dimensione corrispondente alla larghezza del parco stesso.

Il presente elaborato si propone, quindi, di trattare il tema del verde come strumento per la mitigazione dell'isola di calore urbana, studiandone le cause della formazione, indagando sulle funzioni ricoperte dal verde all'interno dell'attuale sistema urbano e analizzando i classici metodi di misurazione e valutazione del fenomeno (rilevazioni manuali della temperatura) applicabili, però, solo all'esistente.

Questa limitazione porta alla creazione di modelli di simulazione a supporto della progettazione, in grado di analizzare situazioni future per ottenere, dalla superficie a verde, i maggiori benefici. Vengono quindi messi a confronto i software più diffusi e tra tutti viene scelto ENVI-met con il quale, inizialmente, viene simulata e verificata la distanza di influenza del verde all'interno del centro urbano. Lo studio termina con la valutazione di tre differenti scenari per Piazza Leonardo da Vinci a Milano, la situazione attuale, la superficie a verde interamente ricoperta da prato e la stessa interamente ricoperta da alberi, in modo da valutare, con l'ausilio di ENVI-met, le diverse diminuzioni di temperatura che le differenti tipologie di vegetazione producono.

In base ai risultati ottenuti si propongono delle linee guida generali da seguire durante la progettazione di un parco/piazza all'interno della città, con l'obiettivo di diminuire l'isola di calore urbana e si propone una soluzione progettuale per l'area di Piazza Leonardo da Vinci sostituendo l'attuale verde, puramente decorativo, con un verde più funzionale.

# 1. INTRODUZIONE

---

Da tempo ci si è resi conto che la sola definizione di standard dimensionali, espressi in mq di verde per abitante e mq di verde per mc di volume edificato, non è sufficiente a garantire quella crescita contemporanea della città e della vegetazione urbana che possa soddisfare gli obiettivi di un piano del verde [Semenzato (2003)].

Negli ultimi anni l'inurbamento, infatti, ha portato a un vistoso mutamento delle cifre che ne raccontano le dimensioni: da 600 milioni di persone che vivevano in città nel 1920, si è passati a circa 2 miliardi nel 1986.

Fino a un secolo fa, solo il 14% della popolazione risiedeva in città e nel 1950 si era ancora al di sotto del 30%. Oggi siamo circa al 50% e alcune stime hanno calcolato che la popolazione urbana rappresenterà all'incirca l'80% della popolazione mondiale entro il 2100 [Santamouris et al. (2001)].

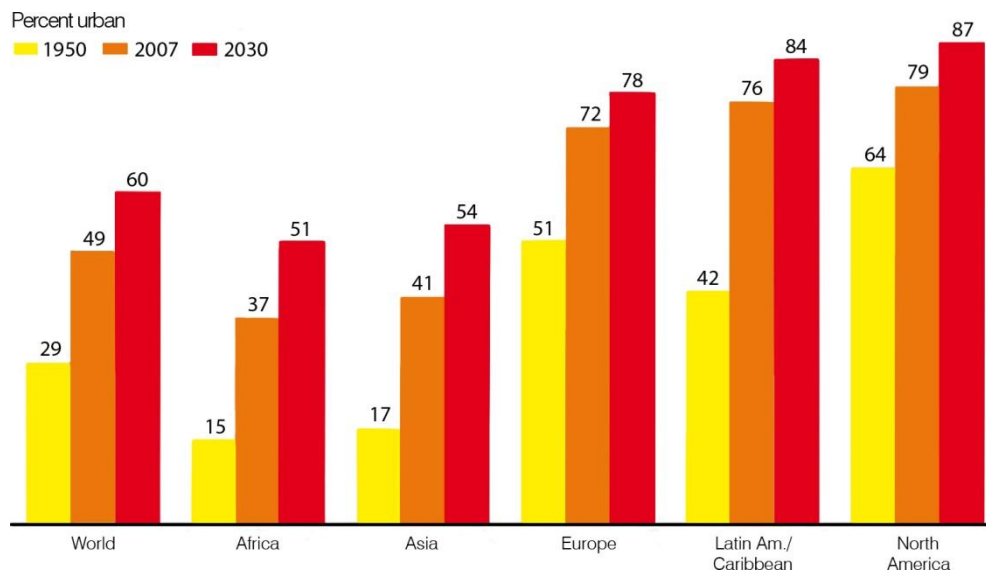


Figura 1.1 - Trend di urbanizzazione (fonte: United Nations, 2006)

L'incremento dell'industrializzazione e dell'urbanizzazione (si deve ricordare che dal secolo scorso la popolazione mondiale è passata da 2.5 a 6 miliardi di individui) ha aumentato il numero di edifici nelle città concentrando ed intensificando i consumi energetici e il microclima urbano, eliminando gli spazi verdi e sostituendoli con strade e vaste zone cementificate impermeabili.

Che il centro urbano fosse una zona più calda rispetto alle campagne circostanti era già cosa nota da tempo, ma negli ultimi 20-30 anni i dati sopra indicati hanno portato a una maggiore attenzione ai cambiamenti del microclima urbano trasformando ciò che era solamente una sapienza popolare nel più noto degli effetti dell'urbanizzazione sul clima locale: l' "isola di calore urbana" (Urban Heat Island, da qui UHI); con questo termine si identificano le differenze di temperatura tra un'area urbana (più calda) e le zone rurali limitrofe (più fresche).

Le ricerche dedicate al fenomeno hanno evidenziato, anche in termini quantitativi, le differenze tra le temperature dei centri urbani e quelle delle zone circostanti, con però variazioni considerevoli anche all'interno del centro urbano stesso.

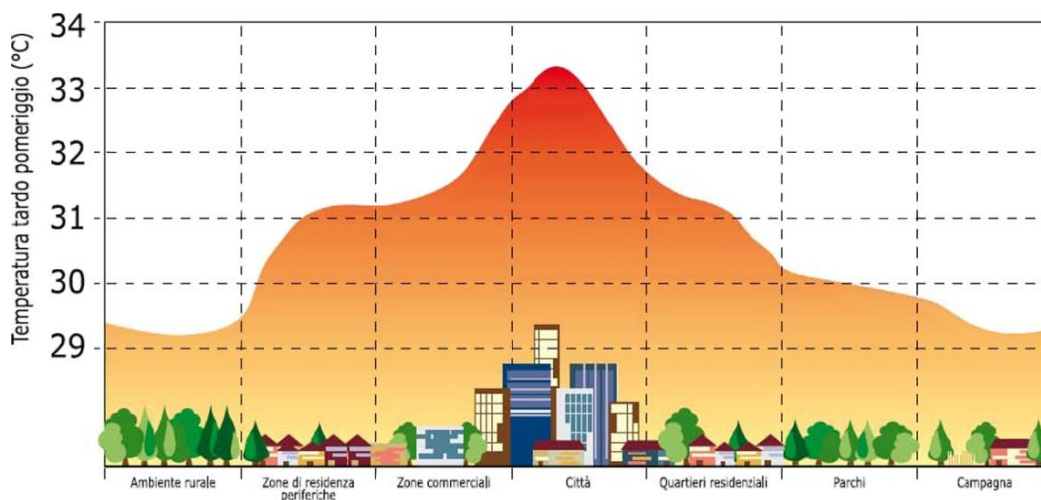


Figura 1.2 - Isola di calore urbana

All'interno delle città più soggette al fenomeno gli effetti principali di questa differenza di temperatura saranno:

- un incremento del consumo di energia;
- elevate emissioni di inquinanti e dei cosiddetti gas serra;
- un peggioramento della vita e del comfort della popolazione;
- un peggioramento della qualità dell'aria e dell'acqua, principalmente per inquinamento termico.

Uno dei "materiali" biologici più significativi per il controllo del microclima degli spazi esterni è la vegetazione che, se utilizzata in modo appropriato, può determinare un effetto di miglioramento consistente.

È noto infatti l'effetto di raffrescamento estivo dei grandi parchi urbani e delle cinture verdi: viene individuata, attraverso diversi studi, una differenza di temperatura dell'aria da 2 a 4°C fra gli spazi interclusi in grandi aree verdi e quelli dell'ambiente costruito immediatamente circostante. Tale differenza di temperatura, oltre a determinare diverse condizioni di comfort tra aree verdi ed aree costruite, induce brezze termiche urbane che, in assenza di vento, possono dare un contributo al raffrescamento del sito e degli edifici.

La qualità degli spazi verdi dipende da numerosi fattori, alcuni sono legati a requisiti di tipo

funzionale: chi sono gli utenti, quali devono essere gli usi, quale deve essere il disegno architettonico, quale deve essere la funzione ambientale; altri sono legati alla qualità della vegetazione presente, che deve poter crescere in spazi che ne consentano il normale sviluppo epigeo ed ipogeo, in condizioni di equilibrio con i fattori dell'ambiente: clima, condizioni idriche, caratteristiche dei suoli.

Ai primi devono rispondere corrette scelte di pianificazione urbanistica, che si manifestano in primo luogo nel Piano Regolatore; in esso gli spazi verdi non dovrebbero essere gli spazi di risulta dello sviluppo edilizio, ma frutto di scelte specifiche volte a creare cinture di verde periferiche, sistemi lineari di parchi ed aree verdi tra loro connesse, aree ricreative strettamente legate alle aree residenziali, parchi urbani di adeguate dimensioni e ben distribuiti nel territorio.

Il secondo aspetto è invece legato alla capacità di far convivere e coordinare la crescita dell'edificato con la presenza, non solo dei parchi, ma anche del verde più diffuso.

Il presente elaborato tratterà, quindi, il tema del verde come strumento per la mitigazione dell'isola di calore urbana.

## BIBLIOGRAFIA

---

Grosso, M. (1997), *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Rimini, Maggioli

Haub, C. (2007), "The 2007 World Population Data Sheet", *Population Reference Bureau*

Santamouris, M. et al. (2001), "On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings", *Solar Energy*, 70, 3, pp. 201-216

Semenzato, P. (2003), *Un piano per il verde. Pianificare e gestire la foresta urbana*, Padova, Signum

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2006), *World Urbanization Prospects: The 2005 Revision*

## 2. L'ISOLA DI CALORE URBANA

---

### 2.1 Cos'è e come si forma

Riprendendo la definizione data poc'anzi, con isola di calore urbana si intende un fenomeno che comporta delle differenze di temperatura tra un'area urbana (più calda) e le zone rurali limitrofe (più fresche).

La temperatura media su base annua di una città di un milione di abitanti può risultare da 1 a 3°C più calda rispetto alle campagne circostanti e, durante le notti caratterizzate da poco vento, questa differenza di temperatura è in grado di salire fino a 12°C [Oke, T.R. (1987)]; a Milano questo effetto viene mediamente indicato intorno ai 6°C.

Anche città di minore estensione – o minore densità abitativa – daranno luogo al fenomeno dell'isola di calore urbana, che si ritroverà in misura minore con il diminuire delle dimensioni della città stessa [Oke, T.R. (1982)].

I fattori che influenzano la formazione dell'isola di calore sono molteplici e si distinguono principalmente in quattro ambiti:

- fattori legati alla struttura urbana (densità e altezza degli edifici, ampiezza delle strade, presenza di vegetazione e acqua, albedo stradale);
- fattori legati al contesto ambientale (latitudine e altitudine, irraggiamento, direzione e velocità del vento, vicinanza al mare o laghi);
- fattori legati agli edifici (albedo delle superfici, capacità termica delle chiusure, emissività dei materiali);
- fattori legati alla componente umana (componente antropogenica, traffico urbano, presenza di industrie).

Tutti questi fattori possono concorrere all'accumulo di calore nell'aria e nelle strutture degli edifici, ad una diminuzione dell'umidità presente nell'atmosfera e ad un aumento della temperatura delle singole superfici.

Volendo entrare più nel dettaglio, il fenomeno dell'isola di calore urbana dovrà essere diviso in due sottotipi: l'isola di calore di superficie (*surface UHI*) e l'isola di calore atmosferica (*atmospheric UHI*). Come si può già comprendere dal nome, queste due manifestazioni del fenomeno sono profondamente differenti, ancorché correlate; esse si differenziano per il modo in cui si formano, per le tecniche di misurazione e di identificazione, per il diverso impatto e per le diverse tecniche di mitigazione disponibili.

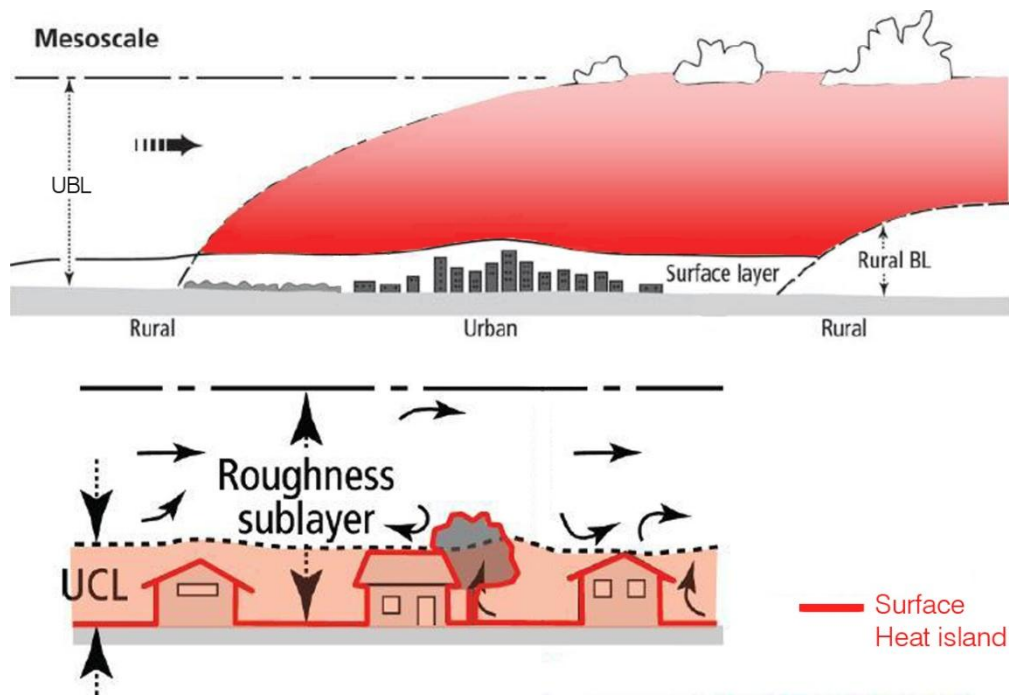


Figura 2.1 - Isola di calore atmosferica e di superficie (fonte: Voogt, 2003)

Prima, però, è opportuna una piccola digressione nei riguardi degli effetti del tempo meteorologico sull'entità del fenomeno dell'isola di calore urbana.

Escludendo, per il momento, il contributo antropogenico all'entità del fenomeno, diremo che l'isola di calore urbana sarà più intensa in giornate di cielo limpido e caratterizzate da basse velocità del vento. La copertura nuvolosa è in grado di bloccare gran parte della radiazione solare diretta, riducendo l'effetto degli elementi urbani sulla temperatura.

Il vento, ancora più efficacemente, è in grado di annullare l'effetto di isola di calore urbana garantendo un efficace ricambio d'aria e trasportando aria più fresca dalle aree rurali circostanti verso il centro cittadino.

### 2.1.1 L'isola di calore di superficie

Durante le giornate estive con cielo limpido, il sole riscalda le superfici orizzontali urbane, come le pavimentazioni stradali o i tetti degli edifici: queste superfici, normalmente di basso o nullo contenuto d'acqua (che impedisce un raffreddamento per evaporazione), se direttamente esposte, raggiungono temperature tra i 27 e i 50°C superiori rispetto alla temperatura dell'aria [Berdahl, P. & Bretz, S. (1997)], dando luogo al fenomeno dell'isola di calore di superficie (*surface UHI*).

Per contro, superfici più ricche in contenuto d'acqua, come possono essere quelle delle campagne o dei parchi cittadini, o anche superfici ombreggiate, rimangono sempre prossime alla temperatura dell'aria soprastante.

Il fenomeno dell'isola di calore di superficie richiede dunque una quantificazione in termini di

differenza di temperatura cosiddetta epidermica (*skin temperature*). Questa è generalmente più marcata durante il giorno: il  $\Delta T$  epidermico, in questo caso, raggiunge valori di media giornaliera di circa 10-15°C mentre durante la notte, il  $\Delta T$  non supera i 5-10°C [Voogt, J.A. & Oke T.R. (2003)].



Figura 2.2 - Rilevamento all'infrarosso delle temperature superficiali

I ricercatori fanno spesso ausilio di immagini termiche per individuare e quantificare il  $\Delta T$  epidermico. Riassumendo, il fenomeno dell'isola di calore di superficie si mostrerà più accentuato durante il giorno, varierà necessariamente a seconda della stagione – per le variazioni di intensità della radiazione solare ed il tempo meteorologico – portando a manifestazioni più acute nel periodo estivo.

### 2.1.2 L'isola di calore atmosferica

L'interesse è qui rivolto verso la temperatura dell'aria. Per essere più precisi, si tratta in prima istanza di temperatura a bulbo secco.

La differenza di temperatura dell'aria, più calda nelle zone urbane ed in particolare nei centri ad elevata densità abitativa, rispetto all'aria più fresca percepibile nelle zone rurali ad essa circostanti, determina il fenomeno dell'isola di calore atmosferica.

I ricercatori sono soliti suddividere l'isola di calore atmosferica a seconda della quota dell'atmosfera analizzata. Si individueranno quindi:

- l'isola di calore dello strato della copertura urbana (*urban canopy layer UCL*), come differenza di temperatura dell'aria vicina alla superficie, al di sotto dell'altezza media degli edifici;



- l'isola di calore dello strato limite urbano (*urban boundary layer, UBL*), come differenza di temperatura dell'aria al di sopra dell'altezza media degli edifici, fino alla quota in cui la conformazione urbana non influenza più le caratteristiche atmosferiche.

L'isola di calore dello strato della copertura urbana è sicuramente la manifestazione del fenomeno maggiormente osservata e studiata in quanto esercita la propria influenza laddove la popolazione vive. Per questo motivo, molto spesso, parlando di isola di calore urbana, non si accenna neppure alle suddivisioni di cui sopra, dando per scontato che l'interesse sia rivolto al solo strato limite urbano.

L'isola di calore atmosferica mostra i propri effetti all'interno di un campo di variazione molto inferiore all'isola di calore di superficie: su base annua, nelle grandi città, la temperatura dell'aria mantiene valori da 1 a 3°C superiori a quelli dell'aria delle zone rurali [Oke, T.R. (1997)]. Nei picchi estivi, ma anche durante la stagione invernale in cui il fattore predominante diviene il calore di origine antropogenica, la questione è diversa e l'intensità del fenomeno può raggiungere i 10°C.

La letteratura insegna che l'isola di calore atmosferica è meno intensa durante il giorno rispetto a quella notturna. Questa si può, però, estendere in verticale fino alla quota di diverse centinaia di metri e, in orizzontale, sottovento alla città, può arrivare a decine di chilometri di distanza (si tratta del cosiddetto "pennacchio urbano", *urban plume*). Essa è caratterizzata da aria più turbolenta, più calda, più secca e più inquinata. Lo strato rimescolato assume sopra la città una forma a cupola e può essere di qualche centinaio di metri più spesso rispetto alle aree rurali. Nel tardo pomeriggio ed in serata l'isola di calore atmosferica si sviluppa gradualmente, fino a raggiungere la sua massima intensità durante la notte. Mentre le aree rurali circostanti si raffreddano per irraggiamento e lo strato superficiale si stabilizza, sviluppando un'inversione termica, l'area urbana, a causa della propria temperatura e degli elementi di rugosità (gli edifici), conserva una turbolenza residua che attenua o annulla la stabilità atmosferica degli strati più bassi, dando vita ad una sorta di strato rimescolato notturno. Mentre nelle aree rurali l'inversione termica si sviluppa subito dopo il tramonto a partire dalla superficie, nelle aree urbane l'inversione si sviluppa 2-4 ore dopo il tramonto, a quote più elevate; nelle ore successive lo spessore dello strato di inversione cresce, mentre si assottiglia lo strato rimescolato notturno. Gli effetti del fenomeno dell'isola di calore atmosferica, sia questa dello strato della copertura urbana o dello strato limite urbano, si rilevano con termometri tradizionali posti rispettivamente al di sotto e al di sopra della quota media degli edifici circostanti. I ricercatori tipicamente costruiscono una fitta rete di punti di misura, costituiti da sensori fissi o da sensori mobili (trasportati a bordo di un'auto trasversalmente alla città, per esempio). Con questi metodi di misura (diretti) si ricava una mappa della città sovrapposta ad una serie di isoterme.

### 2.1.3 Isola di calore di superficie e atmosferica: come sono correlate

Il  $\Delta T$  epidermico tra centro urbano e campagne vicine, come la differenza di temperatura dell'aria, sono due manifestazioni distinte del fenomeno dell'isola di calore.

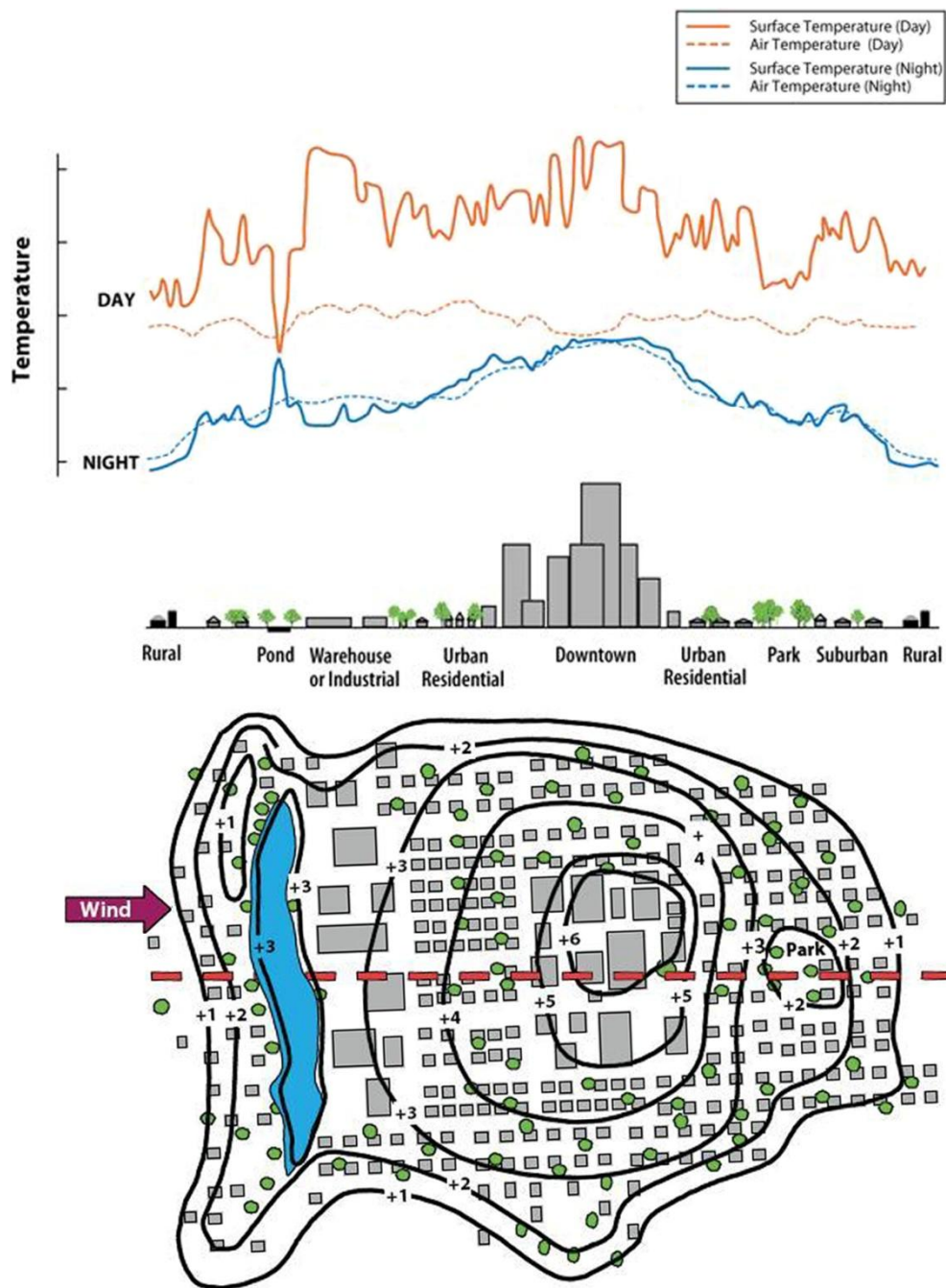


Figura 2.3 - Variazione delle temperature superficiali e atmosferiche (fonte: Voogt, 2003)

Le temperature raggiunte dalle superfici urbane hanno un effetto indiretto ma significativo sulla temperatura dell'aria, in particolare all'interno del *canopy layer*.

Qui lo scambio convettivo porta le superfici a scambiare calore con l'aria soprastante, riscaldandola: il fenomeno è direttamente osservabile misurando la temperatura dell'aria soprastante strade asfaltate e parcheggi, e confrontandola con la temperatura dell'aria che si trova a lambire parchi o zone ricche di vegetazione.

Queste ultime possiedono temperature superficiali inferiori (in quanto sono in grado di raffreddarsi mediante evaporazione) e in corrispondenza di queste si trova aria più fresca. A causa del continuo

rimescolamento dell'aria, la correlazione tra le temperature epidermiche e quelle dell'aria non è costante.

Queste ultime, comunque, variano in range inferiori rispetto alle temperature superficiali.

## 2.2 Il caso di Londra

Nel 1820, Luke Howard ha pubblicato un'analisi, durata 10 anni, sulle misurazioni della temperatura giornaliera di Londra, che ha stabilito l'esistenza di una zona della città con temperature elevate rispetto alla campagna.

Questi dati mostrano che, su una media di 24 ore, la temperatura della città nel mese di luglio è superiore di circa 0.6K rispetto a quella della campagna.

I dati di Howard forniscono la prima prova scientifica per un importante fenomeno anomalo di temperatura e introduce il concetto che noi oggi identifichiamo con il termine di "isola di calore".

Dal momento in cui Howard identifica la prima isola di calore, il clima urbano di Londra è stato ampiamente studiato, ed è stato descritto in dettaglio nel *The climate of London. Meteorological office temperature data for London (1931-1960)*, scritto da T.J. Chandler nel 1965, dove mostra che la temperatura media annuale del centro di Londra è stata 1.4K più calda rispetto alla campagna circostante.

Dall'indagine di Chandler ad oggi, ci sono state tre importanti modifiche alla città che possono influenzare diversamente la temperatura:

- le modifiche al patrimonio edilizio (edifici più alti);
- i cambiamenti riguardo al rilascio di calore di origine antropica (livelli di traffico più elevati, un maggior uso di aria condizionata);
- modifiche di inquinamento atmosferico.

Alla luce di questi cambiamenti, e dalla disponibilità attuale di nuovi metodi per le rilevazioni, si è ritenuto opportuno rivalutare gli studi sulla temperatura di Londra, in maggior dettaglio rispetto a come era stato possibile prima.

L'intensità dell'isola di calore di Londra è stata valutata usando una griglia radiale di 68 stazioni di registrazione, fisse e simultanee, per la rilevazione giornaliera della temperatura dell'aria a ogni ora.

Le stazioni di registrazione vengono collocate su otto percorsi di campionamento lineari e radiali rispetto ad un centro comune, localizzato a Bloomsbury, a nord di Oxford Street (nel centro di Londra), luogo caratterizzato da edifici alti ed elevate emissioni di calore di origine antropica.

Le stazioni vengono posizionate ad un miglio di distanza radiale lungo ogni percorso di campionamento, fino a 4 miglia da Londra; oltre le 4 miglia, le stazioni vengono posizionate ogni 2 miglia.

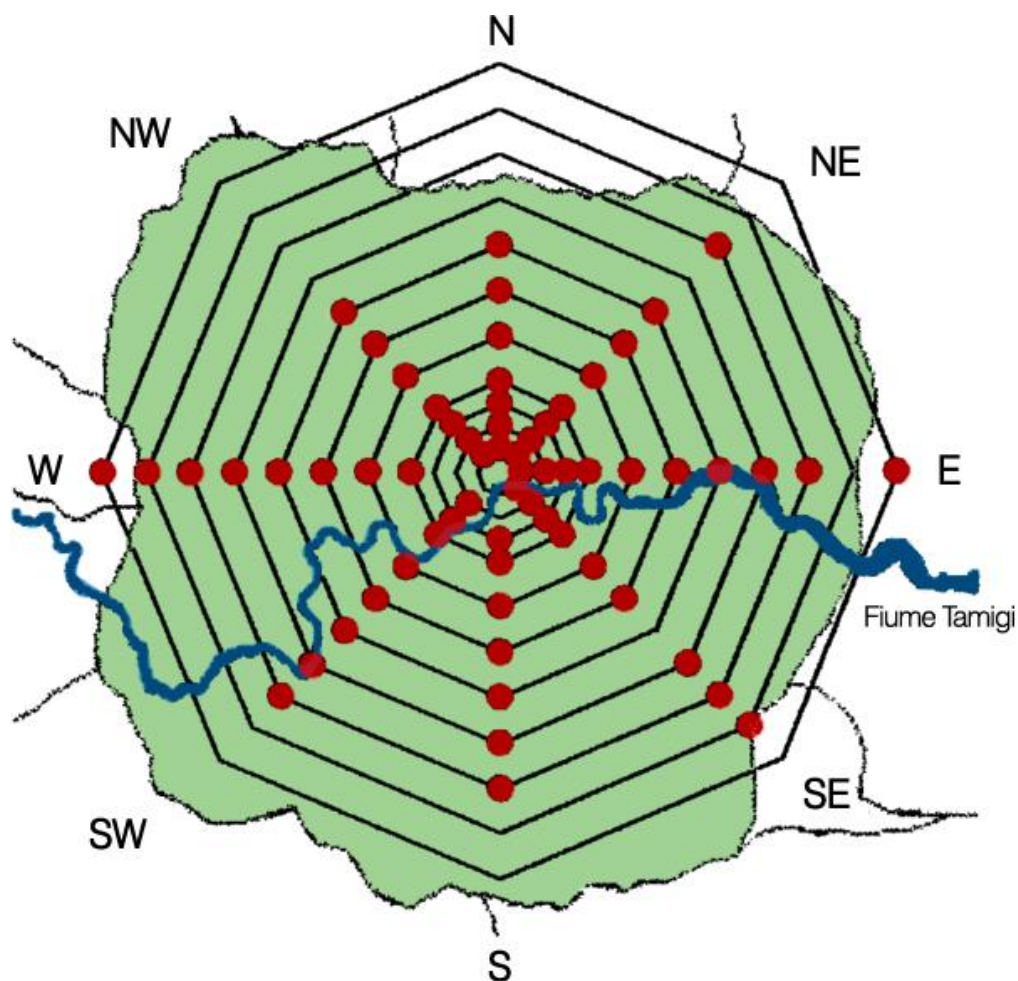


Figura 2.4 - Mappa schematica di Londra con le posizioni delle 68 stazioni di misurazione (fonte: Watkins, 2002)

I punti di campionamento sono allineati con i punti cardinali e ogni percorso si estende fino a quando non viene raggiunto un sito rurale – preso come punto di riferimento – che, a causa della forma dello sviluppo urbano intorno a Londra, creano percorsi di campionamento con differenti lunghezze.

Le stazioni operano dal 1° giugno 1999 per una durata di tre mesi.

Per descrivere l'isola di calore urbana spesso viene utilizzato il parametro dell'intensità, che per il presente studio è stata calcolata come la differenza tra la media di tre stazioni al centro di Londra (nei pressi del British Museum) e un riferimento rurale, collocato 18km più a ovest.

Una volta raccolti i dati forniti dalle stazioni di campionamento, è stato possibile constatare che la temperatura nel centro di Londra è stata di almeno 2K più calda rispetto al riferimento rurale per circa il 15% dei giorni considerati e il 58% delle notti.

Inoltre, per il 15% delle notti, Londra è stata addirittura 5K più calda rispetto alla campagna.

Le figure 2.5 e 2.6 mostrano, rispettivamente, il profilo di un intero percorso di misurazione che attraversa tutta Londra, da est a ovest, nel giorno più caldo del mese di agosto (1 agosto 1999) per evidenziare i differenti picchi di temperatura nelle due fasce orarie considerate e la temperatura media rilevata rispetto alla distanza radiale dal centro di Londra spostandosi verso l'area rurale ad una distanza di circa 18 miglia ad est.

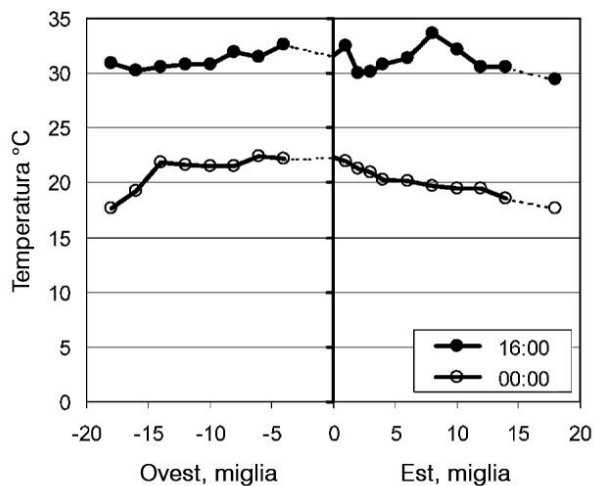


Figura 2.5 - Profilo di un intero percorso di rilevamento

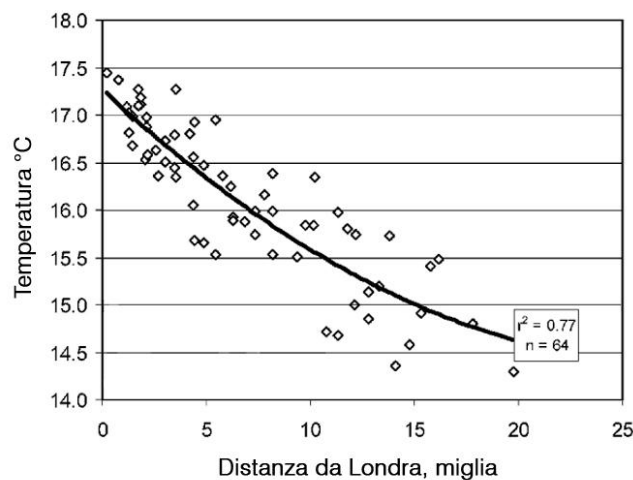


Figura 2.6 - Temperatura media e distanza radiale da Londra

I dati raccolti mostrano anche che l'isola di calore è prevalentemente un fenomeno notturno e la media dell'intensità è stata di 2.8K.

Il profilo delle temperature notturne di Londra tende a seguire un modello semplice con contorni disposti in modo circolare intorno al centro: si è trovato che il 77% della variazione della media delle temperature notturne in tutta Londra è legato alla distanza dal centro termale.

### 2.3 Rapporto Legambiente 2007: a Roma e Milano il centro scotta anche d'inverno

Temperature che superano i 40°C, precipitazioni ai minimi storici, afa e caratteristiche da clima tropicale. Da Trieste a Palermo, le città italiane si arroventano e sono sempre più esposte ai cambiamenti climatici, i cui impatti sono già oggi evidenti. Negli ultimi 50 anni la temperatura media annuale su tutto il territorio nazionale è aumentata di 1.4°C.

Risultato: come dimostrano i dati raccolti da Legambiente in collaborazione con l'Osservatorio meteorologico di Milano Duomo, i centri delle città si stanno surriscaldando con un'intensità maggiore di quanto non accada nelle aree circostanti.

Sono nove le città monitorate nel Rapporto: da Palermo a Torino, passando per Trieste, Milano, Bologna, Firenze, Roma e Napoli, tutte, con la sola eccezione di Bari, hanno fatto registrare un caldo record nei primi sei mesi del 2007. In ben 6 città su 9 infatti, con punte massime a Milano e a Trieste, da gennaio a giugno la temperatura è stata di 3°C più alta rispetto a quella del trentennio di riferimento (1961-90). Nel complesso sono le aree urbane del nord a subire l'impatto più consistente di un clima in costante cambiamento, con aumenti non inferiori ai 2.3°C, mentre al sud e al centro il surriscaldamento, seppur con minore intensità, è stato comunque evidente.

Dati che nel loro insieme ricordano quelli dell'ondata di calore del 2003, con però una differenza. Allora l'aumento delle temperature si concentrò nei mesi estivi, mentre in questo caso le anomalie più evidenti si sono registrate durante l'inverno e l'inizio della primavera, con ricadute anche sui

mesi estivi.

E' quanto accaduto con l'ondata di calore che si è abbattuta soprattutto al sud alla fine del mese di giugno 2003, con temperature massime particolarmente elevate per Bari, Napoli, Palermo e Catania. In questo senso il 2007 costituisce sì un'anomalia ma contemporaneamente un preoccupante segnale di continuità: quello del ripetersi con sempre maggiore frequenza di eventi meteorologici non ordinari che nel giro di qualche decennio potrebbero diventare normalità.

Il quadro che ne emerge è quello di realtà urbane che subiscono pesantemente gli impatti dei cambiamenti climatici in atto e lo fanno in modo più accentuato rispetto al resto del territorio.

L'analisi delle temperature medie mostra come l'aumento del 2007 non sia stato un fenomeno isolato ma si inserisce in un trend negativo che interessa il clima cittadino degli ultimi 50 anni con un'evidente accelerazione a partire dal 1990.

Detto in altri termini anche in un periodo relativamente piccolo, come i dieci anni intercorsi tra il 1997 e il 2007, emerge una tendenza generale al surriscaldamento e in alcuni casi il fenomeno è particolarmente evidente. Un esempio è quello di Milano, dove negli ultimi 10 anni la temperatura è mediamente cresciuta di 1.8°C rispetto a 50 anni fa, ma non mancano conferme al sud.

E' il caso di Napoli dove dal 1997 ad oggi l'aumento medio è stato di 1.2°C.

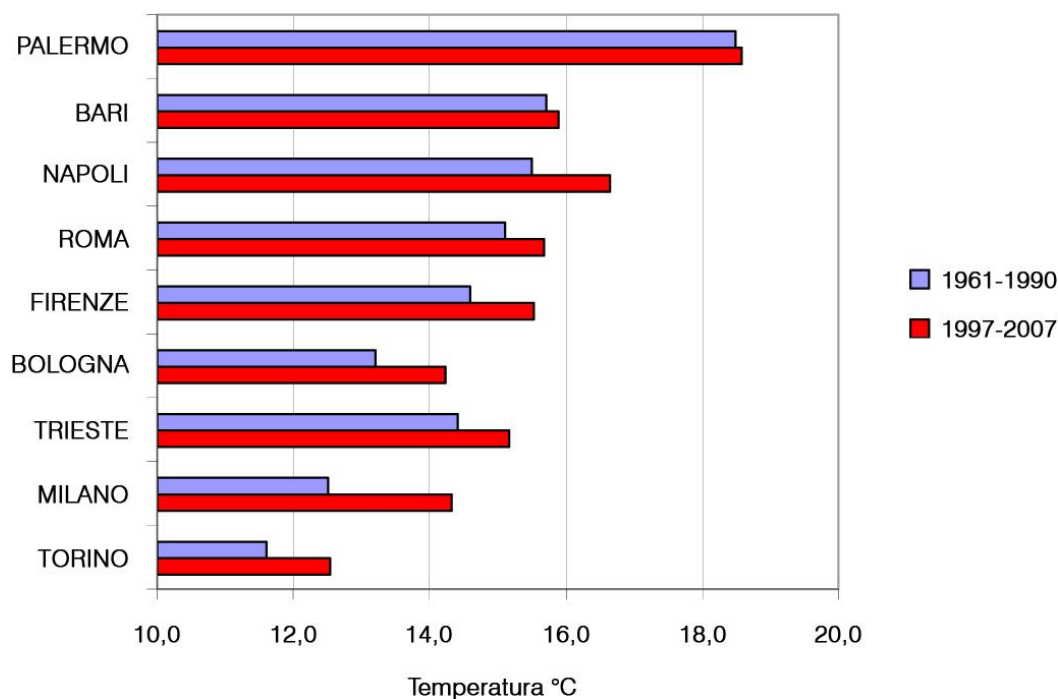


Figura 2.7 - Temperature medie delle maggiori città italiane (fonte: Rapporto Legambiente, 2007)

La figura 2.8 mostra come durante i primi mesi del 2007, le temperature del centro di Milano (colonnina rossa), rilevate dall'Osservatorio di Piazza del Duomo, sono state mediamente superiori di un grado rispetto a quelle dell'aeroporto di Linate (colonnina blu).

Gli scarti maggiori si sono registrati nei mesi di febbraio, marzo e aprile, che sono stati anche i mesi più caldi rispetto ai valori normali. Nel mese di aprile, più caldo di ben 5.5°C rispetto al valore

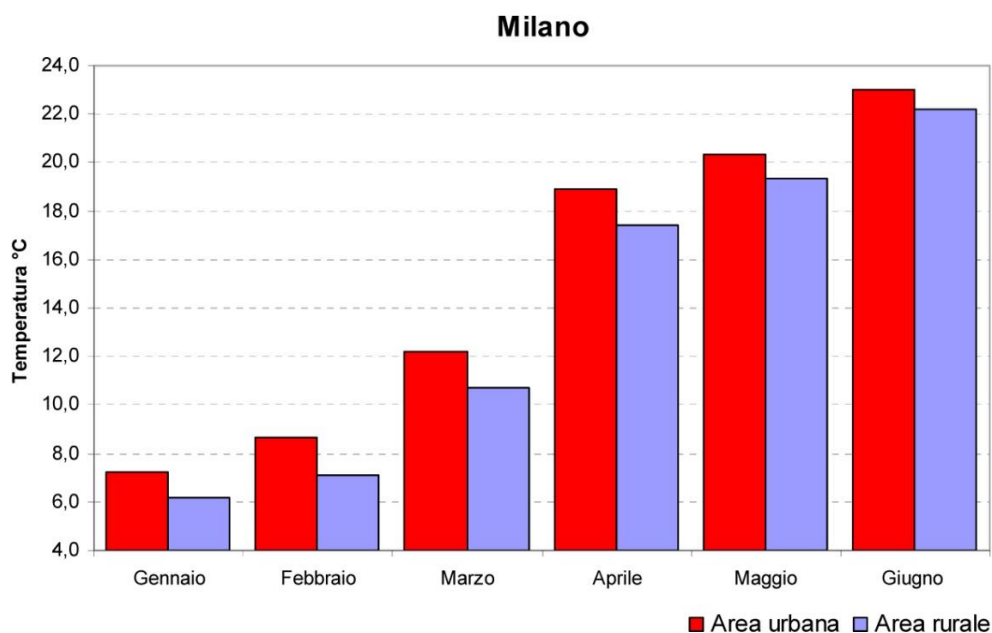


Figura 2.8 - Differenza di temperatura tra l'area urbana e l'area rurale di Milano (fonte: Rapporto Legambiente, 2007)

1960-1991, la differenza tra città e periferia si è mantenuta su uno scarto medio di 1,5°C, mentre a maggio è tornata su 1°C. Anche a Roma (figura 2.9) le temperature rilevate nel centro città,

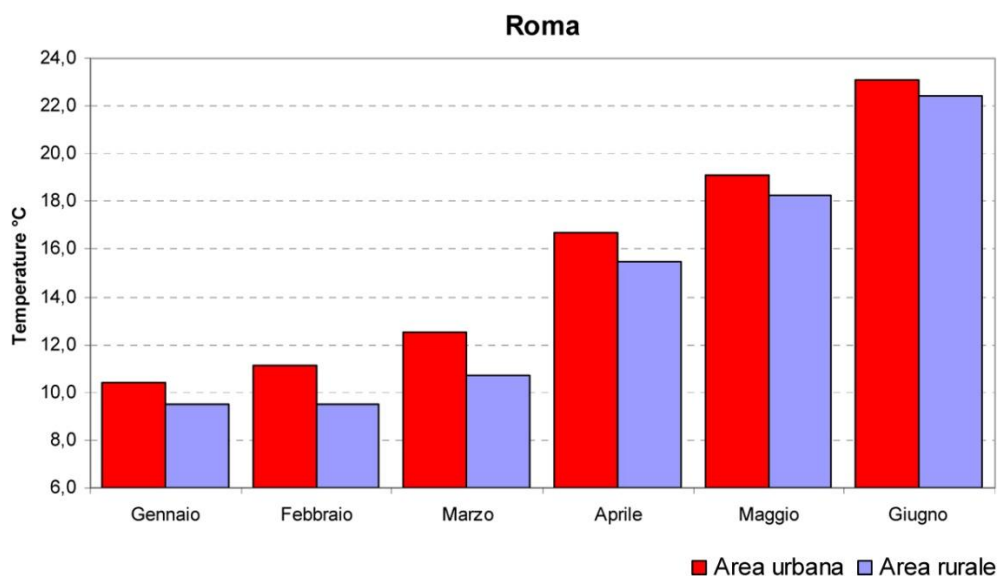


Figura 2.9 - Differenza di temperatura tra l'area urbana e l'area rurale di Roma (fonte: Rapporto Legambiente, 2007)

dall'Osservatorio del Collegio Romano (colonnina rossa) sono state costantemente superiori a quelle delle aree extra-urbane con riferimento all'aeroporto di Ciampino (colonnina blu). A marzo, quando contemporaneamente si è assistito a un calo clamoroso delle precipitazioni, lo scarto rispetto alle aree "periferiche" è stato di 1,8°C.

### *2.3.1 Cosa fare: le priorità di azione per ridurre l'effetto isola di calore*

Le città rappresentano un banco di prova fondamentale per invertire i processi di surriscaldamento del pianeta. Le priorità riguardano, da un lato, gli interventi per ridurre l'effetto isola di calore in ambito urbano e dall'altro quelli per diminuire, fino ad azzerare, le emissioni di gas serra prodotti dalle attività antropiche.

È dunque necessario intervenire sulle scelte di organizzazione e pianificazione degli interventi sul territorio, in modo da restituire agli spazi la naturale capacità di traspirazione, agli edifici e ai tessuti urbani di valorizzare al meglio i naturali apporti del sole, dei venti, delle ombre e dei corsi d'acqua.

#### *1 Incrementare la presenza di aree verdi e garantirne la continuità*

- preservando boschi, parchi e spazi rimasti liberi dall'edificazione;
- creando corridoi verdi e bioclimatici che colleghino i parchi e le aree naturali tra di loro;
- piantando migliaia di alberi che producono un positivo effetto sia come ombra che nel ciclo atmosferico.

#### *2 Restituire la permeabilità alle aree libere dagli edifici*

- ri-permeabilizzando le aree asfaltate come parcheggi, cortili, piazze con materiali che consentano la traspirazione dell'aria e il passaggio dell'acqua; riportando in superficie i corsi d'acqua intubati;
- stabilendo indici di permeabilità minima in tutti gli interventi urbanistici e per le aree libere stabilendo soglie minime di alberi da piantumare;
- recuperando e depurando le acque meteoriche e grigie per riutilizzarle negli spazi verdi e per gli usi compatibili in città.

#### *3 Introdurre obiettivi bioclimatici negli interventi edilizi*

- per aumentare l'albedo in città (cioè la capacità di una determinata superficie di riflettere la luce, e quindi di respingere le radiazioni solari), attraverso l'utilizzo di colori chiari e materiali che assorbono meno calore sulle superfici degli edifici;
- la diffusione di tetti verdi che migliorano anche l'isolamento degli edifici;



- la piantumazione di alberi intorno agli edifici e nelle strade per valorizzare l'ombreggiamento.

#### 4 *Diffondere le fonti rinnovabili e ridurre i fabbisogni energetici degli edifici*

- solare termico, solare fotovoltaico, minieolico, biomasse, geotermia: le fonti rinnovabili possono garantire larga parte del fabbisogno termico e elettrico delle città e dunque vanno diffuse e integrate in tutti gli interventi di trasformazione edilizia e urbana;

- migliorare l'isolamento termico degli edifici: per ridurre il fabbisogno di riscaldamento invernale e raffrescamento estivo; valorizzare gli apporti solari passivi (sfruttando al meglio l'orientamento degli edifici), la ventilazione, le ombre, la presenza di corsi d'acqua;

- aumentare l'efficienza degli impianti energetici: a partire da quelli di riscaldamento, attraverso l'utilizzo dei sistemi più efficienti (microgenerazione, caldaie a condensazione, teleriscaldamento); negli elettrodomestici elevando gli standard di rendimento; nella illuminazione pubblica riducendo la dispersione e introducendo sistemi innovativi di risparmio energetico.

#### 5 *Ridurre il traffico privato, integrare le modalità di trasporto sostenibili*

- rafforzare le reti del trasporto pubblico con investimenti che consentano di avere un efficiente e integrato sistema di ferrovie metropolitane, tram, autobus che viaggiano all'interno di corsie protette;

- estendere la tariffazione della sosta per le auto private con canoni crescenti verso le aree centrali, introdurre pedaggi di ingresso all'area urbana per finanziare gli interventi di mobilità sostenibile;

- realizzare una fitta rete di percorsi ciclabili e pedonali che colleghino tutte le principali direzioni di spostamento e le stazioni del trasporto pubblico in modo da rendere sicuro e continuo lo spostamento a piedi e in bici;

- utilizzare nei mezzi pubblici tecnologie con bassi consumi e emissioni (elettrici, metano, idrogeno, ecc.).

### 2.3.2 *Le buone pratiche delle città del Mondo*

Scommettere sulle città nella lotta ai cambiamenti climatici è diventata una delle priorità a livello globale. Non a caso una delle ultime iniziative internazionali di rilievo sul clima ha riguardato il

vertice tra le 40 città più grandi del mondo, riunite nella rete per la lotta al cambio climatico: il C40. Riunite a New York a maggio 2006, le amministrazioni cittadine del C40, tra cui quelle di New York, Chicago, Toronto, Città del Messico, Londra, Berlino, Tokyo e Roma, hanno annunciato la creazione di un fondo di investimenti per la riduzione dei consumi energetici degli edifici cittadini. Un'iniziativa che si inserisce in un programma più ampio di contrasto ai cambiamenti climatici e che punta alla creazione di un network per lo scambio delle conoscenze e l'individuazione di obiettivi comuni. Le iniziative più interessanti continuano comunque ad essere portate avanti dalle singole amministrazioni cittadine di medie e grandi dimensioni, come nel caso di Londra, che negli ultimi anni offre uno degli esempi più significativi di strategie a lungo termine per la riduzione dei gas clima-alteranti.

La città di Londra ha recentemente lanciato un ambizioso piano di riduzione della CO<sub>2</sub> puntando ad un abbattimento del 60% delle emissioni prodotte nel 1990 entro il 2025. Un programma dettagliato che investe i tre principali settori responsabili delle emissioni cittadine: il domestico, il commerciale-pubblico e i trasporti, definendo per ognuno target e scadenze.

Sui consumi domestici, responsabili del 40% delle emissioni cittadine, l'obiettivo è di tagliare 7.7 milioni di tonnellate di CO<sub>2</sub> entro il 2025, attraverso la riduzione dei consumi, la sostituzione di tutte le lampadine, l'isolamento termico e campagne di sensibilizzazione per rendere maggiormente eco-sostenibile lo stile di vita dei cittadini. Un programma che inizierà dal rendere efficienti tutti gli edifici di proprietà pubblica ma che è indirizzato soprattutto ai privati con finanziamenti e agevolazioni per l'installazione di micro-impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili, l'apertura di sportelli di consulenza per migliorare la prestazione ecologica della propria abitazione e fondi per l'isolamento termico degli appartamenti.

Passi avanti anche nell'ambito dell'edilizia, dove è lo stesso governo britannico ad aver fissato l'obiettivo "zero emissioni" per tutte le nuove abitazioni a partire dal 2016, mentre nella produzione di energia elettrica il programma cittadino è tutto puntato alla generazione distribuita, (solare sui tetti, eolico sul Tamigi, impianti di microgenerazione) con l'obiettivo di rendere Londra autosufficiente al 50% entro il 2050.

Sul trasporto infine il piano promosso dall'ex sindaco Ken Livingstone prevede un'ulteriore restrizione all'ingresso dei veicoli in città attraverso una tassa che tiene conto delle emissioni specifiche di ciascun veicolo.

*"Londra" si legge nel piano "è la prima città al mondo per il suo programma contro il traffico, ora intendiamo farla diventare la prima città dove un veicolo inquinante per entrare dovrà pagare 25 sterline (40 euro) al giorno mentre il pedaggio non esisterà per i mezzi non inquinanti".*

Arrivati a questo punto è importante sottolineare che, tra tutti quelli sopra elencati, uno dei principali e più diffusi interventi di limitazione e mitigazione dell'effetto dell'isola di calore è l'aumento della porzione verde all'interno dell'area urbana. La presenza di alberi, infatti, porta zone d'ombra sugli edifici, sulle strade e sulle aree verdi, con la conseguente diminuzione della temperatura superficiale di questi elementi. Si è voluto quindi, dopo aver spiegato cos'è e come agisce l'isola di calore

urbana, analizzare e approfondire l'argomento relativo al verde come strumento di mitigazione dell'isola di calore.

# BIBLIOGRAFIA

---

Berdahl, P. and Bretz, S. (1997), "Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials", *Energy and Buildings*, 25, 2, pp. 149-158

Chandler T.J. (1965), *The climate of London. Meteorological office temperature data for London (1931-1960)*, Londra, Hutchinson

Howard L. (1820), *The climate of London*, Londra, Harvard university library

Oke, T.R. (1982), "The energetic basis of the urban heat island", *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108, 455, pp. 1-24

Oke, T.R. (1987), *Boundary Layer Climates*, New York, Routledge

Oke, T.R. (1997), "Urban Climates and Global Environmental Change", *Applied Climatology: Principles & Practices*, pp. 273-287

Rapporto Apat (2007), *Cambiamenti climatici ed eventi estremi, rischi per la salute*, Roma

Rapporto Legambiente (2007), *Città: il clima è già cambiato*, Roma

Voogt, J.A. and Oke, T.R. (2003), "Thermal Remote Sensing of Urban Areas", *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 370-384

Watkins R. et al. (2002), "The London heat island: results from summertime monitoring", *Building Services Engineering Research & Technology*, 23, 2, pp. 97-106

## 3. IL VERDE ALL'INTERNO DEL PROGETTO URBANO

---

### *3.1 Architettura del paesaggio e piani del verde*

L'uso della vegetazione negli spazi urbani ha sempre avuto molteplici funzioni: simboliche, estetiche, ornamentali, produttive e di regolazione del microclima; quest'ultima è conosciuta fin dai tempi più remoti in tutta l'area mediterranea. L'impiego delle piante nelle abitazioni greche e romane, associato in modo opportuno ad alcune strutture architettoniche come pergole, portici, vasche e patii, sottolinea la costante ricerca di raffrescamento estivo.

L'aspetto propriamente utilitaristico del verde compare soprattutto durante i secoli dell'Impero Romano dove assume maggior rilievo all'interno delle mura cittadine ma solo come parte di quegli elementi costruttivi che ornano i grandi giardini annessi alle ville signorili.

Nel Medioevo il verde all'interno delle mura cittadine e nei monasteri assume una funzione quasi esclusivamente produttivo-alimentare, come unica fonte di sussistenza in caso di assedio.

Dal Quattrocento in poi, viene riconsiderata la funzione microclimatica del verde come umidificatore del microclima, cioè come protezione dal caldo estivo in particolare nel contesto delle ville suburbane, dove trova ampia diffusione l'uso del pergolato ricoperto da vite per le passeggiate nei giorni assolati; nel Cinquecento e nel Seicento, invece, la vegetazione viene ampiamente utilizzata per la protezione dal vento.

Nel Settecento, in Francia, si ha una prima inversione di tendenza: il verde assume importanza proprio all'interno degli agglomerati urbani e nasce così il concetto di "giardino pubblico" e le aree da occupare a questo scopo sono quelle di risulta dall'abbattimento delle mura cittadine e delle cortine murarie. Oltre alla funzione propriamente ornamentale della vegetazione, inizia a venire riconosciuta anche quella igienica, legata alla salubrità dell'aria.

L'architettura del paesaggio (landscape architecture), che si sviluppò nell'Ottocento e che guadagnò la dimensione professionale attraverso la fondazione di associazioni di professionisti e l'ingresso dell'insegnamento nelle università, sarà il campo dal quale emergeranno i pionieri della pianificazione ambientale: T. Jefferson, A. J. Downing, F. L. Olmsted, C. Eliot e W. Manning.

Fra questi, a giudizio di tutti i paesaggisti, Olmsted è colui che ha gettato le basi della moderna paesaggistica con le sue realizzazioni, i suoi saggi e le sue intuizioni. Egli fu l'ideatore del Central Park, prototipo del moderno parco urbano, ma va anche ricordato per due interventi che aprono la strada al nuovo modo di integrare il verde nelle città: il Riverside, e ancor più l'Emerald Necklace, sono due esempi concreti di sistema di verde urbano.

Riverside è un insediamento residenziale vicino Chicago che ha come principale caratteristica il rispetto della morfologia e della natura del luogo.

Il nucleo della proposta consisteva nel collegare Riverside, con la sua atmosfera rurale, i suoi verdi paesaggi, l'aria pulita e le abitazioni ben distanziate tra loro, con la città di Chicago mediante un grande viale per il traffico, sia veicolare che pedonale, e nel creare al contempo una rete di strade di

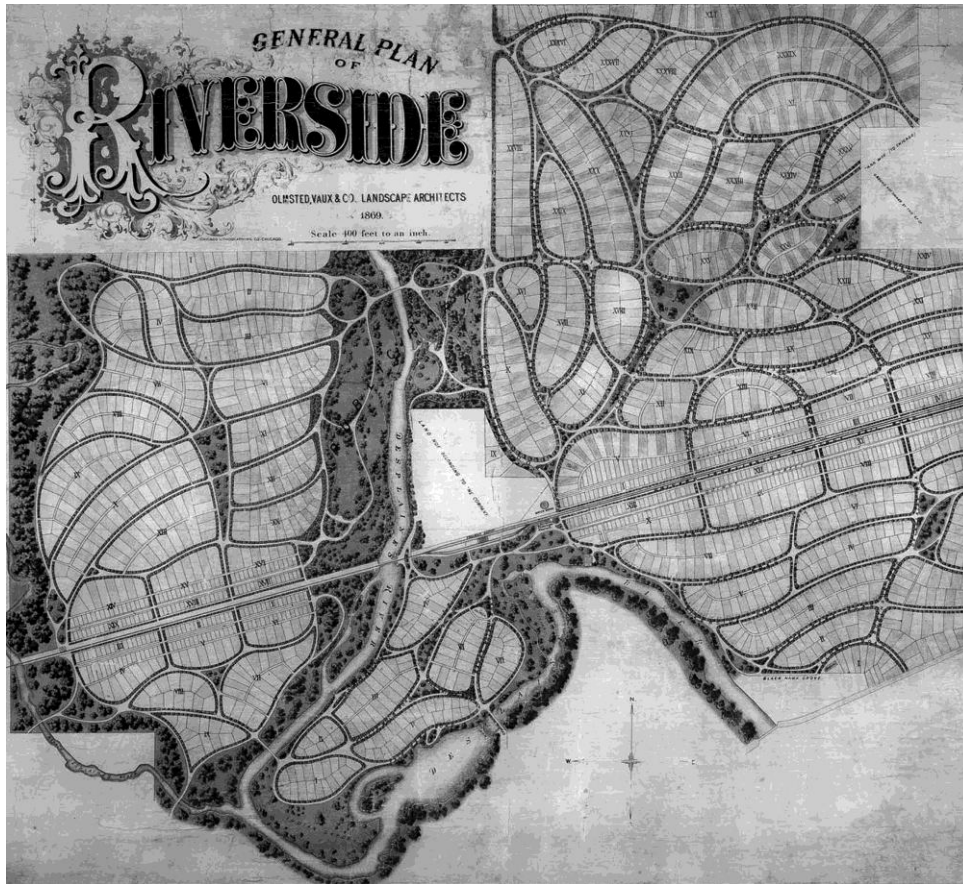


Figura 3.1 - Olmsted, sistema del verde di Riverside (fonte: Guccione, 2001)

vario tipo all'interno della città stessa.

L'idea di fondo che lo guidava era il rispetto per le peculiarità ambientali dei luoghi; quelle preesistenti (un lago, un bosco, una roccia affiorante) non andavano alterate ma anzi dovevano guidare la pianificazione urbana e qualificarla.

*“Il paesaggio – scrive Dal Co (storico dell'architettura italiana) parlando di Riverside – si è ormai trasformato in un preciso strumento urbanistico; i parchi sono il prodotto di una filosofia che mira a riformare le condizioni di vita attraverso tecniche raffinate di progettazione: la città nel suo insieme diviene la nuova scala dell'intervento urbanistico” [Dal Co, F. (1973)].*

Queste idee trovano una più complessa e ricca applicazione a Boston, dove Olmsted è chiamato, dopo il successo del Central Park, per realizzare sei parchi urbani. Egli intuisce che era ormai insufficiente pensare al parco come episodio isolato per qualificare o riqualificare aree degradate (come si operava nello stesso periodo in Gran Bretagna), ma che bisognava considerare il verde come una struttura urbana unitaria che interessa tutta la città.

*“Vi è ora la tendenza a considerare i parchi che si progettano per le città come se ognuno di essi fosse a sé stante, senza alcun rapporto con gli altri parchi dell'intero sistema, come se il parco fosse importante solo per gli abitanti della zona (...) e questa tendenza costituisce un ostacolo che va affrontato (...). Appare ovvio che, se per ogni parco si sfrutteranno correttamente le caratteristiche del*

luogo e si terrà conto delle limitazioni che esse impongono, il risultato (...) sarà molto più interessante e ben più prezioso di quanto lo sarebbe se si seguisse l'impostazione attuale che tende a considerare ogni parco, grande o piccolo, come una faccenda a sé, che non trae vantaggio dal rapporto con gli altri parchi e ad essi non conferisce alcun valore aggiuntivo" [Olmsted, F. (1881)].

Da qui la straordinaria ipotesi della cintura verde che collega i parchi urbani che lui stesso stava progettando, utilizzando una sorta di interconnessione costituita da percorsi pedonali e carrabili. Olmsted riproduce e perfeziona il modello delle parkways, la felice intuizione che aveva realizzato a Riverside, attraverso la quale realizzare dei suburban neighborhood (quartieri residenziali di alto valore paesaggistico).

L'idea di Olmsted viene applicata su grande scala da C. Eliot, proprio a Boston, dove arriva a proporre un sistema del verde a livello territoriale che supera i limiti della città, con un piano di dimensione metropolitano, ma che si apre ad una più vasta concezione regionale.

Il programma ambizioso di Eliot viene continuato nonostante la sua morte, avvenuta nel 1897. Sulla scia dell'esperienza di Eliot a Boston, un altro paesaggista della scuola di Olmsted, W. S. Cleveland, redige il Piano del Verde di Minneapolis, puntando sulla gradualità nella realizzazione delle varie parti e sostenendo l'economicità di ogni singola operazione grazie ai benefici indotti dal miglioramento ambientale.

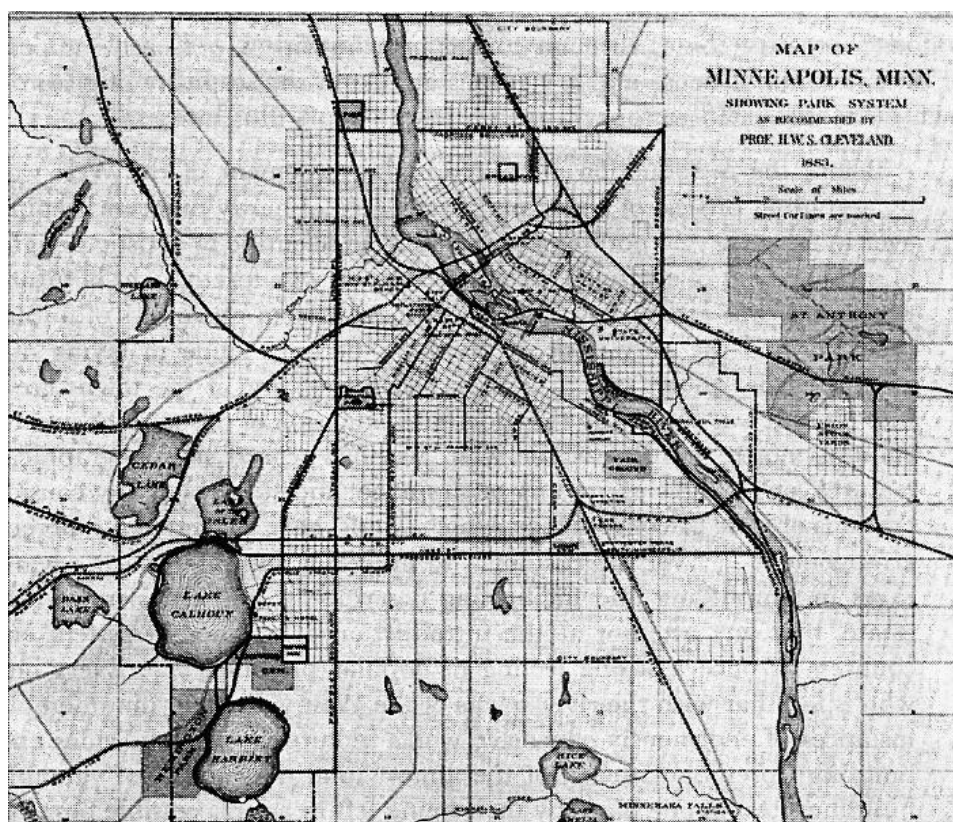


Figura 3.2 - Cleveland, sistema del verde di Minneapolis (fonte: Guccione, 2001)

Il park movement nato a metà del XVIII secolo, dall'esigenza di arricchire le città americane di parchi per dare una risposta concreta ai bisogni emersi con l'espansione urbana, sfocia quindi, alla fine di operazioni di radicale pianificazione paesaggistica, a livello urbano e territoriale.

Anche in Europa la consapevolezza della necessità di procedere in un modo unitario nel realizzare la struttura del verde urbano, si manifesta a metà dell'Ottocento.

*“Al parco inteso come occasione di abbellimento di una parte urbana, o di sollievo sociale dei quartieri popolari degradati, si sostituisce una visione più sistematica del verde e della sua integrazione con il corpo complesso e dinamico della città. Mutano le modalità compositive del giardino; a definire il suo assetto concorrono le tecniche di costruzione urbana e le tecnologie delle reti infrastrutturali”.*

Berlino, Vienna e Parigi sono le capitali europee che cominciano a dotarsi di queste infrastrutture verdi che superano l'idea stessa del tradizionale parco urbano. Lenné è fra i primi ad avviare questo processo di sistemazione paesaggistica organica della capitale tedesca, con il “Progetto per l'abbellimento e la delimitazione di Berlino” del 1840.

A Vienna la cintura verde del Glacis, che già esisteva come area verde attorno alle mura, con l'abbattimento di queste, per volontà dell'Imperatore, nel 1859 viene ampliata e trasformata nel noto Ring, la raffinata cornice verde che per decenni ha caratterizzato la vita di relazione dei viennesi.



Figura 3.3 - Vienna, cintura verde del Glacis (fonte: Guccione, 2001)



Il sistema del verde di Parigi, voluto da Napoleone III e realizzato sotto la direzione del barone Haussmann, è la più suggestiva e più complessa esperienza europea in questo campo. Pur nella difficoltà di stabilirne l'effettiva matrice culturale, la capitale francese acquisisce una dimensione di straordinario respiro urbano, grazie agli ampi spazi aperti, ricchi di vegetazione distribuita con sapienza tecnica ed estetica.

In Inghilterra, patria del giardino paesaggistico, che continua sino alla fine dell'800 ad influenzare la progettazione del verde in ogni parte del mondo, E. Howard, con la sua notissima formulazione sulla città giardino, dà una risposta radicalmente innovativa ai bisogni emergenti delle nuove metropoli. Appassionati fautori delle teorie di Howard furono i membri della RPAA (Regional Planning Association of America), fra cui L. Mumford, C. S. Stein e J. MacKaye.

Fra le realizzazioni più significative vi sono Sunnyside e Radburn (New York), dove Stein traduce in disegno urbano il concetto elaborato dal RPAA di garden community, *“la creazione – scrive Dal Co – di spazi attrezzati all'interno dei nuclei residenziali, quasi a ritagliare dalla vita urbana uno spazio comunitario che ha la funzione di incentivare al massimo la vita di relazione degli abitanti”*.

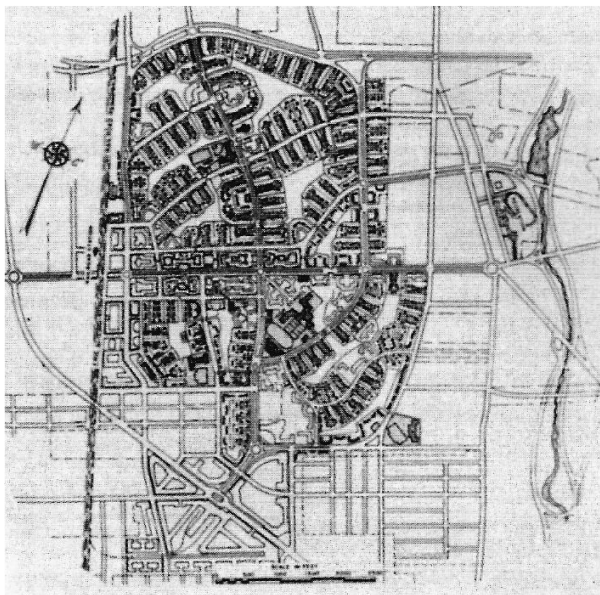


Figura 3.4 - Stein, Sunnyside (fonte: Guccione, 2001)

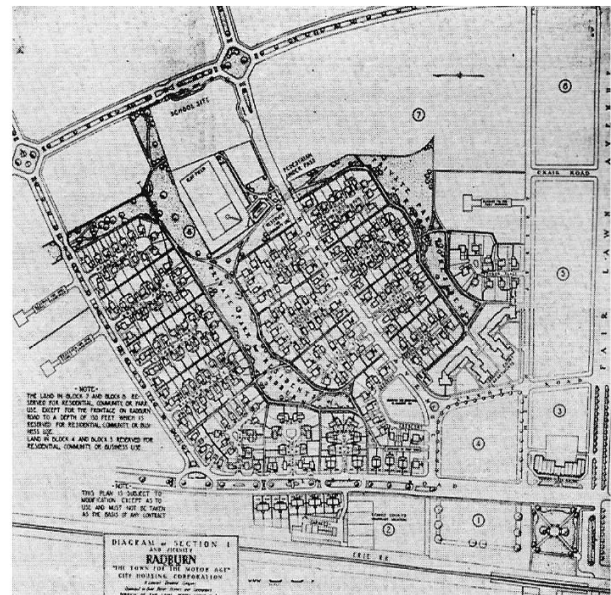


Figura 3.5 - Stein, Radburn (fonte: Guccione, 2001)

Questo schema, sperimentato per la prima volta a Sunnyside, viene perfezionato a Radburn (dal quale prenderà il nome). Si tratta di un sistema che prevede linee di traffico principale che non interferiscono con le unità residenziali, alle quali invece si accede con strade a cul de sac: attraverso la separazione del traffico carrabile da quello pedonale, si consente agli abitanti di questi nuclei di muoversi liberamente nei neighbourhood. Nel momento in cui i principi di base della pianificazione del verde urbano si andavano affermando, secondo un'ottica che teneva conto delle specificità culturali, naturali e sociali dei luoghi dove si andava ad operare, l'irruzione dei principi formulati nella Carta di Atene nel 1933 dai CIAM, provoca un disinteresse totale verso le specificità ambientali e un

arretramento della cultura paesaggistica.

In molte realtà, però, la resistenza di forti personalità, attente ai valori naturali ed ambientali, non lasciarono il campo alle utopie. In primo piano vi è la Germania, dove personaggi come L. Miggé, K. Foerster ed H. Mattern avevano creato una solida cultura verde che non fu facile emarginare.

Con la stessa ottica si muovevano in quegli anni l'Inghilterra e la Svezia. Esempio è il piano di Stoccolma, dove il sistema dei parchi non è interessante per la qualità progettuale, ma per la continuità, che diventa componente strutturale e qualificante nell'immagine della città.

Pertanto nessun vuoto o frattura netta c'è mai stata tra la cultura paesaggistica e quella strettamente urbanistica, grazie anche a un nucleo convinto e determinato di paesaggisti che avevano dato vita a diverse scuole di Architettura del Paesaggio, la prima fondata ad Harvard nel 1900 dagli allievi di Olmsted, dove si è continuato ad insegnare una pianificazione attenta alle componenti ambientali ed ecologiche.

Ma si dovrà arrivare al 1969 con la pubblicazione di *"Design with nature"* di McHarg per riportare la pianificazione nella direzione segnata da Olmsted. Si ritorna a considerare il paesaggio un unicum irripetibile in ogni sua componente, che va rispettato nelle sue vocazioni e repulsioni.

Gli ultimi anni possono essere considerati di importanza storica dal punto di vista dei segnali di evoluzione culturale intorno alle problematiche del territorio, in particolare per quanto riguarda la diffusione del riconoscimento dell'importanza dei punti di vista paesistico ed ambientale.

Tra il 1997 ed il 1998 l'Unione Europea ha messo a punto la proposta di "Convenzione Europea sul Paesaggio", un documento di grande importanza per la promozione di convergenze e per il coordinamento fra i Paesi membri che nell'autunno del 2000 è stato definitivamente ratificato dal Consiglio d'Europa nella conferenza di Firenze. Nel 1999 in Italia si è svolta la "Prima Conferenza Nazionale per il Paesaggio", un momento di confronto unitario, espressione di consapevolezza dei valori di cui il paesaggio italiano è portatore e delle responsabilità di conservazione ed uso durevole che la società italiana ha, in ragione del rilievo mondiale di tali valori.

Ormai si è ben lontani dal considerare il verde come semplice fatto puramente decorativo, tanto più dopo aver dimostrato che può contribuire notevolmente a garantire una elevata qualità abitativa all'interno di una visione ecologica della città.

### **3.2 Classificazione del verde urbano**

Oggi, vivendo alcune città si ha, spesso, l'impressione che ci sia stata una precisa volontà nel concentrare il verde soltanto in aree ben definite. Questa sensazione si radica nelle nostre abitudini e spinge tutti noi a interpretare le aree a verde esclusivamente come "posto da raggiungere". Andare al parco per far passeggiare il cane, o recarsi al giardino pubblico per far giocare i bambini fa parte, ormai, del nostro modo di vivere la città. Tutto questo consegna alla città un verde circoscritto e confinato solo in alcuni spazi e che si va semplicemente a visitare quando si ha tempo o quando se ne ha voglia.

A questo proposito, da circa vent'anni, c'è un forte ritorno alla concezione di strutture urbane verdi di tipo ecologico, cioè basate su una struttura di reti e spazi connessi, alle diverse scale, con grande attenzione, da un lato alle esigenze umane (fruizione, accesso, partecipazione), dall'altro alle esigenze dei sistemi vegetali (specie autoctone, buona cura, ecc.).

La progettazione investe tutte le diverse scale del verde: dalle strade, piazze, slarghi, corti, alle strutture o architetture verdi.

Il verde inizia a contribuire alla vivibilità degli spazi urbani della quotidianità in termini di fruizione per diverse attività (sostare a chiacchierare, sedersi, giocare, ecc.) in condizioni di elevato comfort ambientale (qualità di ombra, sole, luce, suoni); è quindi importante capire come si sviluppa e che spazi occupa all'interno della struttura urbana.

Il verde urbano si classifica in:

- verde di arredo: - giardini storici
  - spazi verdi di quartiere
  - parchi urbani
  - verde stradale, viali alberati, aiuole spartitraffico
- verde funzionale: - sportivo
  - scolastico
  - sanitario
  - cimiteriale
  - orti urbani.

### *3.2.1 Verde di arredo*

Il verde di arredo si riferisce a quella parte di verde in città che assolve alle funzioni del verde urbano in un contesto di totale fruibilità da parte dei cittadini, con qualche eccezione per i giardini storici e per alcuni parchi urbani che vivono in condizioni di maggior protezione e quindi fruibili solo in alcuni momenti della giornata. Il verde di arredo è alla portata di tutti e ciò impone attenzioni particolari durante la fase progettuale e la successiva fase di realizzazione.

## *Giardini storici*

Tantissime sono le norme che regolano gli interventi in queste delicatissime aree a verde. I giardini storici conservano ancor oggi stili progettuali e patrimoni vegetali intimamente legati alla storia, alla cultura e all'identità artistica dei luoghi che li contengono.

Non si può, quindi, parlare di "progettazione di un giardino storico" ma, semmai, di restauro conservativo dello stesso.

Obiettivo della gestione di questi giardini deve essere la conservazione e la sicura fruizione.



Figura 3.6 - Roseto della Villa reale di Monza

## *Spazi verdi di quartiere*

Esiste una sempre maggiore consapevolezza nel valutare l'importanza che riveste il "non costruito" all'interno del tessuto urbano.

Questi spazi marginali, o di risulta della crescita cittadina, vengono definiti "vuoti urbani" e possono svolgere un ruolo fondamentale nella riqualificazione ambientale e nel miglioramento delle agglomerazioni urbane sia grandi che piccole.

La città, infatti, non è costituita unicamente da luoghi costruiti e cementificati, ma integra le sue architetture e le sue infrastrutture all'interno di un sistema complesso e articolato di spazi aperti non costruiti che, se sapientemente utilizzati, saranno fondamentali nella crescita estetica e nel miglioramento della sua vivibilità.

Molti piccoli spazi potrebbero, così, essere recuperati nelle aree pubbliche di tutti i quartieri cittadini. Lo sviluppo progettuale tradizionale porta, però, a identificare queste piccole aree come piazzette

integralmente pavimentate o, nel migliore dei casi, ornate da alberi a medio-grande portamento che fuoriescono da esigue “lingue di terra” quasi sempre contornate da cordoli.

Ancor più tristi sono le aree definite “a verde”, allestite con cespugli e composizioni floreali, ma poi abbandonate a se stesse, private anche della più elementare manutenzione.

Valutando in questi spazi la superficie sottratta al verde dai cordoli, dai muretti di contenimento e da elementi murari architettonici d’arredo si evince, a volte molto chiaramente, che la tendenza prevalente è quella di circoscrivere il più possibile le zone in terra nuda a esclusivo vantaggio degli spazi pavimentati.

### *Parchi urbani*

I parchi urbani sono aree verdi più o meno estese inserite all’interno del tessuto cittadino.

Queste zone svolgono un’importante funzione ricreativa, igienica, ambientale e culturale, e risultano ancora oggi, purtroppo, unico punto di riferimento naturale all’interno della città.

La rapida crescita, spesso indiscriminata, delle città nello spazio rurale extraurbano, e l’avenuta mutazione dei rapporti tra spazi costruiti e spazi vuoti, indussero, alla fine dell’800, professionisti e studiosi a produrre interessanti proposte nel campo della pianificazione progettuale.

Con l’inizio del Novecento le questioni che si posero al pianificatore iniziarono a riguardare la crescita delle periferie urbane e il loro dilagare all’interno delle aree rurali.

Vennero, così, creati intorno alle città dei “sistemi di parchi”, delle “cinture di spazi verdi” e delle “colline per giocare”, tutti luoghi progettati e realizzati pensando allo svago e al tempo libero dei cittadini e che avevano, al tempo stesso, l’importante compito di fungere da zone di controllo e di contenimento dello sviluppo urbano.

Il primo, importante esempio di “costruzione” di un territorio assolutamente naturale all’interno di un’area cittadina, è indubbiamente rappresentato dal Central Park di New York.

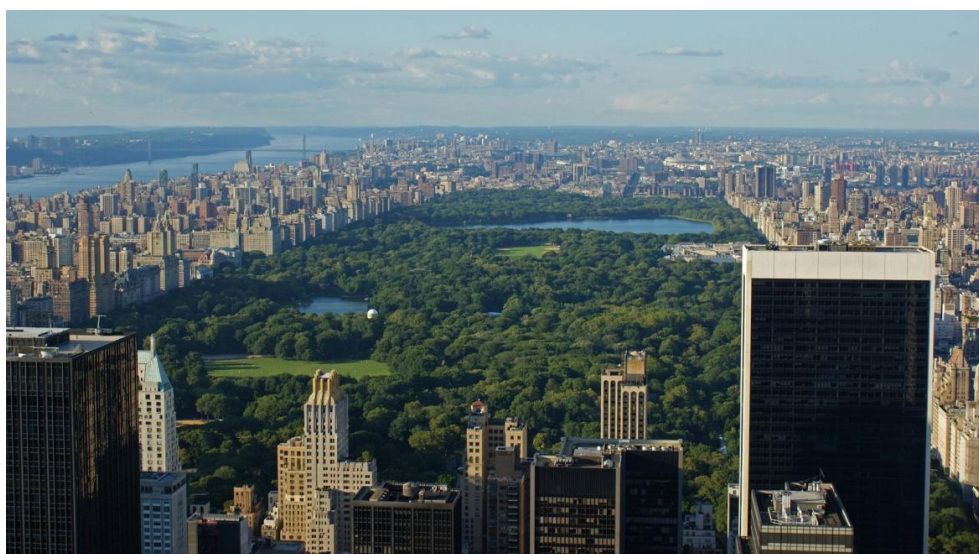


Figura 3.7 - Central Park, Manhattan, New York, Stati Uniti

Questa imponente “costruzione” paesaggistica riesce a convivere con il caos e la frenesia di Manhattan contrapponendo a questi la propria pace e tranquillità, tipica di un’area concepita in modo da mantenersi assolutamente integra nei suoi valori naturali.

Chi si trova all’interno di Central Park, pur trovandosi nel cuore pulsante di Manhattan, si ritrova immerso in un fantastico luogo, in cui la natura coglie una doppia occasione: quella di potersi presentare all’uomo in tutto il suo più intrinseco valore, e quella di contraccambiare l’ospitalità, in un certo senso, offertale dalla città assumendone il ruolo di unico polmone verde e dandole modo di respirare aria fresca e pulita.

Inoltre, camminando attraverso i viali alberati o costeggiando le rive dei piccoli fiumi all’interno del parco, si vive una curiosa suggestione, quella di trovarsi in un luogo che sia riuscito a sopravvivere alle trame urbane, mantenendo integra tutta la sua preziosa originalità.

In termini di progettazione paesaggistica, quindi, il parco rappresenta l’ideale piattaforma di confronto fra le esigenze antropiche e quelle ambientali.

Anche i parchi urbani, devono essere caratterizzati da zone con diverse funzioni (riposo, gioco, attività sportive e culturali, servizi igienici e di controllo), ma con la possibilità di sviluppare queste zone in spazi più grandi aumenta sensibilmente la possibilità di espressione progettuale del professionista e di riflesso la funzionalità che gli spazi hanno in rapporto alla gente che li usa.

Nella progettazione di un piano urbano è importante che il parco venga pensato come un proporzionato equilibrio di spazi naturali strutturati in modo da poter ospitare in maniera confortevole l’uomo, e non come, al contrario, un semplice luogo verde “ospitato” all’interno della città.

Generalmente i parchi urbani, essendo una naturale espressione del territorio, dovrebbero essere progettati e realizzati utilizzando essenze autoctone, ma anche quelle naturalizzate (cioè piante inserite da tempo in un certo territorio) rappresentano, ormai, un preciso riferimento sia storico che culturale delle aree in cui sono state impiantate.

Una volta definito il campo vegetale in termine di specie e varietà da utilizzare, che meglio si adattano ai luoghi sia sotto il profilo climatico che pedologico, occorrerà procedere allo sviluppo progettuale del parco.

Il progetto di un parco che deve essere realizzato ex novo in un’area urbana sottratta ad altre attività, dovrebbe rispettare alcune caratteristiche fondamentali.

Tutta l’area del parco dovrà essere contornata da siepi perimetrali e da essenze arboree che abbiano un doppio compito: quello di proteggere il parco stesso dalla “pressione” della città, e quello di offrire privacy a chi lo fruisce.

L’importante è che chi passeggia all’interno di un parco perda il contatto diretto con la realtà urbana. I volumi vegetali “pensati” all’interno del parco devono essere improntati seguendo criteri più naturali che architettonici.

La posa in opera di alberi, cespugli, pietre, laghetti naturali installati in un suolo che presenta, anch’esso, un profilo naturale costituisce la base strutturale di un parco urbano naturalizzato.

In questa realtà di “giardino”, l’intervento progettuale deve essere poco leggibile al termine della realizzazione e le masse verdi devono integrarsi in modo naturale, colonizzando lo spazio utile per la loro crescita.

Il disegno paesaggistico di questi parchi è ben diverso dal disegno dei giardini storici e da quelli residenziali che la cultura “geometrica” ci ha regalato.

Giardini di questo tipo comportano interventi manutentivi costanti con il compito di garantire nel tempo la sopravvivenza dell’idea progettuale e delle piante che la compongono.

Il parco naturale, al contrario, con il suo “equilibri caotico” di forme, dettato dallo sviluppo apparentemente casuale delle piante, costituisce, nel suo insieme, una struttura vivente quasi autosufficiente che necessita di interventi manutentivi estremamente ridotti.

#### *Verde stradale, viali alberati e aiuole spartitraffico*

Il verde stradale comprende tutti gli elementi vegetali esistenti in vie, viali, piazze e parcheggi, ed è prevalentemente disposto in aiuole ben circoscritte e costituito da alberi e arbusti.

È da ritenersi importante, sotto il profilo ambientale e paesaggistico, in quanto condiziona in modo sostanziale l’ambiente urbano e rappresenta, alcune volte, l’unica espressione del verde nelle aree più urbanizzate della città.



Figura 3.8 - Rambla, Barcellona, Spagna

L'organizzazione progettuale di questi spazi prevede l'utilizzo prevalente di alberi, cespugli ed essenze erbacee, poiché questi sono gli elementi vegetali "costruttivi", ma il modo di interpretare lo spazio in rapporto a questi può, e deve, essere rivisto.

Il verde stradale, di solito, prevede l'installazione vegetale in aree dalla forma esasperatamente geometrica.

La semplice piantumazione di alberi o cespugli in filare con l'unico obiettivo di coprire integralmente il nastro di terra a disposizione, pur essendo funzionale sotto il profilo ambientale, rappresenta una soluzione, ad oggi, semplice e a volte banale.

Una alternativa consiste nel raggruppare le alberature in zone ben definite e distanziate, addossandole il più possibile ai margini dell'aiuola e "legandole", le une alle altre, con volumi verdi arbustivi ed erbacei disposti in modo da integrare la chioma con la rimanente parte della superficie orizzontale.

La naturale alternanza che si creerà tra vuoto e pieno in questa soluzione d'impianto, enfatizzata dal movimento sinuoso dei volumi verdi arbustivi, sarà utile per cercare di riequilibrare la breve profondità dell'aiuola in rapporto alla sua notevole lunghezza.

Anche le piazzette che non si riterrà opportuno progettare con le caratteristiche del "giardino di quartiere" potranno, comunque, mantenere un rapporto equilibrato e naturale tra volumi verdi e pavimentazione.

La pavimentazione stessa può essere interpretata come vero e proprio "suolo", oppure può anche diventare elemento scultoreo sviluppando, con il suo profilo, arredi o fontane, e diventando, così, parte integrante del ristretto spazio verde a disposizione.

Un altro "trucco" nell'elaborazione del progetto riguarda l'inserimento degli alberi che non dovranno più trovare posto all'interno delle classiche aiuole delimitate da semplici cordoli, ma potranno avere la possibilità di esprimere se stessi in piccole aree definite da un elegante cambio della pavimentazione stessa.

Va sempre ricordato che gli alberi "cittadini" sono quotidianamente sottoposti a offese di vario tipo derivanti dall'inquinamento, dagli scavi effettuati senza riguardo alcuno per l'apparato radicale delle piante, dall'invadenza delle autovetture e dall'inciviltà delle persone.

Esistono diversi sistemi di protezione applicabile ai tronchi e al colletto degli alberi ubicati nei viali, ma il loro uso provoca quasi sempre una sensazione d'ulteriore costrizione della pianta che appare domata, ingabbiata nel tentativo, a volte vano, di proteggerla.

Gli alberi non dovranno rappresentare mai un elemento di pericolo per i cittadini.

Le aiuole spartitraffico, infine, nonostante la loro forma possa spingere il progettista verso un'interpretazione obbligata del "filare" alberato o dei cespugli, possono essere caratterizzate in maniera originale semplicemente adottando alcuni accorgimenti.

Per esempio, molto utile in questo senso si può rivelare una più accurata organizzazione del rapporto tra "vuoti" e "pieni".

Anche il colore delle essenze vegetali prescelte gioca un ruolo determinante sull'effetto visivo totale e, visto che la sua percezione è strettamente legata alla velocità di percorrenza della strada, è opportuno che le "bande cromatiche", poste in alternanza tra loro, siano costituite da un numero



piuttosto rilevante di piante.

Grazie all'ausilio dei cambi di colore e dell'alternanza delle forme si possono schermare le luci dei fari delle auto in movimento, nei due sensi di marcia, durante le ore notturne o creare un effetto benefico sulla vista degli automobilisti durante il giorno, tramite la rottura degli allineamenti visivi.

Infine, un'adeguata installazione degli elementi inerti può contribuire alla creazione di una "piccola ricostruzione paesaggistica modulare" che migliorerà l'estetica dell'intera aiuola, mantenendone perfettamente la necessaria permeabilità visiva.

### *3.2.2 Verde funzionale*

Per verde funzionale s'intende l'insieme di tutte quelle opere di verde pubblico realizzato in funzione di particolari esigenze della collettività e comprende il verde sportivo, il verde sanitario, il verde scolastico e il verde cimiteriale; rientrano in questa categoria anche gli orti urbani.

#### *Verde sportivo*

Il verde sportivo è lo strumento ideale per integrare i tanti elementi architettonici che compongono la struttura, svolgendo, al tempo stesso, un'importante funzione psicologica nei confronti di chi fruisce l'impianto.

La progettazione del verde sportivo deve rispondere a una serie di regole e di indicazioni:

- non dovranno essere inserite piante pericolose;
- le siepi perimetrali dovranno consentire la sufficiente privacy degli ospiti, garantendo, al tempo stesso, un'efficace barriera sia visiva che sonora;
- le zone d'ombra prodotte da una studiata ubicazione degli alberi dovranno essere inserite solo nelle aree che ne manifestino una reale esigenza;
- l'intera installazione verde dovrà esigere una ridotta manutenzione, indispensabile nell'economia complessiva della struttura.

#### *Verde scolastico*

Il verde scolastico deve assolvere alla duplice funzione di "polmone verde della scuola" e di "polo d'osservazione naturalistica", rispondendo alla funzione didattica.

La scelta vegetale e l'impostazione progettuale dovranno differenziarsi in relazione al tipo di scuola

in cui s'interviene in quanto diverse sono sia le caratteristiche architettoniche e funzionali delle strutture didattiche, sia le esigenze degli alunni che in esse si trovano a operare quotidianamente.

Un esempio su tutti viene fornito dal verde destinato agli asili o alle scuole elementari.

Colori molto rappresentativi, zone ludiche perfettamente integrate con il giardino, piccoli orti biologici o giardinetti tematici sono solo alcuni degli elementi che andrebbero progettati e realizzati in risposta alle necessità dei piccoli ospiti di questo ordine di scuole.

Le piante decidue e le piante da frutto sono da considerarsi molto importanti poiché consentiranno agli alunni l'osservazione dell'evoluzione vegetativa di ciascuna di esse durante il corso dell'intero anno scolastico, fornendo un valido supporto di sperimentazione pratica alle teorie scientifiche fornite dai libri di testo.

### *Verde sanitario*

Questo verde è legato alle strutture ospedaliere o alle case di cura.

All'interno di queste strutture il verde può mostrare tutta la sua capacità d'appoggio morale e psicofisico ed evidenziare anche una sua effettiva influenza sulle malattie dei degenti.

Spesso all'interno delle strutture sanitarie "datate" sotto il profilo costruttivo, esistono giardini interni che hanno i requisiti per essere ritenuti a tutti gli effetti "giardini storici", e per questo vengono tutelati dalla relativa Soprintendenza.

In questo caso ci si dovrà rigorosamente attenere alla salvaguardia o al ripristino conservativo.

Un bel giardino può essere fonte di benessere visivo, psicologico, tattile, e persino sonoro ma, se non opportunamente mantenuto, oltre che perdere tutte le sue valenze psicologiche, può divenire fonte di degrado visivo.

### *Verde cimiteriale*

Il verde cimiteriale riveste principalmente due importanti funzioni: quella più semplicemente ornamentale e quella psicologica.

Grandi accessi, viali di ampio respiro, alberi di notevole età e dimensione e siepi di grande impatto visivo, appaiono legati tra loro da un'impostazione progettuale "antica" che porta a considerare i giardini dei cimiteri monumentali come dei veri e propri giardini storici, e impone che, come tali, siano mantenuti e riqualificati.

Per quanto riguarda la funzione psicologica, è innegabile che gli spazi verdi di questi luoghi hanno l'obbligo di costituire un ambiente pacifico e sereno in cui tutti possano trovare rassegnazione e pace.

Essenze sempreverdi e aree opportunamente ombreggiate devono contribuire ad "alleggerire" lo stato d'animo di chi si reca al cimitero.

## *Orti urbani*

Il tema del recupero delle aree verdi in aree urbane e peri-urbane, costituisce uno dei punti sensibili di quel riequilibrio tra lo sviluppo urbano delle aree metropolitane e il mantenimento o l'individuazione d'ampie superfici agricole che rappresentino la storia agricola di quei luoghi.

Le aree urbane hanno, nei loro spazi interstiziali, spesso ricche parti di territorio agricolo ancora in uso o recentemente dismesso: terreni su cui l'attività agricola, e quelle connesse, possono ragionevolmente essere riprese con tecniche e finalità "moderne".

Le aree peri-urbane presentano parallelamente possibilità diverse: sono spazi di più ampia pertinenza e di più ampia possibilità di insediamento di colture specializzate, finalizzate a una commercializzazione più "pesante".



Figura 3.9 - Orto urbano a Milano in via Chiodi

La distribuzione delle aree di pertinenza alle due tipologie di recupero agricolo proposte, sono evidentemente differenti.

I grandi campi peri-urbani dovranno essere pensati come aree agricole vere e proprie, con strutture di servizio adeguate, ma sostanzialmente "inaccessibili" ai non addetti alla produzione.

Le aree interstiziali dovranno essere invece poli di forte attrazione sociale, aperte alle fasce più sensibili della popolazione come anziani e bambini.

Formati da piccoli appezzamenti di terreno, a ordinamenti policolturali, con scopo di autoconsumo, il tema degli orti urbani si concentra in Italia nel corso degli anni Settanta con caratteristiche di recupero spontaneo, da parte dei cittadini, di aree marginali del tessuto urbano o di aree agricole semi abbandonate.

# BIBLIOGRAFIA

---

Bellomo, A. (1997), *Il verde urbano come strumento di controllo degli spazi antropizzati*, tesi di laurea, Milano, Politecnico di Milano

Dal Co, F. (1973), *Dai parchi alla regione*, in Ciucci et al (1973), *La città americana dalla guerra civile al New Deal*, Bari, Laterza Editore

Fabbri, P. e Della Valle, M. F. (2010), *Il verde urbano. Struttura e funzione*, Maggioli editore

Guccione, B. e Paolinelli, G. (2001), *Piani del verde & piani del paesaggio*, Firenze, Alinea editrice

McHarg, I. (1969), *Design with nature*, New York, Doubleday & company

Pettina, G. (1996), *Olmsted. L'origine del parco urbano e del parco naturale contemporaneo*, Firenze, CentroDi

Sicurella, A. (2010), *Progettare il verde. Tecniche e soluzioni*, Sistemi Editoriali

## 4. IL VERDE COME AGENTE DI MITIGAZIONE

---

La presenza della vegetazione, ed in particolare degli alberi, nei centri abitati può avere, da un punto di vista qualitativo, un'importante funzione per il benessere degli abitanti delle città.

Se adeguatamente progettato e gestito il verde urbano può avere, a livello locale, delle funzioni ambientali, climatiche, igieniche ed ovviamente estetico-paesaggistiche di non trascurabile importanza.

Gli effetti climatici della vegetazione sono:

- modificazione della radiazione solare,
- variazione della radiazione infrarossa,
- variazione della velocità e della direzione del vento,
- variazione della temperatura dell'aria,
- variazione dell'umidità relativa e fenomeni connessi al ciclo dell'acqua.

L'efficacia di questi effetti è legata a molti fattori, quali le dimensioni dei popolamenti e degli elementi vegetali, la loro configurazione-esposizione in rapporto alle aree edificate, la distanza fra gli alberi, l'estensione delle chiome e la loro altezza, la densità del fogliame.

Esistono anche delle azioni non necessariamente connesse agli effetti climatici della vegetazione come:

- controllo del rumore,
- abbattimento delle sostanze inquinanti,
- qualità dell'acqua e protezione del suolo,
- conservazione della vita animale,
- produzione di biomassa.

#### 4.1 Regolazione del microclima

La vegetazione utilizza la radiazione solare per la fotosintesi, che costituisce il processo fisico-chimico base della crescita vegetale.

Il processo fotosintetico assorbe solo una piccola parte della radiazione incidente, mentre la maggior parte viene riflessa, trasmessa e riemessa sotto forma di calore sensibile e latente (evaporazione). In termini molto generali, si può dire che del 100% della radiazione solare incidente la vegetazione latifoglia ne riflette circa il 20%, ne assorbe per la fotosintesi meno del 5%, ne assorbe e riemette come calore sensibile e latente – per evapotraspirazione – il 65% e infine ne trasmette meno del 10%. La trasmissione della radiazione visibile nella massa vegetale dipende dalle proprietà radianti, dalla densità e disposizione spaziale delle foglie e della struttura tronco-rami: più è densa la vegetazione più energia viene assorbita nella massa vegetale. La quantità di traspirazione dipende dalle condizioni ambientali ( radiazione, umidità e presenza d'acqua nel terreno) che condizionano la circolazione di acqua nella pianta, che avviene attraverso l'apertura degli stomi cioè gli organi di evaporazione. Oltre che per traspirazione, le piante dissipano calore anche per evaporazione dal terreno e dalle foglie. I due fenomeni si chiamano evapotraspirazione che costituisce un aspetto importante del controllo microclimatico, perché l'acqua per evaporare utilizza il calore dell'aria ambientale e quindi ne diminuisce la temperatura. L'effetto generale di tutti questi scambi energetici è che le strutture urbane verdi, a diversa scala e dimensione, giocano un ruolo determinante nella moderazione del microclima urbano anche per i venti termici che innescano.

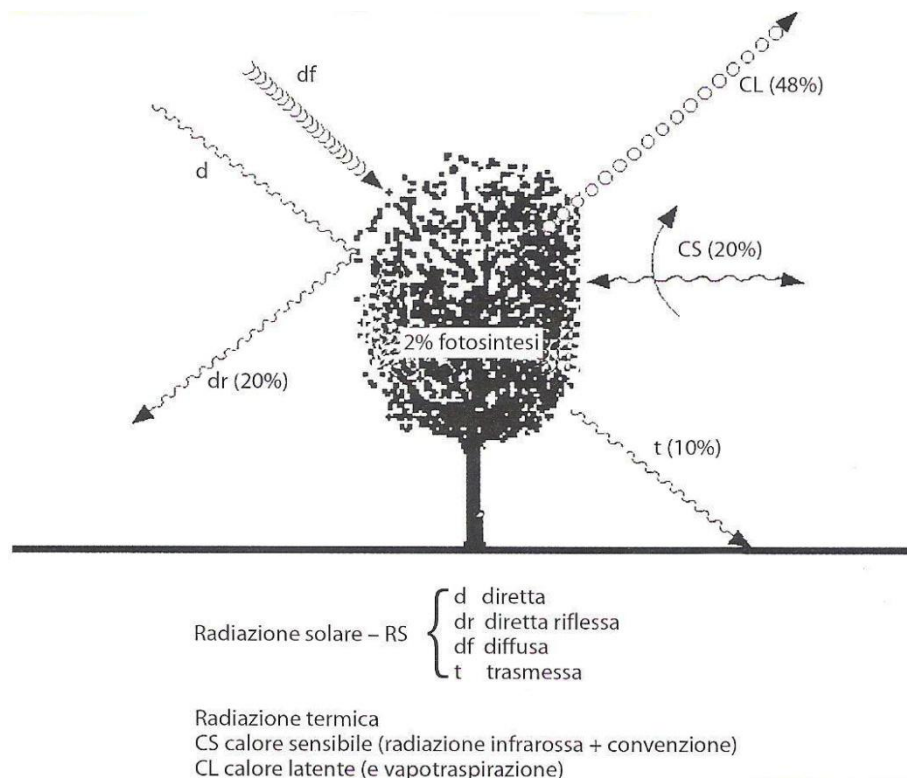


Figura 4.1 - Schema degli scambi energetici tra vegetazione e ambiente (fonte: Scudo, 2003)

## Modifica della radiazione solare

La radiazione solare che attraversa l'atmosfera può essere raggruppata in tre bande: quasi il 50% è compresa nella banda del visibile mentre il restante 50% è da suddividere tra le bande dell'ultravioletto e dell'infrarosso, rispettivamente alla sinistra e alla destra dello spettro, che, essendo esterne alla banda del visibile, non sono percepibili dall'occhio umano.

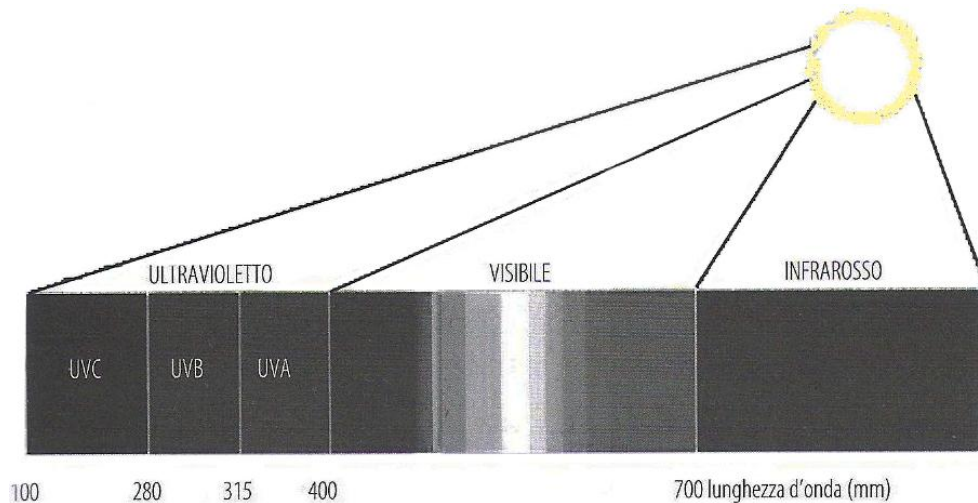


Figura 4.2 - Rappresentazione dello spettro solare (fonte: Dessì, 2007)

Uno degli effetti microclimatici più efficaci e noti della vegetazione è quello di modificare sensibilmente la radiazione solare attraverso processi di riflessione, trasmissione e assorbimento della radiazione che variano nel tempo (giorno/notte, estate/inverno) contrariamente all'ambiente costruito che normalmente modifica la radiazione in modo stabile.

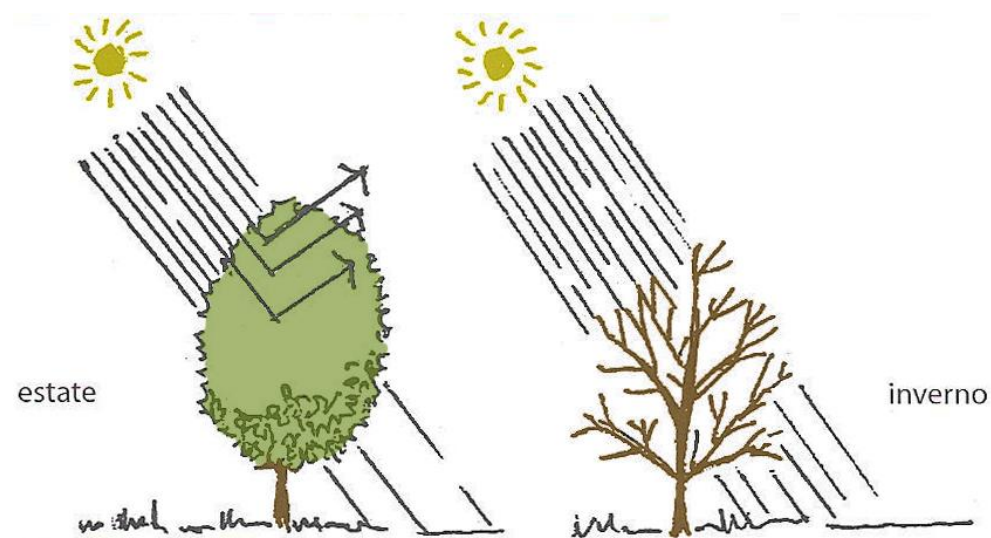


Figura 4.3 - Schema dei processi di controllo della radiazione solare da parte della vegetazione (fonte: Scudo, 2003)

Le chiome vegetali intercettano la radiazione e l'effetto microclimatico più evidente della diminuzione di radiazione trasmessa è di determinare una temperatura radiante delle superfici ombreggiate molto inferiore rispetto a quella di una superficie non ombreggiata.

La densa chioma di una struttura verde determina una zona di penombra dove il livello di comfort termico è elevato pur potendo svolgere compiti visivi, come leggere o lavorare.

Le variabili principali che determinano l'efficienza di controllo della radiazione sono le caratteristiche di forma e dimensione, tipo di foglia, densità della chioma e della silhouette, periodo di foliazione e, non da ultimo, la velocità di accrescimento.

#### *Variazione della radiazione infrarossa*

La radiazione infrarossa è tutto il calore emesso dal terreno, dai corpi sopra l'orizzonte e dall'atmosfera.

La quantità di radiazione in gioco dipende dalle caratteristiche di emissività delle superfici, della temperatura superficiale e della temperatura apparente del cielo.

La radiazione terrestre ha un effetto importante sul microclima perché quasi tutta la radiazione solare incidente sui corpi si trasforma in calore che viene riemesso in funzione delle caratteristiche fisiche (emissione, assorbanza, capacità termica); la radiazione terrestre non si sovrappone a quella solare perché di lunghezza d'onda differente, quindi si possono trattare i due tipi di radiazione separatamente.

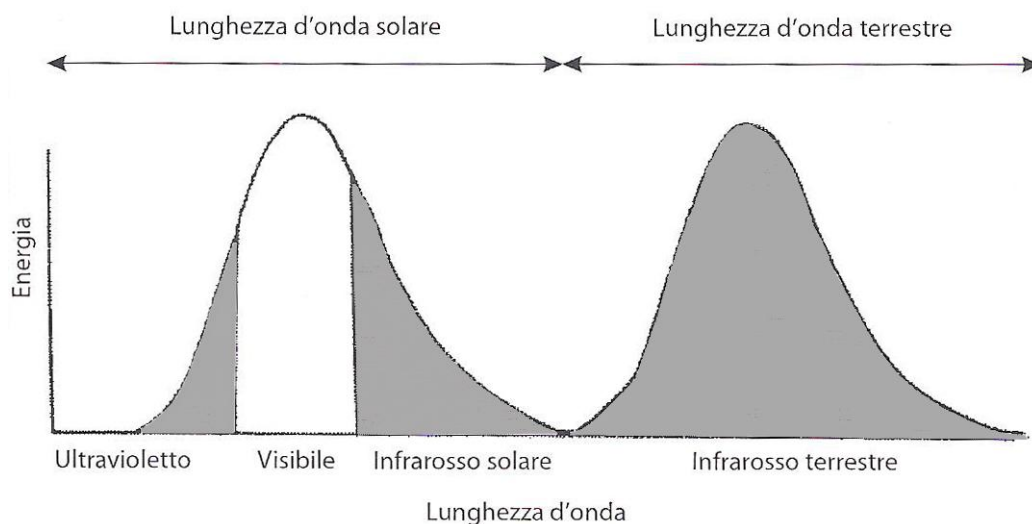


Figura 4.4 - Radiazione solare ricevuta e quella terrestre (fonte: Scudo, 2003)

Anche la vegetazione, come qualsiasi altro corpo, ha una azione specifica sugli scambi radiativi anche se non visibili; un albero attraverso la sua massa arborea emette calore sensibile che può contribuire, se non bilanciato dal calore latente sottratto all'aria per evaporazione, a innalzare anche se di poco la temperatura dell'aria vicina alla vegetazione.



## *Variazione della velocità e della direzione del vento*

Il vento è una delle componenti più importanti del microclima perché riduce le differenze di temperatura nell'ambiente e contribuisce a dissipare il calore dalle persone e dagli edifici.

Il vento è un fenomeno che si crea per differenza di pressione nell'atmosfera (dovuta alla differenza di temperatura), che porta ad un movimento delle molecole dell'aria.

Il controllo dei flussi del vento, con un utilizzo appropriato della vegetazione, costituisce uno dei modi "storici" per modificare il microclima e migliorare il comfort umano negli spazi aperti, oltre che a contribuire alla riduzione dei consumi energetici negli edifici.

Il vento è infatti uno degli elementi del microclima che può essere modificato in modo significativo dalla vegetazione e, in generale, dagli elementi del paesaggio.

In termini generali la vegetazione, come tutti gli altri oggetti al suolo, aumentando la rugosità aerodinamica diminuisce la velocità del vento in funzione della dimensione e della densità della chioma.

Questo fenomeno può essere utilizzato per diversi effetti di:

- barriera,
- filtro,
- deviazione,
- canalizzazione.

Il tipo più diffuso è il frangivento composto da essenze diverse (arboree e cespugliose) disposte generalmente in configurazioni lineari con una o più file.

La barriera frangivento può essere classificata in funzione delle sue caratteristiche geometriche e della sua "permeabilità" all'aria che definiscono la profondità della zona d'ombra (dove la velocità del vento è ridotta).

Un aspetto molto importante delle barriere è anche la dimensione trasversale che, se aumenta fino a formare un piccolo bosco, è in grado di diminuire molto la velocità del vento e di aumentare l'ombra della barriera perché l'energia cinetica del vento viene assorbita quasi completamente dalla massa arborea.

La maggiore efficienza di protezione si ha quando il vento è perpendicolare alla barriera.

La presenza di vegetazione negli spazi urbani contribuisce a indurre nei periodi estivi brezze termiche perché tende ad aumentare le differenze di temperatura tra zone calde (senza vegetazione) e zone più fresche (con vegetazione).

Anche differenze di temperatura di pochi gradi (circa 2°C) sono sufficienti a innescare micro "effetti oasi", cioè micro brezze con velocità dell'aria basse ma apprezzabili nelle assolate giornate estive.

## Variazione della temperatura dell'aria

Il surriscaldamento dell'aria crea una forma di disagio, dovuta sia al calore dell'irraggiamento solare sia alle attività cittadine ed è legata, tanto alla conformazione del tessuto della città, quanto al tipo di soprasuolo.

Infatti, nel centro delle città, la grande concentrazione delle aree edificate e le pavimentazioni stradali, unite alla elevata conducibilità termica di alcuni materiali, quale il cemento armato, determinano un assorbimento del 10% in più di energia solare, rispetto ad una corrispondente area coperta da vegetazione.

Al contrario di altri tipi di superfici, quelle verdi restituiscono l'energia solare secondo cicli biochimici e biologici: l'effetto principale di riduzione della temperatura operativa è dovuto ai processi di riflessione/assorbimento della radiazione solare e termica che raggiunge il suolo, e al processo di evapotraspirazione che "sottrae" calore all'ambiente.

L'effetto combinato è una riduzione consistente della temperatura radiante e delle superfici e anche una lieve riduzione della temperatura dell'aria.

Bisogna considerare che l'abbassamento delle temperature, per effetto dei processi traspiratori delle piante, è minimizzato in presenza di singoli alberi, mentre diventa decisamente sensibile in caso di ampie zone verdi. Le variazioni a livello microurbano, cioè per una estensione di verde di un parco di qualche ettaro, sono nell'intervallo di circa 2-3°C.



Figura 4.5 - Variazione della temperatura dell'aria al variare della densità del costruito (fonte: Scudo, 2003)

L'effetto di riduzione della temperatura, per la presenza di un'area verde, è riscontrabile solo su scala locale e ad una relativa distanza, per via degli scambi convettivi dell'aria che ne riducono l'influenza a scala più ampia. Allo stesso tempo, è stato rilevato come l'incremento di aree verdi in città, attraverso il processo di evapotraspirazione, contribuisca notevolmente a migliorarne le temperature globali estive e a ridurre quindi i consumi elettrici per il condizionamento dell'aria.

Da tali premesse deriva che l'uso del verde urbano va pertanto individuato soprattutto come sistema passivo da integrare opportunamente agli edifici nella città (sia a livello di insediamento di più edifici e sia a livello di singole unità edilizie), per migliorare il microclima estivo e la qualità dell'aria. La strategia d'intervento possibile, con l'utilizzo della vegetazione integrata al costruito, consiste perciò nell'assicurare una riduzione del flusso termico entrante attraverso l'ombreggiamento, la riflessione della radiazione solare, la riduzione degli scambi convettivi e l'assorbimento di energia solare impiegata per i processi traspiratori e fotosintetici.

Con riferimento all'Italia, è stato stimato che un aumento del 10% della superficie a verde determinerebbe in alcune città italiane l'abbassamento di 2°C della temperatura dell'aria, con un risparmio energetico per il raffreddamento durante l'estate, pari all'8-11%.

#### *Variatione dell'umidità relativa e fenomeni connessi al ciclo dell'acqua*

La vegetazione, oltre a modificare la radiazione solare, il vento e la temperatura dell'aria, ne modifica anche l'umidità immettendo nell'ambiente il vapor d'acqua prodotto dall'evapotraspirazione.

La vegetazione, abbassando la temperatura dell'aria, tende quindi ad alzare l'umidità relativa che normalmente nelle città in estate è bassa. L'aumento di umidità può arrivare al 20%.

L'effetto del raffreddamento dell'evapotraspirazione è sensibile in grandi masse di vegetazione, cioè a scala urbana/territoriale o anche a piccola scala ma in condizioni particolari di "chiusura" della vegetazione entro limiti verticali quasi continui (per esempio nelle corti).

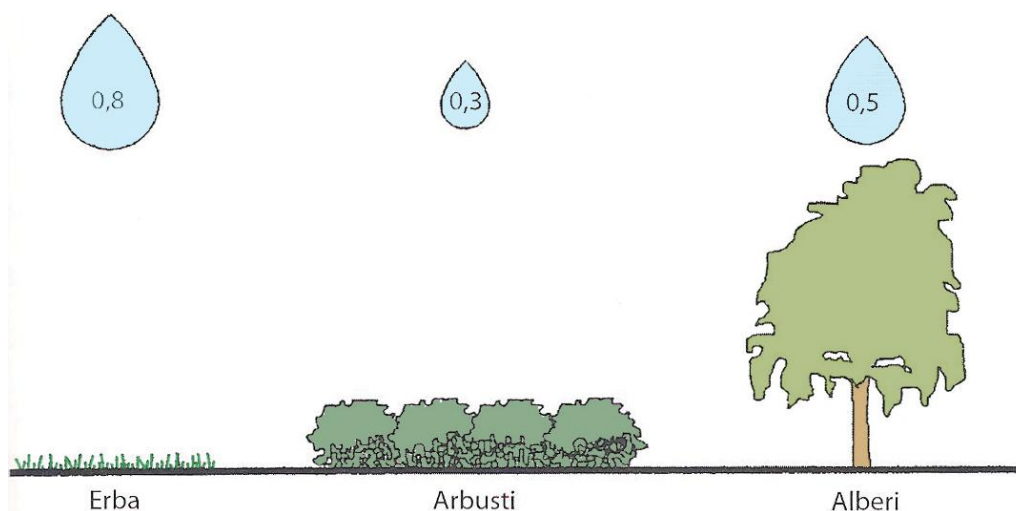


Figura 4.6 - Quantità relative di acqua assorbita dalle diverse tipologie di vegetazione (fonte: Scudo, 2003)

La capacità delle piante di intercettare l'umidità e le precipitazioni, di rallentarle e di ritenerle con la porosità del suolo serve non solo a controllare il ruscellamento dell'acqua e l'erosione del suolo ma anche ad aumentare e protrarre nel tempo l'evaporazione.

Questo effetto, combinato con la diminuzione di temperatura determinata dall'ombreggiamento della chioma, concorre a diminuire sensibilmente la temperatura.

#### 4.1.1 L'azione microclimatica del verde a Milano

Uno dei pochi studi sull'influenza della vegetazione sull'intorno urbano reperibile nella letteratura italiana, per altro risalente a diversi anni orsono (1995), è quello compiuto su alcune piazze di Milano. Per questo studio, sono stati messi a confronto spazi urbani caratterizzati da differenti quantità di verde.

Per valutarne il diverso comfort termico è stato effettuato il confronto tra quattro piazze cittadine accoppiandole, a due a due, secondo la loro dimensione e localizzazione rispetto al sistema urbano. La coppia di quelle piccole è costituita da: piazza S. Fedele e piazza S. Maria delle Crociate, la prima con scarsa vegetazione, relativamente chiusa da edifici di media altezza con l'asse principale NE-SO; la seconda ha forma, dimensione ed orientamento simili alla precedente, ma è più aperta e caratterizzata da una macchia di vegetazione decidua al centro.



Figura 4.7 - Piazza S. Fedele, Milano



Figura 4.8 - Piazza S. Maria delle Crociate, Milano



Figura 4.9 - Piazza Leonardo da Vinci, Milano



Figura 4.10 - Piazza Aspromonte, Milano

La coppia di quelle grandi è costituita da piazza Leonardo da Vinci e da piazza Aspromonte, la prima ha forma rettangolare con l'asse principale N-S e ha una non fitta vegetazione mista distribuita prevalentemente con criteri estetico paesaggistici; la seconda ha forma quadrata ed una interessante vegetazione prevalentemente decidua che forma una chioma quasi continua.

Il clima di Milano è di tipo continentale temperato caratterizzato da inverni freddi umidi e relativamente nebbiosi e da estati caldo-umide poco ventilate; l'isola di calore estiva innalza la temperatura dell'aria di circa 1.5°C durante il giorno e di circa 4.5°C durante la notte. I risultati delle elaborazioni sono stati mappati con un programma topografico per poter leggere più facilmente, attraverso la variazione delle isoterme, l'effetto dei diversi tipi di vegetazione sulle diverse piazze.

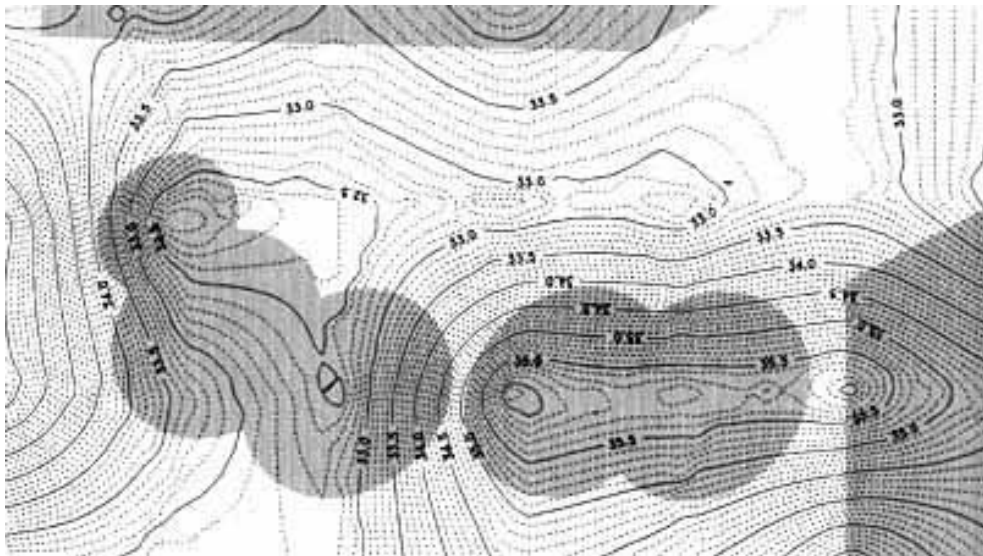


Figura 4.11 - Distribuzione delle isoterme in Piazza S. Maria delle Crociate, luglio, ore 13:30 (fonte: Fabbri, 2010)

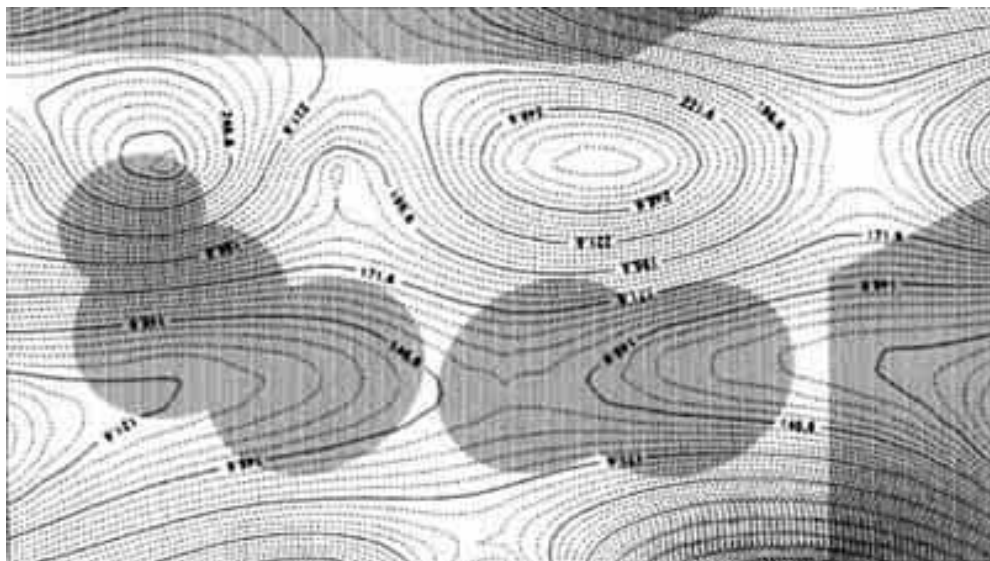


Figura 4.12 - Curve di iso budget in Piazza S. Maria delle Crociate, luglio, ore 13:30 (fonte: Fabbri, 2010)

La distribuzione delle isoterme in S. Maria delle Crociate fa vedere chiaramente l'effetto della chioma degli alberi con una differenza di temperatura media di 2.5°C e massima di 4°C fra aree ombreggiate e non; la temperatura notturna ha circa la stessa variazione.

La distribuzione delle isoterme in piazza Aspromonte mostra l'effetto di una chioma quasi continua con una differenza media di 2°C e massima di 3.5°C fra aree ombreggiate e non ombreggiate; infine la distribuzione delle isoterme in piazza Leonardo da Vinci fa vedere l'influenza dell'ombreggiamento della chioma con differenze medie e massime rispettivamente di 2-3°C.

L'effetto di nicchia di raffrescamento della vegetazione nelle piazze è consistente quando la chioma degli alberi è continua e lo spazio della piazza è quasi chiuso dagli edifici circostanti.

Da questo studio emerge che a Milano il principale effetto estivo della vegetazione è dovuto al controllo della radiazione che modifica il comfort termico.

#### **4.2 Effetti non climatici della vegetazione**

##### *Controllo del rumore*

Il rumore è un suono non desiderato che per le sue caratteristiche fisiche e per la periodicità di emissione può generare fastidio, disagio e, a volte, anche dolore.

La protezione dal rumore può essere effettuata riducendo la quantità e la qualità del suono che giunge al bersaglio (abbattimento); questo può essere ottenuto attraverso le cosiddette "barriere", cioè ostacoli di altezza tale da modificare la propagazione delle onde sonore.

Le strutture che vengono utilizzate per fare da schermo possono essere di vari tipi:

- rigide e passive (muri, pareti, terrapieni, strutture isolanti o fonoassorbenti ecc.); in questo caso l'energia sonora viene per la maggior parte riflessa, ma anche rifratta;
- attive (barriere e siepi con piante vive); in questo caso l'energia sonora in parte viene riflessa e rifratta, ma in parte viene assorbita nei tessuti vivi e successivamente dissipata sotto forma di calore;
- miste, consistono nell'abbinamento di schermi passivi e attivi.

Le barriere artificiali, realizzate in metallo e/o cemento, hanno in genere un potere di abbattimento del rumore pari a 10-15 dB; quelle vegetali, realizzate con alberi e arbusti, se sufficientemente ampie, possono ridurre i suoni fino a 5-8 dB.

È stato notato, infatti, che per abbassare in modo significativamente percepibile il livello di intensità dei rumori, per esempio, da 5 a 10 dB, sono necessarie barriere di spessore variabile tra 40 e 100 metri.

L'efficienza delle barriere vegetali ai fini della riduzione dei rumori dipende dalle specie, dallo stadio di sviluppo delle piante, oltre che dalle caratteristiche stesse del rumore.

La pianta interviene attivamente ad attenuare il suono tramite la corteccia, i rami e le foglie.

A livello della chioma, le piante attenuano soprattutto le alte frequenze.

#### *Abbattimento delle sostanze inquinanti*

Gli spazi destinati a verde possono determinare effetti benefici sull'ecosistema urbano, sulla qualità dell'aria e sulle condizioni sanitarie generali delle città.

La vegetazione, infatti, svolge delle funzioni atte a migliorare la qualità dell'ambiente tra cui il controllo dei fattori dell'inquinamento dell'aria, fungendo da elemento filtrante per polveri e gas e costituendo passivamente un prezioso rilevatore della loro presenza.

Un primo effetto di "depurazione" è riferibile alla riduzione dei movimenti di aria che favorisce la caduta delle particelle sospese sul terreno.

Un secondo effetto è riconducibile alla immobilizzazione più o meno prolungata da parte delle piante, con meccanismi chimici o fisici, di alcuni metalli pesanti o di altri inquinanti atmosferici.

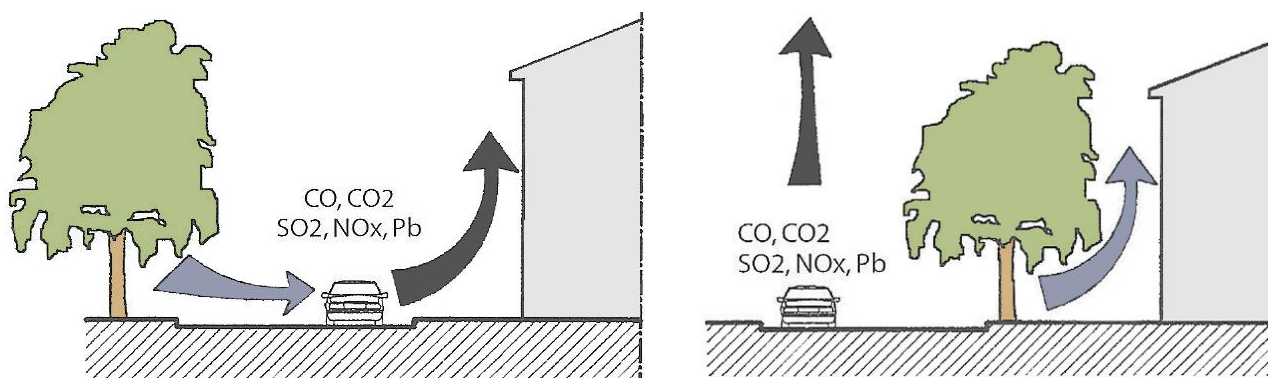


Figure 4.13 e 4.14 - Il posizionamento degli elementi vegetali nelle strutture urbane può facilitare (figura 4.14) o inibire (figura 4.13) la separazione tra gli effetti microclimatici e di inquinamento (fonte: Scudo, 2003)

Le varie specie vegetali reagiscono in maniera differente nei confronti di un certo inquinante.

Esse possono presentare una risposta che varia da molto suscettibile a notevolmente resistente.

Le piante sensibili possono essere utilizzate come "spie", ossia come strumento di monitoraggio, per

calcolare i livelli di inquinamento dell'atmosfera; esse, infatti, reagiscono, oltre che con

l'indebolimento, anche con diversi sintomi che richiedono comunque una complessa interpretazione: variazioni di sviluppo (riduzione asimmetrica), clorosi (colorazione ai margini o agli apici delle foglie, per disturbi a carico della clorofilla), necrosi (morte delle cellule del mesofillo, cioè dei tessuti della foglia).

Le specie resistenti possono, invece, costituire degli elementi attivi nella riduzione degli inquinanti atmosferici in ambiente urbano, in quanto possono essere in grado di eliminarli tramite assorbimento e successiva metabolizzazione.

Le condizioni ambientali possono influire sull'assorbimento delle sostanze inquinanti da parte delle piante, aumentandone il ritmo di rimozione, o in alcuni casi esaltandone l'azione dannosa.

Le sempreverdi sono efficaci anche in inverno e inoltre evitano che le sostanze accumulate dalle foglie vadano a depositarsi nel suolo.

L'azione di "filtro biologico" delle piante è evidentemente legata, oltre che al volume della chioma, alle caratteristiche intrinseche della pianta stessa, fra cui possiamo ricordare quelle morfologiche e anatomiche, ed è proporzionale al diametro delle particelle e risulta più efficace in foglie poco mobili e con epidermide rugosa.

È stato, inoltre, dimostrato che l'efficacia della rimozione delle polveri è maggiore nelle conifere, piuttosto che nelle piante decidue.

### *Qualità dell'acqua e protezione del suolo*

Il verde urbano può svolgere un ruolo molto importante anche nella intercettazione, nella regimazione e nello smaltimento delle acque meteoriche:

- le chiome degli alberi e la vegetazione arbustiva attraverso l'intercettazione delle acque meteoriche possono ridurre e rallentare la corrivazione delle acque piovane;
- i terreni evoluti che si possono formare in alcune aree verdi ricche di vegetazione arborea ed arbustiva possono ulteriormente rallentare il deflusso superficiale delle acque;
- le superfici permeabili corrispondenti agli spazi verdi garantiscono possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche verso le falde;
- le aree verdi possono anche agire da aree di raccolta, depurazione e smaltimento per infiltrazione delle acque meteoriche;
- le aree verdi possono fungere da casse di espansione per la rete di smaltimento delle acque superficiali in caso di eventi meteorici eccezionali.

### *Conservazione della vita animale*

La vegetazione è necessaria per la sopravvivenza e lo sviluppo della vita animale all'interno degli ambienti urbani. La presenza di insetti e vertebrati è essenziale per la catena alimentare dell'ecologia urbana e quindi per il controllo delle condizioni ambientali.

Per questo motivo è importante provvedere a spazi verdi a diverse scale connessi con "strade verdi" che siano in grado di garantire un sistema di corridoi e reti ecologiche ben connesse all'interno della città e tra città e territorio.

Anche al di fuori dei centri abitati, la vegetazione urbana e periurbana, messa a dimora a diversi fini,



può avere una funzione di grande rilievo nel ripristinare condizioni di biodiversità e ricchezza faunistica nel territorio.

#### *Produzione di biomassa*

La vegetazione produce una elevata quantità di prodotti edibili e di biomassa utilizzabile per vari scopi:

- compostaggio,
- combustione,
- materia prima,
- alimentazione, ecc.

Per concludere questa analisi sugli effetti climatici e non della vegetazione, è bene ricordare che il verde urbano è in grado di fornire anche benefici di tipo economico e paesaggistico.

Da un punto di vista economico:

- la vicinanza a parchi urbani e spazi verdi è in generale legata a valori immobiliari più elevati;
- la presenza di alberature stradali, di aiuole e di spazi verdi ben mantenuti e gestiti può influenzare in modo molto positivo i valori immobiliari;
- la sistemazione degli spazi verdi in aree commerciali della città può influenzare positivamente le attività economiche.

Da un punto di vista paesaggistico:

- le piante con la loro grande variabilità di dimensioni, forme, tessiture, colori, effetti stagionali costituiscono un elemento compositivo di grande efficacia nell'arredo urbano;
- filari di piante, o gruppi di piante opportunamente collocati, possono dirigere la visuale verso elementi architettonici oppure allontanarla da vedute indesiderate;
- la scelta di piante dalla forma e portamento appropriati può accentuare, per affinità o contrasto l'aspetto architettonico di certi edifici e creare interessanti accostamenti cromatici;

- in molti quartieri moderni delle città caratterizzati da edifici molto alti, o da spazi aperti molto ampi, la vegetazione può avere un ruolo importante nel ricreare una scala più appropriata e a misura d'uomo.

L'attrattiva di questi spazi è legata al fatto che siano accuratamente pianificati, progettati e gestiti. Spazi verdi predisposti senza un adeguato progetto, alberi nati casualmente o piantati con la sola convinzione che qualsiasi forma di vegetazione sia preferibile alla sua assenza, possono essere causa di degrado paesaggistico, piuttosto che di arricchimento estetico per la città.

Il verde urbano però non è solamente fonte di benefici ambientali, sociali ed estetici, ma può costituire per le amministrazioni un elemento di costo non indifferente.

I costi legati al verde sono in parte costi diretti e in parte indiretti: i primi sono quelli relativi alla realizzazione e soprattutto alla gestione e manutenzione della vegetazione e degli spazi aperti, mentre i costi indiretti sono legati in particolare ai conflitti che si verificano tra la vegetazione e le strutture urbane; in particolare si ricordano i danni ai marciapiedi, alle fondazioni, alle condotte sotterranee, ai cavidotti aerei, provocati dagli apparati radicali e dalle chiome degli alberi.

Non si può dire esistano ancora degli standard ben consolidati per l'esecuzione delle "opere a verde". Se il verde urbano, in tutte le sue diverse tipologie, viene considerato effettivamente una risorsa importante ed irrinunciabile, è fondamentale che siano messi a punto strumenti adeguati per la sua pianificazione e la sua gestione.

I principali obiettivi di una valida pianificazione e gestione del verde urbano possono essere identificati come:

- rendere sistematici ed omogenei gli interventi di gestione del verde;
- migliorare la qualità della vegetazione urbana, allungando il ciclo vitale degli alberi e favorendone un normale sviluppo;
- massimizzare gli effetti positivi della vegetazione sull'ambiente, nei limiti imposti sullo spazio disponibile, dalle condizioni colturali e dalle disponibilità economiche;
- garantire una crescita sincrona della città e del suo patrimonio arboreo;
- ridurre e stabilizzare il costo della gestione del verde.

La redazione di un piano del verde costituisce un punto di partenza per organizzare la pianificazione e la gestione della foresta urbana e per consentire all'albero di poter finalmente assolvere le molte ed importanti funzioni che le sono state attribuite.

Alle norme ed indicazioni contenute nei piani dovrebbero attenersi tutti gli interventi progettuali e gestionali del verde pubblico, semi-pubblico e talvolta privato.

È fondamentale che il piano divenga operativo.

## BIBLIOGRAFIA

---

Dessì, V. (2007), *Progettare il comfort urbano*, Napoli, Sistemi Editoriali

Fabrizi, P. e Della Valle, M. F. (2010), *Il verde urbano. Struttura e funzione*, Maggioli editore

Scudo, G. (1995), *Le stanze verdi nella città di pietra*, dal sito internet [www.resident.it](http://www.resident.it)

Scudo, G. e Ochoa de la Torre, J. M. (2003), *Spazi verdi urbani*, Napoli, Sistemi Editoriali

## 5. IL VERDE COME STRUMENTO DI MITIGAZIONE

---

Come visto nel capitolo precedente, il verde assolve diverse funzioni all'interno delle città; ora, però, si vuole rivolgere lo sguardo solo alle funzioni microclimatiche della vegetazione e nello specifico alla capacità di riduzione dell'isola di calore urbana.

Per poter assolvere, o quanto meno ridurre, il problema delle elevate temperature all'interno delle città, è importante capire quali sono le tecniche maggiormente utilizzate per la diffusione del verde urbano: un largo uso di giardini pensili, estensivi od intensivi e la progettazione di parchi urbani in territori dove, fino a qualche anno fa, sarebbero sorti solo edifici.

### 5.1 I giardini pensili

Giardini pensili sono stati realizzati fin dall'antichità; si possono citare ad esempio quelli di Babilonia e quelli dell'Orangerie du Chateau de Versailles, mentre forse meno noto, anche se molto diffuso, era l'uso presso i paesi nordici e alpini di ricoprire i tetti con zolle erbose per mantenere la neve sulla copertura, con il vantaggio di impedirne lo scivolamento a terra e ottenere isolamento termico.

Fino ai giorni nostri, dunque, si è sempre cercato, anche se sporadicamente, di realizzare il verde sul tetto.

Purtroppo i materiali impiegati e le soluzioni tecniche adottate erano, nella maggior parte dei casi, inadeguate a garantire la durata dell'inverdimento e, soprattutto, la sicurezza contro le infiltrazioni



Figura 5.1 - Esempio di tetto verde a Saksun, Isole Faroe, Danimarca

d'acqua; questa è la ragione per la quale, spesso ancora oggi, il giardino pensile è considerato con diffidenza e come origine di danni e problemi.

Negli anni Sessanta nei paesi d'oltralpe, e particolarmente in Germania, si è cominciato ad affrontare il problema del verde pensile, studiando materiali e sviluppando tecnologie che potessero rendere finalmente sicuro ed economico realizzarlo.

Nel corso dei decenni successivi sono stati inverditi molti milioni di metri quadrati di coperture, così il verde pensile, da semplice elemento decorativo, spesso di prestigio, ha assunto i connotati di una tecnologia evoluta definibile come "Tecnica per la realizzazione di verde su superfici non in contatto con il terreno naturale".

Non si è più parlato solo di giardino pensile ma, anche e soprattutto, di tetto verde, o meglio di "copertura continua a verde", come indicato nel Codice di Pratica per la "Progettazione, esecuzione e manutenzione delle coperture continue a verde" in via di redazione in ambito UNI.

L'importante passo che ha determinato questa svolta è identificabile nel riconoscimento, soprattutto da parte delle Amministrazioni Pubbliche, del verde pensile come utile strumento per la mitigazione degli impatti negativi dei processi di civilizzazione in ambito urbano.

Il verde pensile concorre a mitigare gli effetti dell'isola di calore urbana attraverso un minor riscaldamento delle coperture, grazie alla capacità della vegetazione di trattenere l'acqua e quindi innescare il processo di evapotraspirazione.

Esistono due principali tipologie di giardini pensili. La prima riguarda i giardini di tipo estensivo.

Questi sono principalmente composti da piante molto resistenti ai cambiamenti climatici, di scarsa altezza e di peso molto limitato: il vantaggio risiede nel risparmio in strutture di sostegno ed in costi di manutenzione, compresa una scarsa necessità di irrigazione.

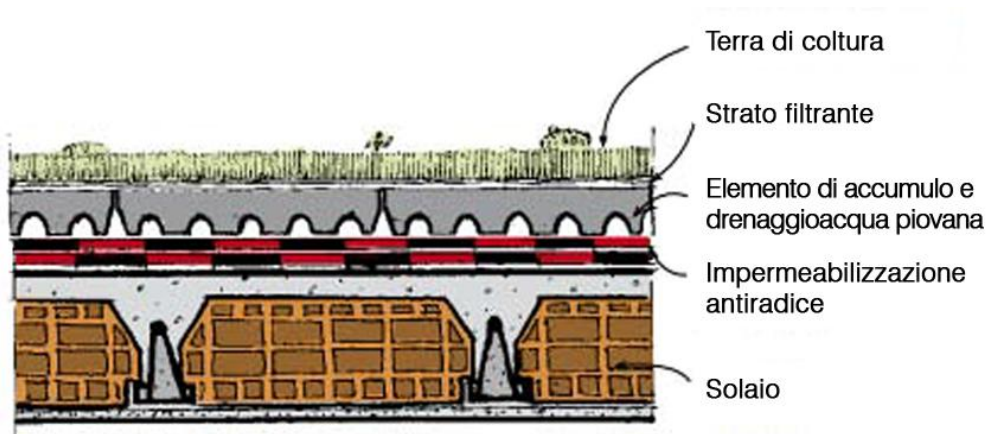


Figura 5.2 - Illustrazione schematica dell'applicazione di un tetto verde di tipo estensivo

I giardini cosiddetti intensivi, invece, assomigliano in tutto e per tutto ai parchi, costituiti dunque di qualunque tipo di pianta. La struttura portante del tetto dovrà ovviamente essere rivista per poter sopportare il peso assai maggiore dello strato di terra più spesso del precedente.

Ripagati dalla possibilità di usufruire del tetto come parco vero e proprio, si sarà costretti però ad una

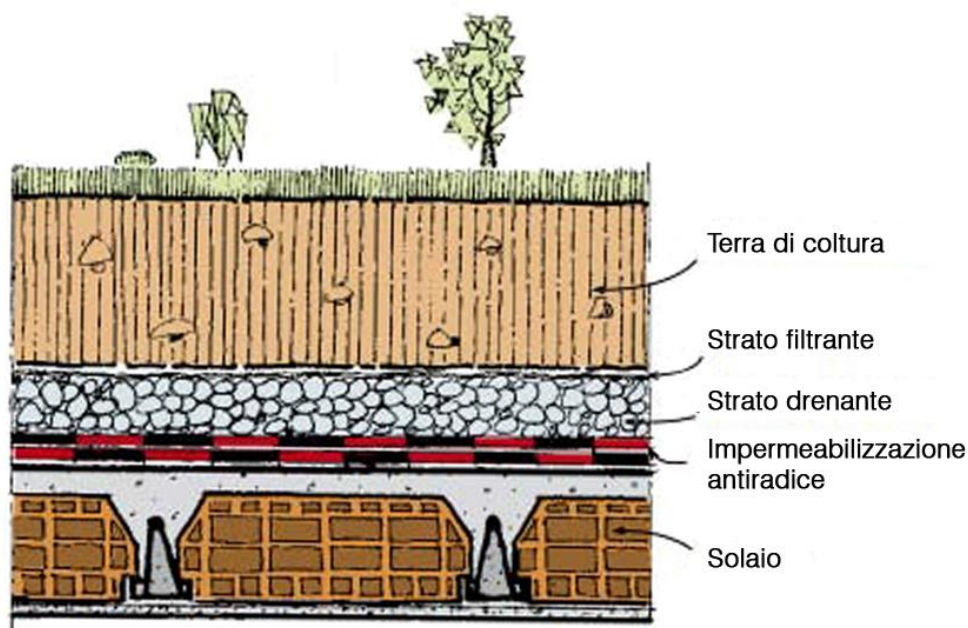


Figura 5.3 - Illustrazione schematica dell'applicazione di un tetto verde di tipo intensivo

manutenzione continua e ad una costante irrigazione.

Entrambe le tipologie di copertura a verde assolvono un'altra importante funzione: isolare termicamente l'edificio, sia d'estate che d'inverno, riducendo quindi i costi per il riscaldamento e il raffrescamento.

Un esempio per meglio comprendere il peso e l'efficacia riconosciuti al verde pensile come strumento di mitigazione ambientale, è l'iniziativa intrapresa dalla città di Tokio che impone, dal 1° aprile 2001, l'inverdimento di almeno il 20% delle coperture piane esistenti.

Tale strumento urbanistico, con l'ausilio di forme di incentivazione pubblica, è stato adottato per contrastare l'aumento di quasi 3°C delle temperature medie annue che si sono verificate nella città negli ultimi anni.

Per capire la portata delle modificazioni climatiche nella città di Tokio, basta pensare che nel passato le temperature estive diurne medie raggiungevano i 35°C mentre quelle notturne medie scendevano di 10-12°C, consentendo un benessere notturno più che soddisfacente.

A causa soprattutto della forte urbanizzazione, oggi le temperature medie diurne sono rimaste al livello dei 35°C mentre le minime notturne non scendono più al di sotto dei 32°C, rendendo difficile il sonno degli abitanti di Tokio [Sicurella (2010)].

Vi sono due ordini di motivazioni che hanno portato alla sempre maggiore diffusione di questa tecnologia: il primo ha origine dal desiderio di rendere più vivibili e a misura d'uomo le città: vivere in un più stretto contatto con la natura è diventata una necessità per resistere alla cementificazione e al grigiore; il secondo ordine di motivi è più tecnico. Progettisti e costruttori si stanno accorgendo che una copertura realizzata con un giardino pensile ha maggior durata, possiede capacità isolanti e il suo costo è spesso comparabile, o di poco superiore, a quello di soluzioni di copertura e pavimentazione tradizionali.

## 5.2 I parchi

La seconda strategia per la riduzione del fenomeno dell'isola di calore urbana è rappresentata dai parchi che, creando zone d'ombra, contribuiscono ad abbassare le temperature superficiali e innescano il processo di evapotraspirazione che agisce elevando il flusso di calore latente a vantaggio di una temperatura più fresca dell'aria circostante il parco e attenuando, così, i picchi di temperatura tipici della stagione estiva.

Numerosi studi hanno confermato la capacità delle aree verdi di permanere a temperature più basse rispetto alle zone urbane in cui sono inserite.

È stato anche dimostrato che il raffrescamento del parco si estende al di là dei confini del parco stesso, influenzando così le temperature dei circostanti centri abitati [Jauregui (1975); Oke (1989); Jauregui (1990-1991); Ahmad (1992); Spronken-Smith (1994)].

Una vasta gamma di fattori può influenzare questo fenomeno:

- le dimensioni del parco;
- l'ostruzione del cielo nel parco e nei centri abitati (SVF);
- il clima prevalente locale (velocità del vento e copertura nuvolosa);
- l'ora del giorno;
- la zona climatica in cui si trova il parco.

Un confronto dei risultati di tre studi effettuati in Messico [(Jauregui (1975 e 1990)], Canada [Oke (1989)] e Giappone [Saito et al (1990-1991)], che considerano la misura in cui il clima del parco influenza il suo ambiente circostante, suggerisce che l'estensione spaziale degli effetti di raffreddamento aumenta con la dimensione del parco.

Simili risultati sono anche riportati da uno studio su parchi urbani effettuato in Nord America da Spronken-Smith (1994). Lei afferma che *"l'influenza del parco è limitata alla zona entro circa una larghezza del parco stesso"* per raggiungere il vantaggio massimo di raffreddamento.

La tabella 1 mostra i risultati degli studi sopracitati, dove è possibile confrontare le differenze di temperatura in base all'estensione del parco.

Dalla tabella 1, è anche evidente che due delle tre maggiori differenze di temperatura ( $\Delta T_{u-p}$ ) sono state trovate in climi aridi (Tucson e Città del Messico). Spronken-Smith (1994) infatti sostiene che *"il potenziale effetto parco è in gran parte determinato attraverso il clima alla macroscale e quindi più caldo e più secco è il clima, maggiore è l'effetto"*.

Ampliando il discorso, uno studio di Brundl et al. (1986) a Monaco ha riferito che questa differenza di temperatura più o meno scompare a una velocità del vento di 5 m/s. Risultati simili sono stati riportati a Montreal da Oke (1989), che ha trovato che l'effetto di raffreddamento era trascurabile a velocità del

vento superiore a 6 m/s.

Città	Latitudine °N	Clima	Dimensione parco ha	$\Delta T_{u-p}$ (max) °C	Estensione m	Autori della ricerca
Washington DC	40	Subtropicale umido	----	3 - 5	----	Lewis <i>et al.</i> (1971)
Città del Messico	20	Prateria - steppa	525	6	circa 2000	Jauregui (1975, 1990)
Monaco	48	Continentale umido	130	3.5	----	Brundl <i>et al.</i> (1986)
Montreal	45	Continentale umido	38	2	circa 400	Oke (1989)
Kumamoto	33	Continentale umido	2.25	4	20	Saito <i>et al.</i> (1990)
Goteborg	57	Marino costa occidentale	156	6	circa 1500	Lindqvist (1992)
Tucson	32	Caldo - secco	171	6.8	----	Spronken-Smith (1994)

Tabella 1 - Dati relativi ad alcune città di differenti latitudini e regioni climatiche

In Giappone, invece, simulazioni matematiche hanno mostrato che l'utilizzo di zone alberate al di fuori dei parchi è in grado di sortire lo stesso effetto di raffreddamento nelle aree urbane, e che quindi anche piccole aree verdi possono essere efficienti soprattutto se adeguatamente separate tra loro. Honjo e Takakura (1990-1991) sostengono che queste piccole aree risultano addirittura preferibili a grandi aree verdi per quanto riguarda la mitigazione dell'isola di calore urbana.

Tutti gli studi sopraelencati vengono effettuati in fasce orarie dopo il tramonto, momento in cui si è dimostrato che l'ambiente parco si raffredda più rapidamente di quanto non faccia il circostante centro abitato.

In un modello di studio, effettuato per dimostrare il raffreddamento notturno della superficie nei parchi urbani, Spronken-Smith (1994) ha rilevato che il trasferimento radiativo è il processo dominante per l'abbassamento della temperatura, anche se l'effetto di evaporazione (soprattutto al tramonto) e la trasmittanza termica sono altrettanto significativi.

Gli studi durante il giorno, invece, sono meno numerosi; Brundl *et al.* (1986) e Saito *et al.* (1990), effettuando misurazioni della temperatura diurna, possono affermare che *“le basse temperature dell'aria all'interno dei parchi nelle ore diurne sono generalmente spiegate grazie all'ombreggiamento degli alberi. Il raffreddamento evaporativo ha, durante il giorno, un impatto molto piccolo sulle temperature dell'aria a livello del suolo, ma è importante al tramonto, quando il parco si consolida come un'isola fredda”*.

### 5.2.1 Il caso di Göteborg, Svezia

Gli obiettivi di questa ricerca, che esamina tre differenti tipologie di parchi urbani nell'area di Goteborg, Svezia, sono:

- stabilire se le dimensioni di un parco influenzano la differenza di temperatura tra il parco stesso e il centro abitato;



- stabilire se le dimensioni del parco influenzano l'estensione del raffrescamento, dovuto al parco, nel centro abitato;
- stabilire in che modo l'ostruzione del cielo nel parco e nel centro abitato influenzano la temperatura (Sky View Factor).

Lo studio è stato condotto nella città di Göteborg, che si trova sulla costa occidentale della Svezia. L'area di Göteborg ha circa 700.000 abitanti e si trova in una zona con clima locale marittimo. Il fiume Göta divide la città in una parte orientale e una occidentale: a est c'è una zona boscosa di altezza compresa tra 50 e 150m s.l.m., mentre la parte occidentale, dove si trovano i parchi oggetto di studio, è dominata da aree pianeggianti e aperte, intervallate da zone più elevate con altezza di 60m s.l.m.

Numerosi parchi sono situati nel centro della città, ma per questo studio ne vengono selezionati tre: Slottsskogen, Vasaparken e Gubberoparken

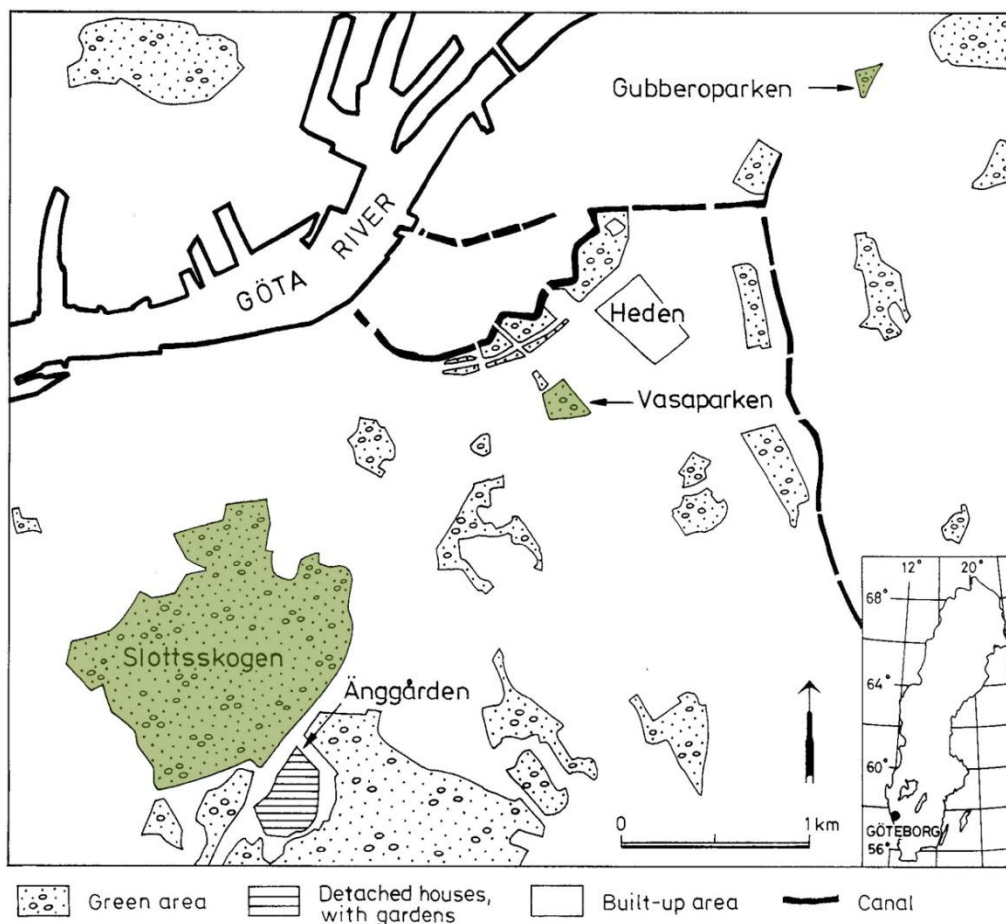


Figura 5.4 - Mappa della città di Goteborg comprensiva di tutti e tre i parchi (fonte: Upmanis, 1998)

### Sito 1

Gubberparken è un piccolo parco urbano di circa 2.4ha e circondato da case di sei piani. Lo SVF (consiste nella misurazione dell'angolo solido della vista del cielo da uno spazio urbano; si esprime in una scala di valori da 0, dove la visione del cielo è totalmente ostruita, a 1, dove la vista è libera da ostacoli) misurato nel mezzo delle strade che circondano il parco è 0.61 sul lato est, 0.44 a ovest e 0.83 sul lato nord. Nel centro abitato sul lato nord, case a tre piani sono intervallate da cortili verdi, e lo SVF è tra 0.5 e 0.8. Il parco è costituito da una superficie erbosa con alberi sparsi e cespugli, alcuni percorsi a piedi asfaltati e un parco giochi con pavimentazione ricoperta di sabbia.

### Sito 2

Vasaparken si trova nel centro della città. Il parco è di circa 3.6ha e ha una diversa topografia rispetto al precedente, con una variazione di altitudine interna di 13m. Sui lati est e ovest, le case sono di circa 20m di altezza e le strade sono larghe 15m con uno SVF, misurato a metà delle strade, di circa 0.4-0.5. Il parco è caratterizzato da aree aperte ed erbose con alberi e cespugli; esso ospita al suo interno un edificio dell'Università con relativo parcheggio e percorsi pedonali asfaltati.



Figura 5.5 - Mappa di Gubberparken (2.4ha) Figura 5.6 - Mappa di Vasaparken (3.6ha) (fonte: Upmanis, 1998)

### Sito 3

Slottsskogen è il parco più grande di Göteborg infatti misura circa 156ha. Il parco è una miscela di diverse tipologie di verde, con colline boschive, superfici erbose, alberi e cespugli sparsi. Ci sono anche, all'interno del parco, specchi d'acqua, strade e sentieri asfaltati, edifici e aree coperte di sabbia. La differenza di altitudine all'interno del parco è di circa 50m. Sul lato nord gli edifici sono alti circa 20m e la stessa misura la si ritrova per la larghezza delle strade, con SVF di 0.4-0.7. Sui lati ovest e sud ci sono molte piccole zone verdi e aree suburbane con uno SVF di circa 0.75. Un percorso che porta il traffico verso la città corre lungo il lato est del parco dove si affianca anche un centro abitato, Anggarden, con case distaccate, vicoli e giardini. Questa zona-villaggio, a sua volta, è circondata a est da una foresta che copre 584ha.

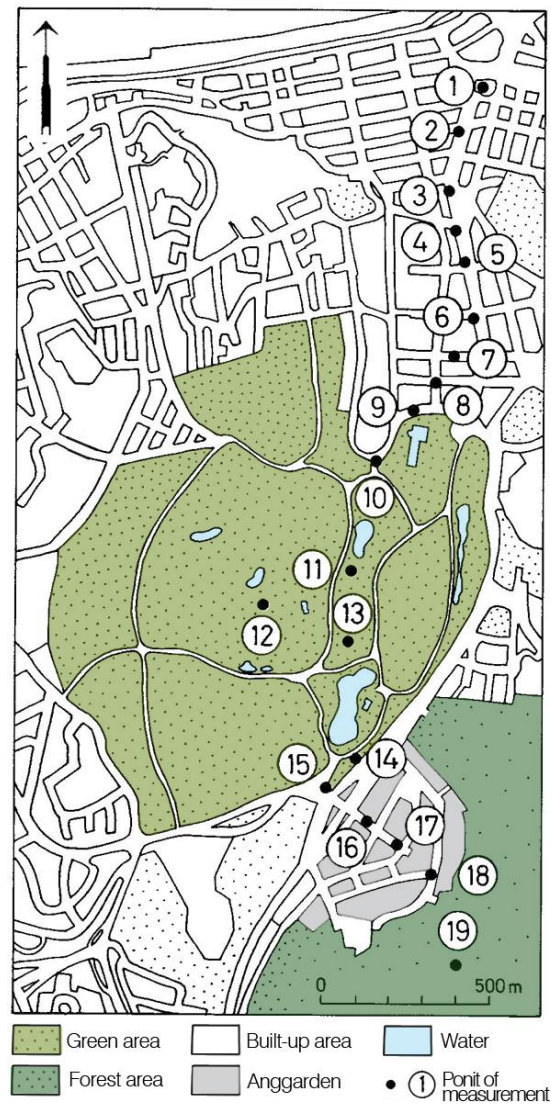


Figura 5.7 - Mappa di Slottsskogen (156ha) (fonte: Upmanis, 1998)

All'interno delle tre aree di studio vengono effettuati due diversi tipi di rilevamenti per raggiungere gli obiettivi preposti:

- misurazioni mobili

Vengono effettuate traversate con l'automobile per studiare la temperatura orizzontale all'interno e all'esterno dei parchi.

Il veicolo utilizzato è stato dotato di strumenti che misurano la temperatura ogni dieci metri di spostamento della vettura.

I dati sono stati automaticamente registrati e memorizzati.

Gli spostamenti sono stati effettuati a una velocità non superiore a 40 km/h.

- stazioni permanenti

In aggiunta alle informazioni raccolte negli attraversamenti, i dati sono stati rilevati anche da stazioni permanenti.

Quattordici stazioni sono state montate ad un'altezza di 2.5m dal suolo (altezza scelta a causa di problemi con atti vandalici e furti) sia all'interno del parco, sia nei confinanti centri abitati, fino ad arrivare al Save aeroporto, situato 9km a nord-ovest del centro della città.

Questo studio si concentra sulla differenza di temperatura all'interno di ogni parco nelle ore notturne, quindi i dati vengono raccolti durante le notti serene e calme alle quali è seguita una giornata limpida, da gennaio 1994 a settembre 1995.

Lo scopo di utilizzare i due metodi di rilevazione, stazioni mobili e fisse, è stato quello di studiare la temperatura sia su una scala spaziale che su una scala temporale. Le stazioni fisse misurano in continuo e danno temperature medie nel corso del tempo, mentre le misurazioni mobili danno temperature medie su una distanza.

Esaminando i dati è stato verificato che la più grande  $\Delta T_{u-p}$  (differenza tra la temperatura all'interno dell'area urbana e all'interno del parco) si è verificata più spesso a 2-3 ore dal tramonto, pertanto lo studio si concentra su questo periodo della notte.

Risultati ottenuti:

Parco (area)	Ore dopo il tramonto (h)	Max $\Delta T_{u-p}$	Estensione dal confine del parco (m)
Slottsskogen (156ha)	0	5	175
	3.5	4	775
Vasaparken (3.6ha)	0	0.8	20
	3.5	0.9	30

Tabella 2 - Dati relativi alle misurazioni effettuate a Slottsskogen e Vasaparken

### *Grandezza del parco*

Questo studio ha mostrato che la massima differenza di temperatura è diversa per i tre parchi indagati, infatti è stata trovata corrispondere a 5.9°C per il parco più grande, Slotsskogen, 2°C per Vasaparken e 1.7°C per il parco più piccolo, Gubberoparken.

Questi valori corrispondono con i risultati degli studi precedentemente citati (Jauregui, 1975; Brundl, 1986; Jauregui, 1990-1991; Saito, 1990-1991; Spronken-Smith, 1994).

I risultati quindi confermano che la dimensione del parco è importante per determinare l'entità della differenza di temperatura.

Nel parco più grande, Slotsskogen, e in quello più piccolo, Gubberoparken, si poteva chiaramente vedere che la differenza di temperatura rispetto al confine urbano aumentava man a mano che si raggiungeva il centro del parco. In Vasaparken, il parco di media grandezza, invece, a causa delle variazioni di elevazione del terreno, la temperatura più bassa viene riscontrata in uno dei più bassi angoli del parco e non al centro come per i precedenti.

### *Estensione del raffrescamento al di fuori dei confini del parco*

I risultati presentati in questo studio supportano l'idea che la dimensione del parco è legata all'estensione del clima-parco, cioè i parchi più grandi influenzano l'ambiente circostante a grandi distanze dal confine. L'influenza del raffreddamento di Slotsskogen, il parco più grande, raggiunge una distanza di circa 1km; questo risultato corrisponde agli studi precedenti (Jauregui, 1975, 1990-1991; Spronken-Smith, 1994) che affermano che l'effetto di raffreddamento raggiunge in "profondità", all'interno dell'agglomerato urbano, circa la distanza corrispondente alla larghezza del parco. La larghezza di Slotsskogen in media è di circa 1250m, che è appena sopra alla misurazione più distante dal parco dove ancora si trovano effetti derivanti dall'aria fresca proveniente dal parco stesso.

L'influenza di Vasaparken era molto più piccola, infatti il clima del parco influenza l'ambiente in misura massima di circa 30-40m.

In ultimo, i risultati di Gubberoparken (2.4ha) sarebbero paragonabili ad uno studio eseguito nella città di Kumamoto, in Giappone. Qui, un parco di 2.25ha ha influenzato i suoi dintorni fino ad una distanza di 20m dal confine del parco [Saito (1990-1991)].

Tuttavia Gubberoparken, che ha le stesse dimensioni del parco dello studio giapponese, non ha avuto alcuna influenza sul suo ambiente circostante. La causa può essere attribuita al fatto che l'abitato intorno a Gubberoparken è costituito quasi interamente da strade con edifici paralleli al confine del parco, che impediscono all'aria fresca di introdursi nel centro abitato.

### *L'influenza dello SVF sui tassi di temperatura e di raffreddamento*

Con i risultati ottenuti dal presente studio, si può affermare che l'influenza dello SVF non può essere totalmente esclusa come possibile fattore capace di influenzare la differenza di temperatura tra

agglomerato urbano e parco. In Slottsskogen, il parco più grande, i siti con un basso valore di SVF hanno dimostrato una relativamente bassa velocità di raffreddamento di circa 1,0°C/h o di 2,0°C/h al massimo (al tramonto), e siti con il più alto SVF hanno mostrato un alto tasso di raffreddamento fino a 2.9°C/h.

In accordo con i risultati di Oke (1989), il parco nel presente studio raffredda ad un ritmo superiore rispetto a quello dell'area urbana e il raffreddamento evaporativo può, come sostenuto da Spronken-Smith (1994), spiegare la differenza di raffreddamento tra il parco e l'area urbana.

### **5.3 I diversi approcci di studio**

Come visto in precedenza, l'effetto dell'isola di calore urbana è un fenomeno che si attiva nel fitto ambiente costruito e può avere un impatto negativo sugli abitanti delle grandi città. Per motivi di risparmio energetico, di salute dell'uomo e di rimozione degli inquinanti, l'isola di calore urbana deve essere minimizzata nella calda stagione e la messa a dimora di nuova vegetazione nelle aree urbane è una delle principali strategie utilizzate per la mitigazione. Un singolo albero può già moderare bene il clima, ma gli impatti sono limitati [Jauregui (1990-1991)], grandi parchi urbani, invece, possono estendere gli effetti positivi nel circostante ambiente costruito. Pertanto, il ruolo delle aree verdi per moderare il clima urbano è stato esplorato in tutto il mondo e i diversi approcci di studio possono essere suddivisi in quattro categorie:

#### *Studi concentrati sui dati meteorologici e immagini satellitari (macroscala)*

Sulla base di immagini satellitari, Kawahsima (1990-1991) ha studiato gli effetti della densità della vegetazione sulle temperature superficiali in aree urbane e rurali di Tokyo. Secondo le sue osservazioni, sono state riscontrate basse temperature superficiali su aree verdi, mentre più elevate temperature sono state trovate sul terreno e sugli edifici durante il giorno. Tuttavia, l'effetto della vegetazione sulla riduzione della temperatura superficiale nella zona urbana, è relativamente piccolo rispetto a quello nei sobborghi. Nella zona urbana, la temperatura della superficie variava da 1.4°C a 2.7°C sulla zona verde, mentre variava da 2.0°C a 3.4°C sugli edifici e da 2.3°C a 4.9°C sul suolo. In campagna, la temperatura della superficie era compresa tra 2.6°C e 2.8°C sulla zona verde, mentre andava da 3.3°C a 4.2°C sugli edifici e da 5.1°C a 5.9°C sul suolo. La variazione giornaliera delle temperature di superficie era bassa sugli edifici e alta nelle aree piantumate in ambiente urbano, mentre era bassa sia per l'ambiente costruito che per le aree verdi nella periferia; di notte la temperatura superficiale più bassa è stata osservata sulle aree verdi nell'ambiente urbano.

#### *Studi concentrati su approfondite misurazioni in situ (microscala)*

Ca (1998) ha effettuato alcune misure sul campo per determinare l'influenza di raffreddamento di un parco sull'area circostante Tama New Town, a ovest di Tokyo. Le osservazioni hanno indicato che la

vegetazione può alterare il clima nelle città. Le temperature di superficie nel parco, rilevate tramite misurazioni in situ a livello dell'erba, sono molto più basse rispetto a quelle misurate sull'asfalto e sulle superfici di calcestruzzo. Allo stesso modo, la temperatura dell'aria misurata a 1.2m sopra l'erba era di 2°C inferiore a quella misurata sulle superfici di aree commerciali e parcheggi. Dalle misurazioni ottenute, Ca è in grado di affermare che con le dimensioni di 0.6km<sup>2</sup>, un parco può ridurre la temperatura dell'aria fino a 1.5°C a mezzogiorno in una zona commerciale sottovento.

#### *Studi concentrati sul calcolo numerico*

Honjo (1990) utilizza modelli numerici per la stima degli effetti termici delle aree verdi sull'ambiente circostante. E' stato indicato che l'intervallo di raffreddamento dell'area influenzata si basa sulla dimensione delle aree verdi e sulla distanza tra loro. La portata dell'area influenzata era di circa 300m quando la dimensione del verde era 100m. Tuttavia, la gamma della zona influenzata non era più di 400m quando l'area verde era di 400m. Il campo ottimale dell'effetto di raffreddamento è stato raggiunto quando la distanza tra le aree verdi era di 300m.

Secondo i calcoli di cui sopra, si può affermare che le piccole aree verdi, con sufficienti intervalli, sono preferibili per il raffreddamento di un ambiente.

Brad (2002), invece, ha esplorato il ruolo dei tetti verdi nella mitigazione dell'effetto dell'isola di calore urbana a Toronto. Nello studio è stato impiegato il modello Mesoscale Community Compressible (MC2). Nella simulazione dell'isola di calore a Toronto, è stata osservata una riduzione della temperatura di 0.5°C quando il 5% della superficie totale della città è stato sostituito con tetti verdi. L'impatto dei tetti verdi nelle zone ad alta densità è ancora più marcato. La temperatura in tutta la città è stata ridotta tra 1 e 2°C.

#### *Studi concentrati sull'utilizzo di software*

È difficile fare un esempio sull'utilizzo dei software come strumento di verifica della mitigazione del verde sull'isola di calore urbana perché ne esistono molti e possono calcolare, in modi diversi, differenti indici. Per quanto riguarda la mitigazione dell'isola di calore, si possono per esempio verificare le temperature, l'umidità, la radiazione solare, lo sky view factor, le turbolenze, la velocità e la direzione del vento ecc... .

Il verde, come abbiamo visto, non ha effetti positivi solo sull'abbassamento delle temperature, ma può agire anche sulla riduzione dell'inquinamento, sul comfort delle persone che usufruiscono degli spazi aperti e sulla riduzione del consumo di energia per il raffrescamento degli edifici. Diversi software possono intervenire anche in questi casi, calcolando per esempio indici come il PMV (Predicted Mean Vote) o il PPD (percentuale prevista di insoddisfatti) per quanto riguarda il comfort nelle aree esterne oppure, per quanto riguarda l'inquinamento atmosferico, prevedono indici per stimare, la quantità di anidride carbonica assorbita dalle foglie o la quantità di PM10 contenuta nell'aria, infine, per quanto riguarda il consumo di energia possono calcolare l'albedo dei materiali, la

temperatura della superficie e la temperatura media radiante.

Ai fini di questa ricerca, tra le varie categorie di metodologie di studio, si approfondirà quest'ultima analizzando i più diffusi modelli di simulazione, usati oggi come supporto alla progettazione delle aree verdi urbane.



# BIBLIOGRAFIA

---

Ahmad, S. A. (1992), *Some effects of urban parks on air temperature variations in Kuala Lumpur, Malaysia*, Paper presented at the 2<sup>nd</sup> Tohwa University International Symposium, Fukuoka, Japan

Brad, B. (2002), *Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure*, Urban Heat Island Summit, Toronto

Brundl, W. et al (1986), "The influence of vegetation and buildings on the climate and air quality in Bavaria", Chair of Bioclimatology and applied meteorology of the university of Munich, Germany

Ca, V. T. et al (1998), "Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park", *Energy and Buildings*, 29, pp. 83-92

Honjo, T. and Takakura, T. (1990-1991), "Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas", *Energy and Buildings*, 15, pp. 443-446

Jauregui, E. (1990-1991), "Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city", *Energy and Buildings*, 15, pp. 457-463

Kawashima, S. (1990-1991), "Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter", *Energy and Buildings*, 15, pp. 465-469

Oke, T. R. (1989), "The micrometeorology of urban forest", *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B324, pp. 335-349

Saito, I. et al (1990-1991), "Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area", *Energy and Buildings*, 15, pp. 493-498

Sicurella, A. (2010), *Progettare il verde. Tecniche e soluzioni*, Sistemi Editoriali

Spronken-Smith, R. A. (1994), *Energetics and cooling in urban parks*, Thesis, The University of British Columbia, Vancouver

Upmanis, H. et al (1998), "The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden)", *International journal of climatology*, 18, pp. 681-700

## 6. I MODELLI DI SIMULAZIONE

---

Possono i modelli di simulazione ottimizzare le strategie di mitigazione del clima urbano?

L'uso di modelli di simulazione è prassi comune per climatologi e meteorologi; i più noti esempi sono i modelli per le previsioni meteo.

Negli ultimi anni anche nel campo della pianificazione urbana stanno prendendo piede alcuni modelli di simulazione. Questi nuovi strumenti hanno visto due distinte fasi di sviluppo: l'utilizzo ex-post e l'utilizzo ex-ante.

Dapprima vengono utilizzati sull'esistente per confrontare i dati prodotti dai software con i dati rilevati tramite misurazioni manuali effettuate direttamente in situ.

Questa fase di sviluppo ex-post ha sicuramente aiutato nella verifica di teorie e migliorato le capacità di calcolo dei software, fino a renderli strumenti di supporto alla progettazione.

Con la seconda fase di sviluppo ci si è resi conto che, grazie alle loro capacità predittive, i modelli di simulazione possono essere utilizzati anche in fase ex-ante, perché hanno la capacità di simulare diversi scenari e permettono la valutazione degli effetti che un progetto può avere sull'ambiente urbano prima ancora che venga realizzato, a volte in modo irreversibile.

Esistono diversi modelli per la simulazione; essi variano per i parametri, climatici e non, che possono calcolare, per la scala di realizzazione del modello e per la complessità del software [(Arnfield (2003)].

Ai fini di questo studio, prenderemo in esame solo i modelli di simulazione che, in diversi modi, si occupano del calcolo di indici per la verifica degli effetti della vegetazione all'interno della struttura urbana nelle sue maggiori sfaccettature:

- mitigazione dell'isola di calore;
- abbassamento dell'inquinamento atmosferico;
- comfort degli utenti negli spazi aperti;
- riduzione dell'utilizzo di energia per il raffrescamento degli edifici.

Per meglio comprendere le capacità e i limiti dei modelli di simulazione, vengono di seguito riportate le principali caratteristiche dei software più comuni, con relativi esempi di utilizzo da parte di ricercatori e progettisti.

## 6.1 RayMan

Rayman è un programma realizzato presso l'Università di Friburgo da Andreas Matzaraskis (vice-presidente della Società Internazionale di Biometeorologia, 2008-2011) e nasce dall'esigenza di disporre di uno strumento, facile da utilizzare, per la stima dei flussi di radiazione, degli effetti delle nubi e degli ostacoli della morfologia urbana.

Il modello, che prende in considerazione sia strutture semplici che complesse, è adatto per il corretto utilizzo del territorio e per la pianificazione su diversi livelli, da quello locale a quello regionale.

Il modello è necessario per la valutazione bioclimatica urbana e per il calcolo di diversi indici termici, come il PMV (Predicted Mean Vote), il PET (Physiologically Equivalent Temperature), il SET (Standard Effective Temperature) e la temperatura media radiante.

Il modello è stato sviluppato sulla base delle linee guida tedesche VDI - 3789, parte II: *"Methods for the human-biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level"*.



Figura 6.1 - Schermata iniziale per l'inserimento dei dati

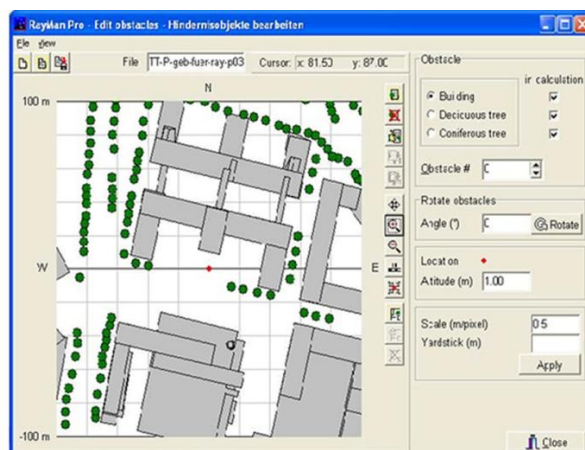


Figura 6.2 - Editor per la costruzione del modello

Per il calcolo degli indici termici sono necessari dati meteorologici (temperatura dell'aria, velocità del vento, umidità dell'aria e flussi di radiazione ad onda lunga e corta) e dati termo-fisiologici (attività e abbigliamento degli utenti); i dati sulla temperatura dell'aria, umidità e velocità del vento sono indispensabili per eseguire la simulazione con RayMan.

Nel software, in aiuto all'utente per la costruzione del modello tridimensionale (figura 6.2), viene fornita una finestra di immissione sia per gli edifici (figura 6.3) che per la vegetazione (figura 6.4); inoltre si possono inserire informazioni sulle proprietà fisiche dei materiali, come l'albedo e l'emissività, che verranno utilizzate per ottenere calcoli più precisi.

Il programma consente anche di disegnare a mano libera l'orizzonte (naturale e non), servendosi di fotografie tipo fish-eye, calcolando in questo modo i fattori di vista del cielo (sky view factor).

I risultati prodotti dalla simulazione e i dati inseriti possono essere archiviati come file grafici o dati (figure 6.5 e 6.6) e utilizzati per analisi successive.

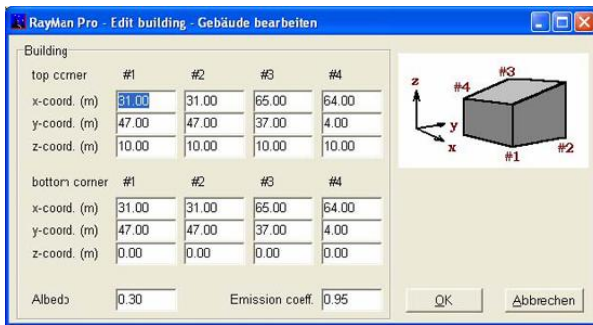


Figura 6.3 - Editor edifici

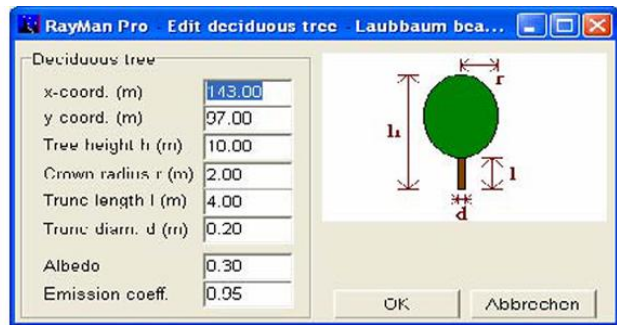


Figura 6.4 - Editor vegetazione

I dati meteorologici possono essere inseriti tramite l'immissione manuale o l'importazione di file preesistenti.

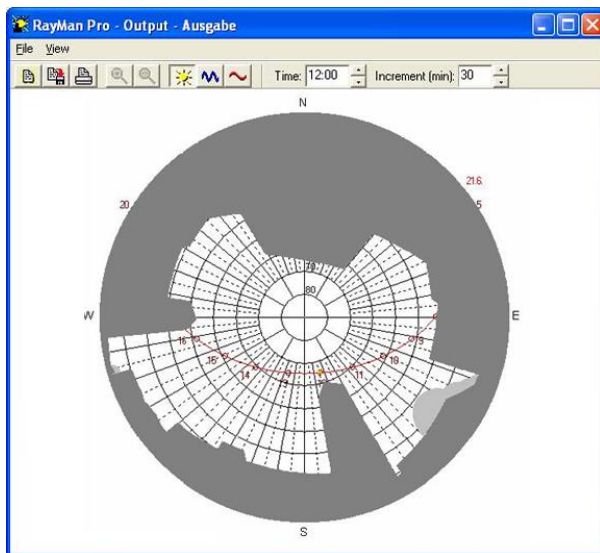


Figura 6.5 - Esempio output grafico: ombre

date	day of year	sunrise	sunset	SIndex	SFact	Qmax	Qact	QactSum	QactMax	
1.1.2006	1	8:18	16:45	137	17	386.1	256.7	2053.5	482.7	20.1
2.1.2006	2	8:18	16:46	138	17	387.3	258.0	2053.4	483.3	20.2
3.1.2006	3	8:18	16:47	139	18	385.7	270.0	2107.3	488.5	20.4
4.1.2006	4	8:18	16:48	141	18	391.5	271.5	2122.8	492.1	20.5
5.1.2006	5	8:18	16:49	142	17	395.7	273.8	2159.2	495.9	20.7
6.1.2006	6	8:17	16:50	143	18	396.3	276.0	2157.0	500.1	20.3
7.1.2006	7	8:17	16:52	145	18	398.4	278.2	2155.3	504.3	20.3
8.1.2006	8	8:17	16:53	146	20	400.3	280.8	2155.7	509.0	21.2
9.1.2006	9	8:16	16:54	148	19	400.5	283.1	2213.2	513.9	21.4
10.1.2006	10	8:16	16:55	149	19	400.3	285.8	2240.7	519.1	21.5
11.1.2006	11	8:15	16:56	152	17	405.3	288.3	2264.4	524.4	21.9
12.1.2006	12	8:15	16:58	153	21	412.3	291.4	2269.1	530.0	22.1

Figura 6.6 - Esempio output dati

### Esempio di simulazione con RayMan

Per meglio comprendere l'utilizzo del software viene riportata una simulazione effettuata a Friburgo, Germania, dove, in linea generale, vengono calcolati tutti i parametri messi a disposizione dal software.

Al fine di ottenere informazioni sul comfort termico o sulle condizioni termiche bioclimatiche di ambienti semplici e complessi, la conoscenza della durata del soleggiamento e i flussi di radiazione ad onda corta e lunga, sono obbligatori.

I flussi di radiazione, però, sono dati che non sono né facili da ottenere, né sono inclusi nelle misurazioni di routine; a questo proposito entrano in gioco il software e le sue simulazioni.

Il primo output è riassunto nella tabella 3 che mostra la durata media mensile di sole in una struttura urbana e l'importo massimo di ore mensili di durata del soleggiamento con e senza limitazioni

all'orizzonte.

Without horizon			Without horizon	
Month	Sdmax (h)	SDsum (h)	SDm (h)	SDsm (h)
1	9.1	281.9	1.7	52.6
2	10.3	289.6	4.8	133.6
3	11.9	369.4	7.7	237.5
4	13.6	406.8	8.0	238.6
5	15.0	464.3	8.3	258.1
6	15.7	471.5	8.5	255.1
7	15.4	492.2	8.5	271.7
8	14.1	438.3	7.9	245.0
9	12.6	376.9	8.3	247.7
10	10.9	338.8	6.0	186.0
11	9.5	284.2	2.7	82.3
12	8.7	269.5	0.4	11.8

Tabella 3 - Durata mensile del soleggiamento (fonte: Matzarakis, 2006)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0°	84	80	64	64	64	56	61	64	60	76	83	81
5°	81	82	67	62	65	64	64	64	60	79	84	76
10°	71	84	69	61	65	65	65	63	62	81	78	66
15°	64	82	72	59	64	65	65	61	65	82	69	62
20°	61	76	74	60	63	64	64	59	67	80	63	60
25°	59	69	74	61	60	64	62	59	69	76	60	58
30°	57	63	73	63	57	60	58	59	69	71	58	55
35°	52	58	72	63	57	56	56	60	68	66	55	45
40°	38	55	69	61	57	55	56	60	67	61	45	33
45°	25	49	65	59	56	54	55	57	66	56	33	10
50°	5	37	61	59	52	53	53	54	64	48	13	4
55°	3	18	55	58	49	48	48	54	60	35	4	3
60°	5	5	46	55	47	44	45	52	55	17	4	6

Tabella 4 - Durata del soleggiamento in diverse latitudini (fonte: Matzarakis, 2006)

La tabella 4 invece mostra la percentuale dell'effettiva durata del soleggiamento per latitudini settentrionali con passi di 5°, da 0° a 60°.

Come ulteriore output RayMan simula l'ombra in ogni giorno e minuto dell'anno per ogni semplice o complessa morfologia urbana.

La figura 6.5 mostra l'ombra di una parte di città analizzata per la latitudine di Friburgo (48° N).

L'ombra è di particolare importanza per quantificare l'intensità e la durata dello stress termico in estate.

E' anche importante per le questioni ricreative, ambientali e per prevedere gli effetti degli alberi nelle aree urbane.

La figura 6.7 mostra le frequenze delle classi dell'indice termico PET, da molto freddo a molto caldo, secondo la scala sviluppata da Matzarakis e Mayer per descrivere le condizioni generali bioclimatiche della città di Friburgo.

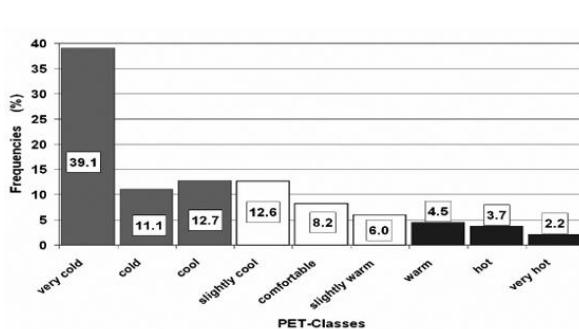


Figura 6.7 - Indice PET di Friburgo (fonte: Matzarakis, 2006)

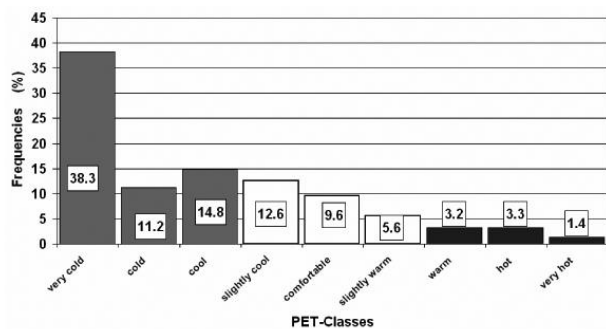


Figura 6.8 - Indice PET modificando la morfologia urbana (fonte: Matzarakis, 2006)

Sempre la figura 6.7 illustra che nel 39.1% delle ore studiate, le condizioni PET giacciono nella classe di molto freddo, seguita dalla classe freddo (11.1%), fresco (12.7%) e leggermente fresco (12.6%). Solo 8.2% sono nella gamma di comfort termico; 6.0% e 4.5% in classe leggermente caldo. Infine 3.7% e il 2.2% delle ore del 2003 giacevano nella classe caldo e molto caldo.

La figura 6.8 mostra sempre l'analisi di frequenza delle classi dell'indice PET ma questa volta calcolate modificando la morfologia urbana; qui, le condizioni di PET sono differenti a causa della modifica dei flussi di radiazione a onde corte e lunghe. Si può infatti notare che vi è una riduzione delle condizioni molto fredde dal 39.1% al 38.3% e una riduzione delle condizioni calde e molto calde. È visibile un notevole aumento delle condizioni di fresco e quindi del comfort.

Per l'analisi delle condizioni bioclimatiche generali, sulla base dei dati PET calcolati, è stato anche realizzato un diagramma bioclimatico (figura 6.9) che suddivide in decadi, per ogni mese (tre decadi al mese), le frequenze dei valori PET giornalieri per l'anno 2003.

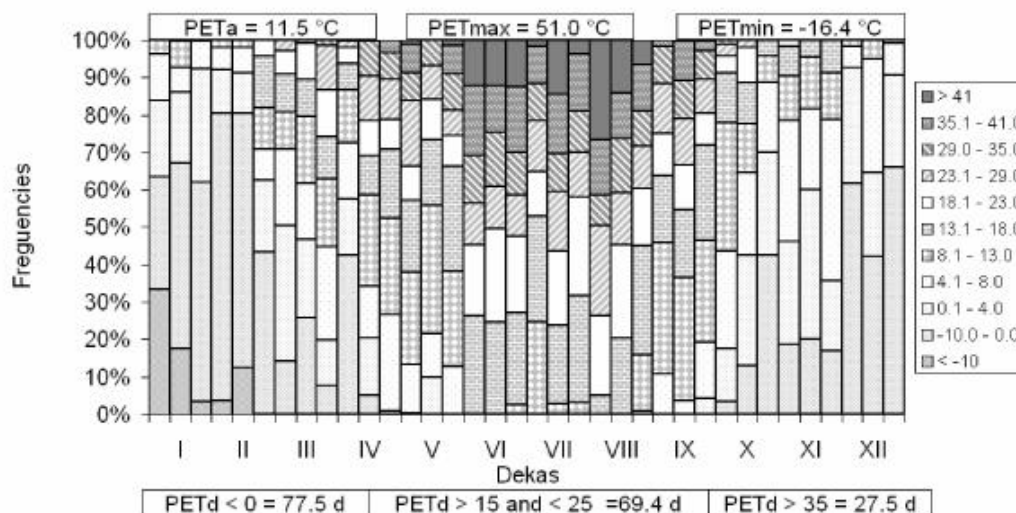


Figura 6.9 - Diagramma bioclimatico dei valori PET (fonte: Matzarakis, 2006)

Il modello presentato offre diverse opportunità per la ricerca applicata sia nell'ambito della climatologia sia in quello della progettazione. Con i dati meteorologici facilmente disponibili come la temperatura dell'aria, l'umidità dell'aria, la velocità del vento e i flussi di radiazione, possono essere stimati gli indici termici per ambienti semplici e complessi. Ulteriori informazioni sulle nuvole e la radiazione globale, importati nel modello, possono essere la base per una stima più dettagliata dei flussi di radiazione.

Pertanto, il modello di simulazione RayMan è uno strumento prezioso per la progettazione e la costruzione di abitazioni orientate al risparmio energetico e per la pianificazione urbana.

## 6.2 UFORE

Come riportato nei capitoli precedenti, tra le diverse funzioni che vengono attribuite alla vegetazione presente nelle città, la capacità di rimuovere inquinanti atmosferici dall'aria da parte degli apparati fogliari è forse la meno nota. Alberi e arbusti, oltre a cedere ossigeno e assorbire CO<sub>2</sub>, sono in grado di intercettare e trattenere diversi inquinanti, sia gassosi che particellari, dannosi alla salute.

Numerose città nel mondo (New York, Boston, Baltimora, Pechino, Puerto Alegre, Santiago del Cile, Madrid e altre) hanno effettuato analisi approfondite della capacità del loro verde urbano di migliorare la qualità dell'aria. Questi studi hanno evidenziato come la presenza di parchi urbani, viali alberati e giardini possa ridurre le concentrazioni di alcuni inquinanti e, in particolare, i valori di picco, cioè le concentrazioni massime registrate nel corso della giornata.

Le città menzionate hanno utilizzato il modello di calcolo UFORE sviluppato dal Servizio Forestale del Dipartimento dell'Agricoltura (USDA-FS).

Il modello UFORE consente di simulare le interazioni e gli scambi che le chiome degli alberi hanno con l'atmosfera. E' quindi possibile stimare i flussi dei diversi composti dell'aria (ossigeno, anidride carbonica, gas inquinanti) in ingresso e in uscita dagli stomi, nonché l'intercettazione del particolato fine da parte delle superfici fogliari.

I composti su cui il modello UFORE fornisce indicazioni sono il PM10, l'ozono, il biossido di azoto, il biossido di zolfo e il monossido di carbonio. Le fonti di questi composti sono le diverse attività antropiche, civili e industriali.

Il modello UFORE - Urban Forest Effects - è suddiviso in più moduli. Il primo viene utilizzato per realizzare un'analisi preliminare delle caratteristiche della vegetazione urbana e determinare i valori di una serie di grandezze che verranno utilizzate nelle fasi successive. La principale è la "superficie fogliare", cioè la somma dell'estensione di tutte le foglie che vanno a formare la chioma di un albero. Il modello dispone di un ampio database relativo a quasi 10000 specie. Ad ogni specie sono associati valori che, a partire dai dati di diametro del fusto, altezza, inserzione della chioma e diametro della chioma, consentono di giungere ad una stima della superficie fogliare.

Un altro modulo del modello consente la determinazione dei quantitativi di inquinanti rimossi dall'atmosfera da parte della vegetazione.

I fattori che maggiormente influiscono, oltre naturalmente alla specie, sono:

- la meteorologia;
- la disponibilità d'acqua nei suoli;
- lo stato di salute degli alberi;
- la stagione.

Il modello valuta infine, con un apposito modulo, le emissioni di composti organici volatili che,

prodotti dagli alberi, possono contribuire a formare ozono.

Esso tiene inoltre conto dell'andamento metrologico reale: i singoli episodi di pioggia, ad esempio, interrompono l'intercettazione di PM10.

Il modello UFORE offre, nei casi non sia disponibile un censimento dettagliato del verde urbano, un supporto per la realizzazione di rilievi campionari sull'area di indagine.

### *Esempio di simulazione con UFORE*

Con lo sviluppo del "Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento", l'Amministrazione comunale di Forlì ha inteso sviluppare una valutazione di quale sia attualmente il ruolo del verde urbano nel contenere l'inquinamento dell'aria, ma soprattutto come questo possa essere potenziato con la realizzazione di un programma di sviluppo di nuove aree verdi.

L'area di indagine è definita dal territorio urbano del Comune di Forlì che evidenzia attualmente diverse tipologie di superfici edificate:

- il centro storico, compatto, densamente edificato, con scarsi spazi verdi ad eccezione di alcune aree a parco ben identificabili;
- le aree residenziali con un'edificazione regolare ma decisamente meno intensa, una maggiore incidenza di verde privato, numerosi viali alberati, aree commerciali e di servizio;
- le aree industriali a forte densità di edificazione, con prevalenza di strutture destinate ad attività produttive, magazzini e servizi dedicati.

La qualità dell'aria a Forlì presenta, come in altre città della Pianura Padana, alcune criticità legate sostanzialmente al superamento delle soglie fissate dalla normativa per le polveri fini (PM10), per il biossido di azoto (NO<sub>2</sub>) e per l'ozono (O<sub>3</sub>).

Ai fini di questo studio, l'area urbana è stata suddivisa in più porzioni con condizioni di inquinamento dell'aria differenziate.

Questa zonizzazione, a cui hanno corrisposto tre diverse applicazioni del modello UFORE, è stata adottata sulla base dei dati delle stazioni di monitoraggio in continuo e a campagne di misura condotte sulla città di Forlì dall'Arpa dell'Emilia Romagna.

Il modello UFORE, applicato ai dati del censimento del verde pubblico e ai dati risultanti dal campionamento effettuato nell'ambito del presente studio, fornisce un quadro generale degli inquinanti rimossi complessivamente dalla vegetazione presente nell'area urbana del Comune di Forlì.

L'inquinante che presenta i valori di rimozione più consistenti è il particolato fine (PM10) con un quantitativo sottratto all'aria che sfiora le 25t. Valori più contenuti riguardano l'ozono e il biossido di azoto, rispettivamente con 7.7 e 3.8t. Modesta è l'intercettazione del biossido di zolfo con 0.7t e trascurabile quella del monossido di carbonio.



Nella seconda fase dello studio sono stati analizzati i progetti di carattere urbanistico che l'Amministrazione comunale di Forlì intende realizzare nel prossimo futuro.

In questo caso è stata stimata la superficie che potrà essere dedicata alla realizzazione di aree verdi, alberature, giardini e quale potrà essere l'impatto che questi interventi potranno avere sulla qualità dell'aria.

Di ogni intervento è stato stimato il numero di alberi e arbusti che potranno essere messi a dimora e, adottando criteri prudenziali, è stata valutata la quantità di inquinanti atmosferici rimossi dalla vegetazione.

Gli interventi previsti dall'Amministrazione Comunale di Forlì possono determinare, se completamente attuati, un forte incremento della presenza di verde nell'area cittadina.

Gli interventi programmati comporteranno un incremento dell'87% del patrimonio arboreo e arbustivo che fa capo all'Amministrazione comunale. I risultati complessivi evidenziano una rimozione di 4.8t di PM10, di 2t di ozono, 0.67t di biossido di azoto e 94kg di biossido di zolfo. Si tratta di risultati assai interessanti per quanto riguarda la componente particellare, con un incremento del 54% rispetto alla rimozione da parte del verde pubblico attuale e del 20% se viene considerato tutto il verde presente nell'area urbana.

Va osservato inoltre che i benefici prodotti da un ricco patrimonio di verde urbano sono molteplici e possono migliorare la qualità della vita, la protezione della salute umana, la vivibilità complessiva della città ecc... .

E' evidente tuttavia che nelle aree urbane, ad elevata densità di insediamenti, gli spazi sono limitati; ciò impone quindi di operare al meglio sulle aree disponibili e di recuperare le zone in abbandono, marginali o "trascurate" che possano ospitare nuova vegetazione e servizi con questa connessi.

Lo studio condotto sul territorio urbano del Comune di Forlì si inserisce in un contesto di forte interesse per il tema del verde urbano e per gli strumenti di analisi e valutazione delle ipotesi progettuali. Da questo punto di vista il modello UFORE, che ha rappresentato qui lo strumento di riferimento per analizzare ipotesi di intervento e possibili effetti sulla qualità dell'aria, si è dimostrato un interessante ausilio che dovrebbe trovare diffusione nelle Amministrazioni quale supporto alle decisioni sugli interventi riguardanti il verde urbano.

### **6.3 SOLWEIG**

Il modello di simulazione SOLWEIG fonda le sue origini sulla prospettiva di una progettazione urbana sostenibile, con lo scopo di determinare come i flussi di radiazione e la temperatura media radiante (T<sub>mr</sub>) possono influenzare la salute e il benessere degli esseri umani in un ambiente urbano dove, sempre più, vengono utilizzati materiali come calcestruzzo e cemento, portando via spazi alla vegetazione.

SOLWEIG è un modello grazie al quale si ottengono stime sul clima (come la durata del soleggiamento, la costruzione delle ombre, la durata dell'ombra nell'arco di un'intera giornata, ecc...)

e analisi sulla complessa interazione tra il disegno urbano e la temperatura dell'ambiente. Il modello di simulazione SOLWEIG è stato sviluppato dal Urban Climate Group del dipartimento della Scienza della terra dell'Università di Göteborg, Svezia e deriva dall'acronimo SOLar and LongWave Environmental Irradiance Geometry.

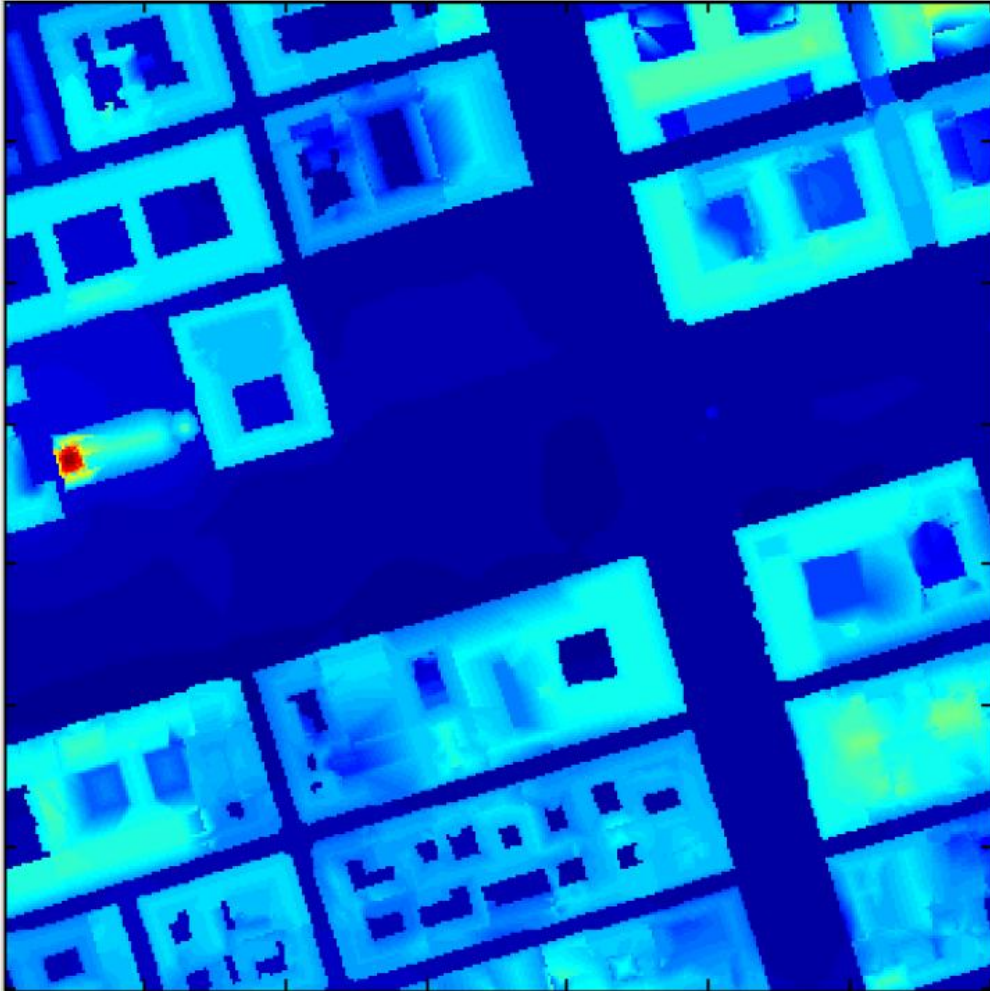


Figura 6.10 - DEM (Digital Elevation Model) (fonte: Lindberg, 2008)

Il software basa i propri calcoli su una mappa (figura 6.10), chiamata DEM (Digital Elevation Model), che rappresenta le variazioni spaziali della geometria urbana e grazie alla quale il programma è in grado di estrapolare diversi dati come il calcolo della temperatura media radiante, la luce diffusa e diretta ad onde corte o lunghe, la temperatura dell'aria, l'umidità relativa e informazioni di tipo geografico come latitudine, longitudine e elevazione.

Al fine di visualizzare i risultati, il modello genera tre diversi output:

- mappe: un insieme di ventiquattro mappe che mostrano le variazioni spaziali della temperatura media radiante per ogni ora di un giorno e una che contiene la media di tutte queste informazioni;

- diagrammi: tre diagrammi grafici che mostrano le variazioni spaziali della temperatura media radiante in un concreto punto del modello DEM;
- file dati: una versione di testo delle mappe precedenti e diagrammi che vengono memorizzati nel computer dall'utente.

La figura 6.11 è un esempio del tipo di mappe e diagrammi che il modello SOLWEIG produce come output: la mappa in alto a sinistra rappresenta le medie delle temperature medie radianti sul contesto urbano, mentre i tre diagrammi mostrano l'evoluzione della temperatura media radiante (in alto a destra) con flussi di radiazione ad onde lunghe (in basso a sinistra) e corte (in basso a destra) nell'arco di una giornata e in un punto specifico del modello DEM inserito.

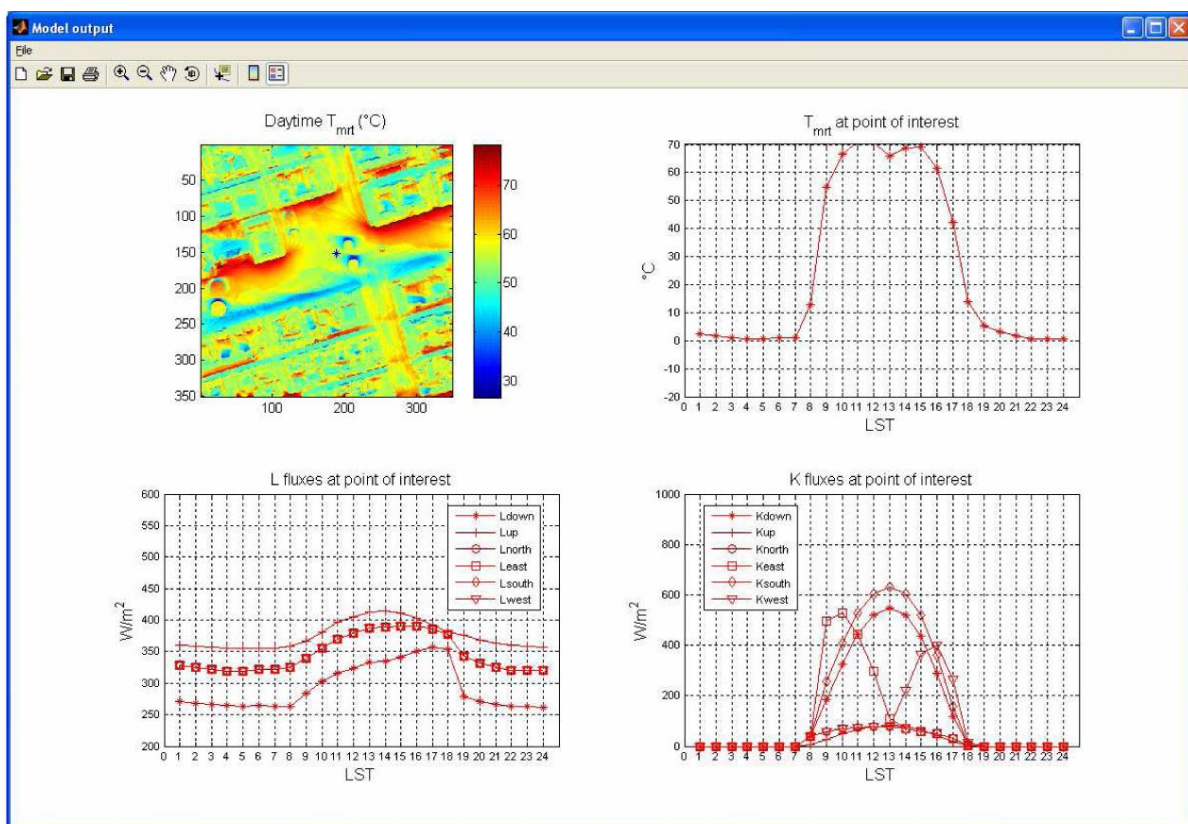


Figura 6.11 - Esempio di output prodotto dal software SOLWEIG

### *Esempio di simulazione con SOLWEIG*

Per valutare il software SOLWEIG, vengono effettuate diverse simulazioni a Göteborg, Svezia. L'area di studio è una piazza coperta da ciottoli di pietre e circondata da edifici di due o tre piani, ad eccezione del lato nord-ovest dove è presente un piccolo parco e a sud-ovest dove c'è un solo edificio, alto circa 30m. La vegetazione è quasi esclusivamente composta da alberi a foglia caduca e

cespugli.

All'interno dell'area di studio vengono individuati due differenti siti:

- 1: poco a nord di una fila di tigli, per esaminare l'impatto dell'ombreggiamento della vegetazione;
- 2: sotto un albero di castagno, per valutare la temperatura media radiante sotto una chioma.

In entrambi i siti vengono effettuate, con il software SOLWEIG, tre differenti simulazioni (figura 6.12). Per avere un modello di confronto e per valutare l'esattezza dei dati simulati, vengono presi a paragone i dati provenienti da una stazione meteorologica posta sul tetto dell'Università di Göteborg collocata a 100m di distanza rispetto all'area di studio.

Le misurazioni vengono condotte per cinque giorni nel periodo primavera-estate dell'anno 2010, più precisamente per il sito 1 il 20 maggio, 7, 10 e 12 luglio e per il sito 2 il 23 maggio.

I giorni delle misurazioni sono stati sereni o parzialmente nuvolosi, salvo il 20 maggio 2010 che era nuvoloso.

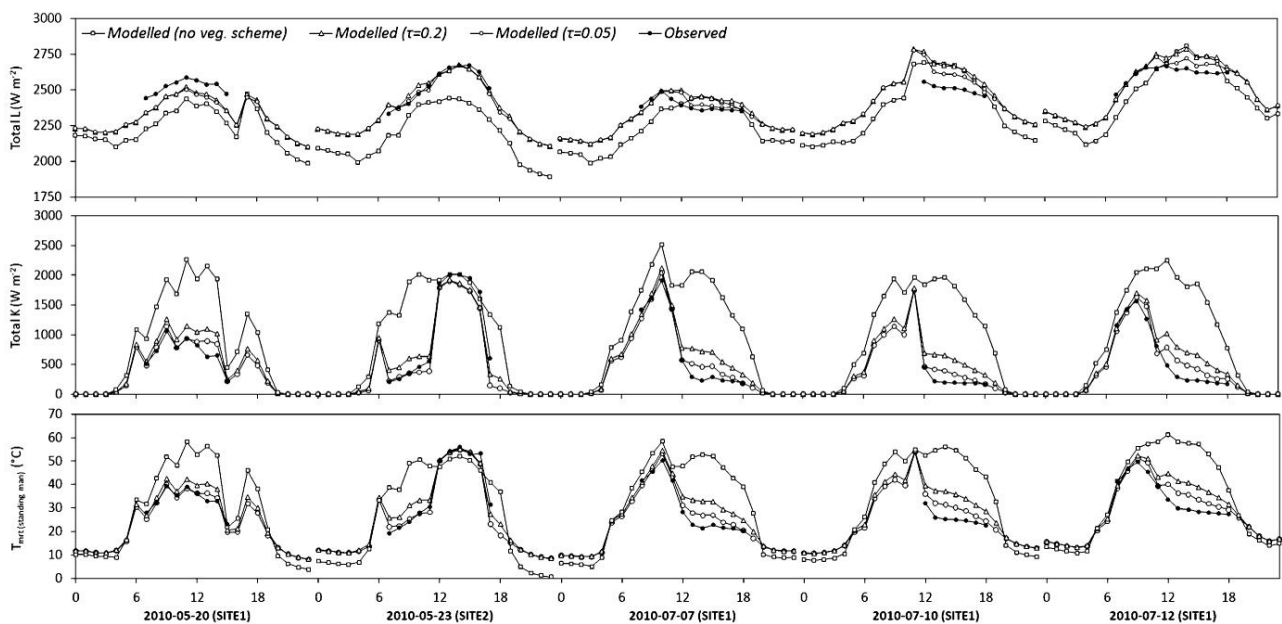


Figura 6.12 - Confronto tra i risultati ottenuti tramite le osservazioni e i risultati ottenuti con il software (fonte: Lindberg, 2008)

Il risultato più evidente rinvenuto dalle simulazioni, visibile in figura 6.12, è il notevole miglioramento della temperatura grazie all'uso della vegetazione; questo è più evidente quando i due siti sono ombreggiati dalla chioma degli alberi.

Grazie a questo software è quindi possibile esaminare come la vegetazione influenza la variazione spaziale della temperatura media radiante.

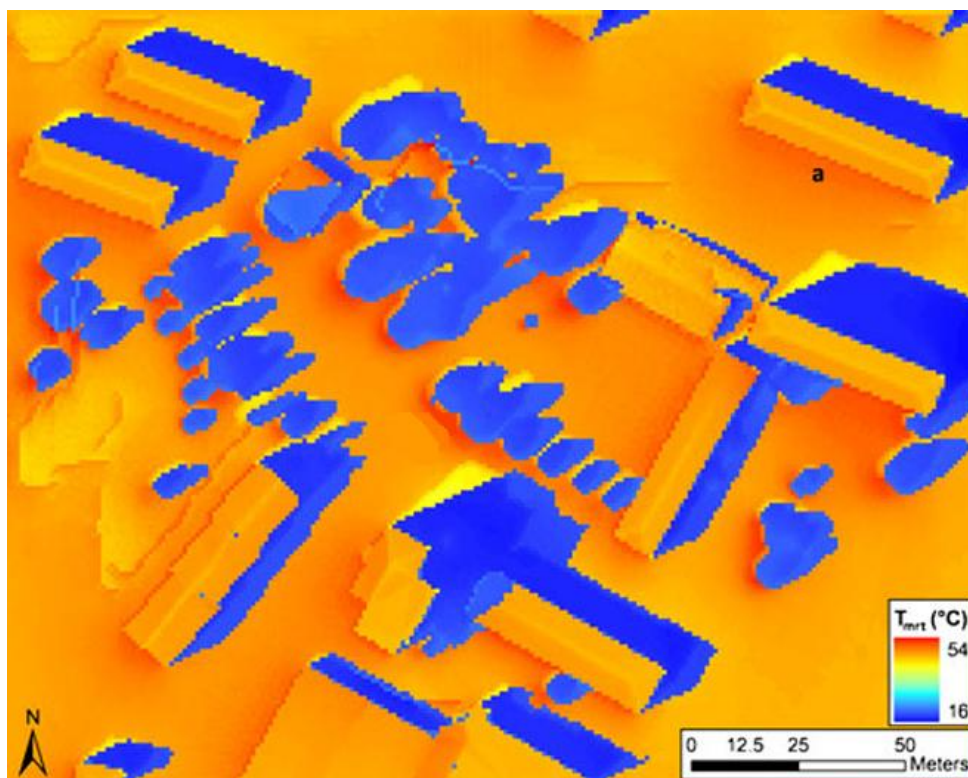


Figura 6.13 - Calcolo della temperatura media radiante (fonte: Lindberg, 2008)

In figura 6.13 è possibile verificare le caratteristiche degli ombreggiamenti: le aree, da giallo a rosso, sono esposte alla luce diretta del sole, mentre le aree blu sono coperte dall'ombra degli edifici o della vegetazione.

Un'altra chiara caratteristica derivante dalle simulazioni è che la temperatura media radiante è relativamente alta vicino alle superfici costruite come nel caso "a" riportato in figura.

Grazie al software SOLWEIG si ottiene una corrispondenza elevata tra i valori osservati e quelli modellati.

Data questa buona prestazione, si consiglia l'utilizzo per il calcolo della temperatura media radiante ed altri indici riguardanti il comfort termico negli spazi aperti e per la progettazione architettonica rivolta ad uno sviluppo sostenibile.

#### 6.4 ENVI-met

Quest'ultimo software, sviluppato all'interno di un contesto di ricerca universitario tedesco, è un software di simulazione ambientale e microclimatica a modello tridimensionale.

La modellazione implementa e studia le interazioni fra edifici, superfici, vegetazione, flussi d'aria e di energia di una porzione di area urbana sollecitata dalle condizioni climatiche di contesto geografico.

Il software è in grado di simulare:

- flussi di radiazioni su tutto lo spettro, dall'infrarosso all'ultravioletto, rispettando l'ombreggiamento, la riflessione e l'emissione delle radiazioni dal sistema di edifici e vegetazione;
- traspirazione, evaporazione e flussi di calore sensibile dalla vegetazione nell'aria;
- simulazione completa dei fattori fisici delle piante, come ad esempio la reazione di fotosintesi ed i suoi effetti;
- temperatura delle superfici dell'area di simulazione (edifici e suolo);
- scambi di calore e di acqua all'interno del suolo;
- calcolo di parametri quali la temperatura media radiante e il PMV (Predicted Mean Vote) dei fruitori dell'area in analisi;
- dispersione di gas inerti, particolato e sedimentazione su superfici e foglie;
- flussi d'aria e turbolenze, dati relativi al vento.

Proprio in relazione a questo vasto sistema di calcolo in grado di gestire contemporaneamente molti fattori, il software in oggetto è spesso impiegato all'interno di studi sugli effetti dell'isola di calore nelle città, sulle variazioni dei flussi d'aria e di calore in relazione alle modifiche del contesto microclimatico ma anche in studi riguardanti la qualità dell'aria e la diffusione degli inquinanti.

Il software è in grado di simulare microaree urbane con una risoluzione variabile fra gli 0.5 e i 10m per un periodo di tempo compreso fra le 24 e le 48 ore, con un time-step di calcolo massimo di 10 secondi.

ENVI-met genera moltissimi output e li suddivide in file e cartelle a seconda dei datafield cui sono associati i dati.

Alcuni sono file di testo leggibili ed importabili in programmi di calcolo per eventuali analisi; altri sono file non codificabili se non mediante le interfacce allegate al software.

Le interfacce sono due: una è grafica e selezionando i datafield è possibile avere una rappresentazione in scala cromatica del dato, con isolinee o con rappresentazione vettoriale; l'altra interfaccia permette invece di "tagliare" il modello tridimensionale con piani orizzontali o verticali ed estrarre solo i dati relativi alla sezione, su di un file di testo importabile in programmi di calcolo.

La sua applicazione in diversi studi in tutto il mondo ha mostrato la sua attendibilità soprattutto nell'ambito degli effetti della vegetazione in un contesto urbano.

### Esempio di simulazione con ENVI-met

A Singapore un rapido afflusso di popolazione ha portato alla richiesta della conversione di aree naturali in aree edificate e questo ha provocato l'emergere degli effetti dell'isola di calore [Wong e Chen (2003)]; per impedire l'esagerazione di questi effetti, è significativo riservare nella città aree per parchi urbani. Al fine di esplorare gli impatti termici delle aree verdi delle grandi città, vengono effettuate misurazioni in situ e simulazioni per Clementi Woods Park (CWP), a ovest di Singapore.

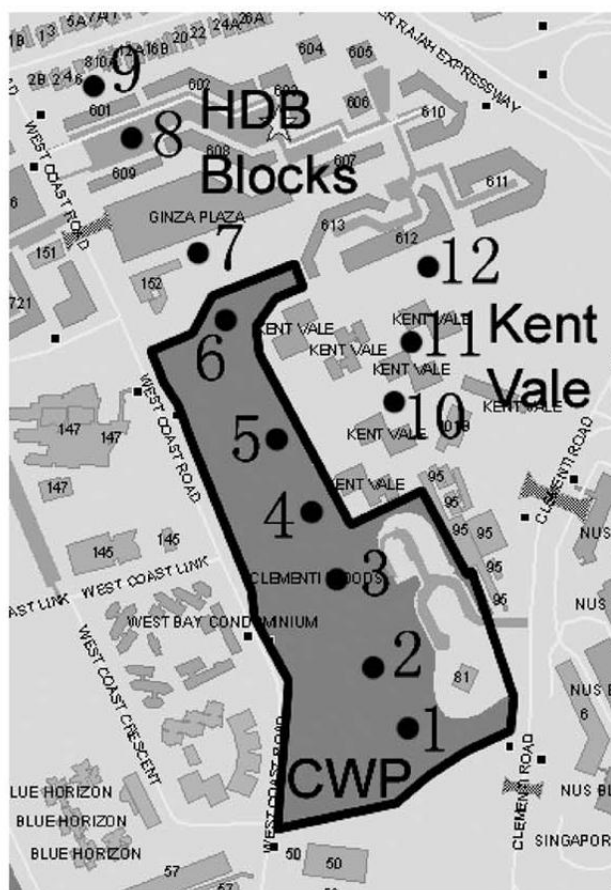


Figura 6.14 - Mappa di Clementi Woods Park (CWP) (fonte: Chen, 2005)

Gli strumenti principali utilizzati per le misurazioni sono stati i sensori di temperatura HOBO RH che vengono fissati ad una altezza di 2m, su lampioni o alberi, e sono stati pre-programmati per registrare i dati in modo continuo ogni 5 minuti.

Grazie a questi sensori è stato possibile misurare i seguenti parametri meteorologici:

- temperatura ambiente,
- umidità relativa,

- velocità del vento,
- direzione del vento,
- quantità di pioggia caduta,
- radiazione solare.

Un altro strumento usato nella misurazione è LAI-2000 Plant Canopy Analyzer con l'obiettivo di misurare l'indice di area fogliare (LAI) che corrisponde al rapporto dell'area fogliare per l'area di proiezione a terra della chioma. Le misurazioni vengono effettuate sia sopra che sotto la chioma per determinare l'intercettazione della luce da parte di quest'ultima.

Le misurazioni in situ vengono condotte durante il periodo dal 16 giugno al 1 luglio 2003 e vengono effettuate in determinati punti sia all'interno dell'area verde del parco, sia nel circostante ambiente urbano costruito: sei punti di misura sono stati collocati in modo uniforme all'interno della stretta striscia del parco, mentre altri sei punti sono stati disposti tra i blocchi abitativi HDB e il quartiere Kent Vale.

In parallelo con le misurazioni raccolte in situ, viene utilizzato il modello di simulazione ENVI-met per confrontare le condizioni termiche con e senza vegetazione all'interno del Clementi Woods Park.

I parametri per la simulazione sono stati impostati in base alla condizione reale del sito e alcuni dati vengono riportati in tabella 5.

Some basic settings employed	
Temperature (K)	303
Wind speed at 10m (m/s)	1.6
Wind direction	S to N
RH (%)	68.5
Roughness length in 10m	0.1
Total simulation time (h)	24

Tabella 5 - Esempio di alcuni parametri usati per la simulazione

Al fine di indagare a fondo gli effetti di raffreddamento all'interno di Clementi Woods Park, sono stati creati tre scenari:

- scenario 1 – stato di fatto: questo è lo scenario di base che simula le correnti condizioni termiche di Clementi Woods Park e dintorni;



- scenario 2 – senza boschi: in questo scenario, tutte le piante del parco vengono rimosse e viene mantenuto solo il terreno;

- scenario 3 – edifici: in quest'ultimo, un cambiamento totale viene fatto all'interno dell'area di Clementi Woods Park con la sostituzione di tutte le piante e del suolo con edifici lineari ad alta densità abitativa.

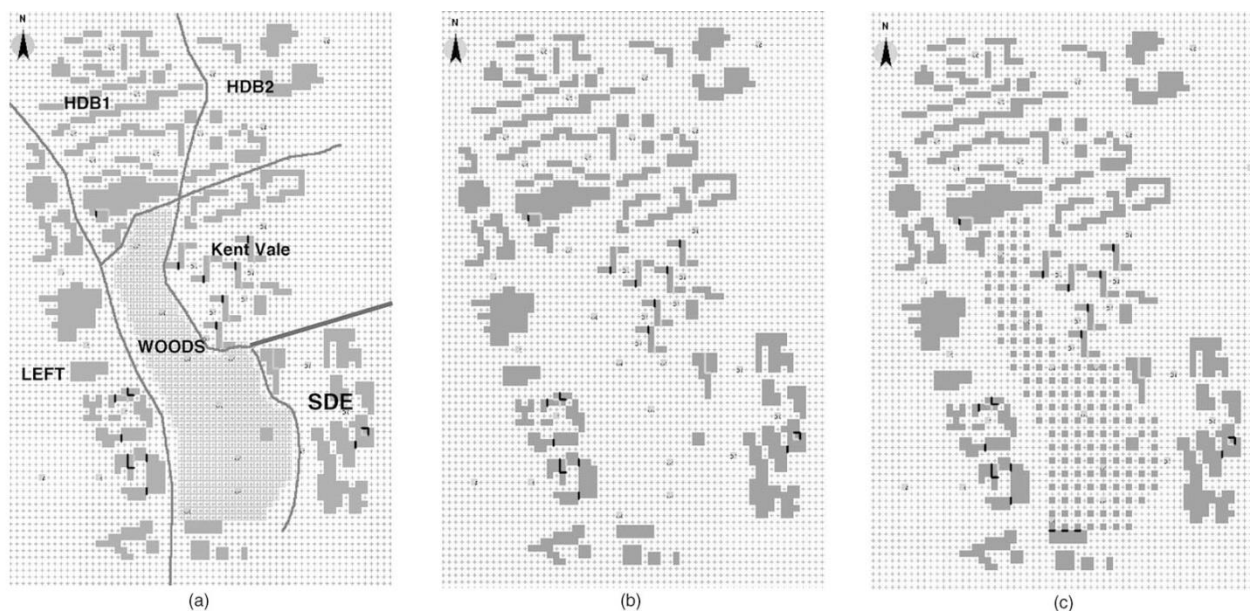


Figura 6.15 - Tre scenari per Clementi Woods Park (fonte: Chen, 2005)

Confrontando le temperature medie rilevate in situ è stato trovato che la temperatura media più bassa,  $25.7^{\circ}\text{C}$ , è stata localizzata all'interno del parco, nella posizione 1, mentre nelle restanti le temperature medie variano da  $27.2$  a  $27.5^{\circ}\text{C}$ . Questo può essere spiegato per via della disposizione delle piante all'interno del parco: la parte meridionale (posizione 1) di Clementi Woods Park è un pezzo di foresta molto densa pertanto, sia l'ombreggiamento che l'effetto evaporativo di raffreddamento sono molto attivi. Il resto del parco è piantato con alberi sparsi e la fluttuazione delle temperature medie di questi luoghi è minima; questo mostra che la temperatura ha una forte correlazione con la densità degli alberi o, più precisamente, con l'indice LAI (area fogliare). In entrambi i blocchi abitativi, HDB e Kent Vale, può invece essere osservato un innalzamento delle temperature medie dell'aria; ne consegue la regola che più si è lontano dal parco, maggiore è la temperatura media.

Oltre al confronto delle temperature dell'aria, viene fatta anche l'analisi di correlazione tra la radiazione solare e la temperatura dell'aria in posizioni diverse. I dati della radiazione solare sono stati presi da tutte le stazioni di rilevamento, in una giornata limpida (19 Giugno 2003), in un periodo di tempo dalle 8:00 alle 13:40 quando la radiazione solare aumenta costantemente il suo valore di picco. Fondamentalmente, le temperature aumentano con l'elevazione della radiazione solare in tutte le posizioni, ma la numero 1 rimane sempre la più bassa.

Per esplorare l'effetto di raffreddamento del verde che circonda gli edifici di diverse altezze, viene utilizzato anche il software ENVI-met e per confrontare i risultati, sono stati selezionati quattro scenari temporali tipici, 00:00, 06:00, 12:00 e 18:00. La figura 6.16 mostra il confronto delle osservazioni effettuate alle ore 00:00 dove la superficie piantumata crea un abbassamento della temperatura nella sua zona sottovento e la lunghezza di quest'area è quasi simile alla lunghezza dell'area verde. Naturalmente, più si è vicino alla zona verde più si abbassa la temperatura.

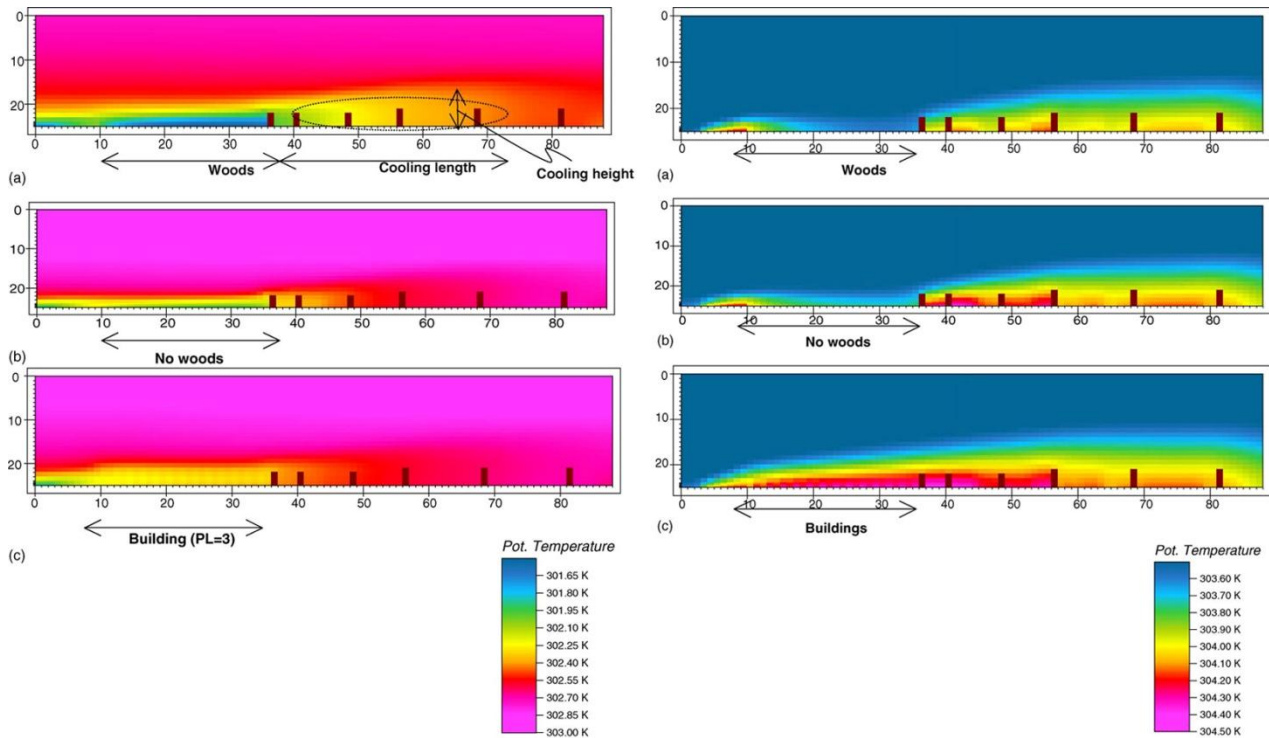


Figura 6.16 - Temperatura potenziale alle ore 00:00 Figura 6.17 - Temperatura potenziale alle ore 12:00 (fonte: Chen, 2005)

Quando la vegetazione è totalmente rimossa, solo una zona molto piccola ha le temperature più basse e si trova sempre nell'area sottovento, mentre quando le piante sono completamente sostituite con gli edifici, la zona a bassa temperatura è sostituita da una zona a più alta temperatura. La figura 6.17 rappresenta le ore 12:00 del giorno di simulazione. Questi risultati sono del tutto diversi da quelli notturni soprattutto in termini di distribuzione di temperatura verticale. L'area a bassa temperatura nella zona sottovento del verde ha perso la sua netta linea di demarcazione rispetto a quella osservata durante la notte. Tuttavia, la temperatura più bassa può essere ancora osservata nella zona sottovento del bosco rispetto agli scenari senza bosco o nel caso della completa sostituzione con edifici.

La figura 6.18 mostra il profilo delle temperature dei tre scenari alle ore 06:00. Nello scenario 1, si osserva che la regione fresca con una temperatura di circa 300K è situata nel Clementi Woods Park e l'effetto di raffreddamento del parco si protrae fino a Kent Vale e alla parte inferiore di Ginza Plaza che ha una temperatura di 301,1K. Nelle zone abitate HDB, l'effetto è meno marcato e si trovano temperature superiori a 301,5K. Quando la vegetazione viene rimossa (scenario 2), la temperatura

nella zona dei boschi si eleva a circa 301K. Tuttavia, il livello di umidità nel suolo non causa un innalzamento di temperatura tale da essere simile a quella delle superfici pavimentate. L'effetto di raffreddamento in Kent Vale e nella vicina Ginza Plaza è ridotto rispetto allo scenario precedente. Nel blocco abitativo HDB, la temperatura è salita a circa 301,8K.

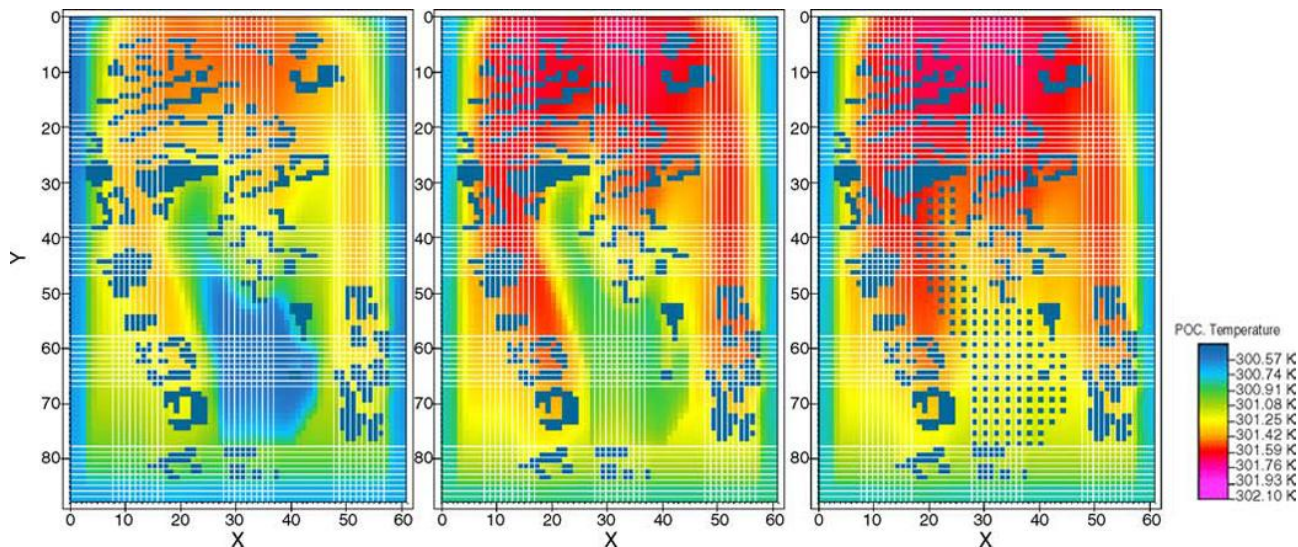


Figura 6.18 - Temperatura potenziale per i tre differenti scenari (fonte: Chen, 2005)

Quando la vegetazione viene sostituita con una superficie pavimentata ed edifici, si può vedere che l'intera area ha una temperatura superiore ai 301,5K. Su Kent Vale e su Ginza Plaza la temperatura è salita a circa 301,8K. Allo stesso modo, le aree dei blocchi abitativi HDB hanno la più alta temperatura corrispondente a 302,2K.

Grazie alla simulazione con il software ENVI-met si può confermare che gli effetti di raffreddamento del verde sul microclima dipendono dai seguenti fattori:

- distanza dalla zona verde;
- direzione del vento;
- pianificazione urbanistica degli edifici.

Gli impatti di raffreddamento dei parchi si riflettono sull'ambiente costruito circostante e questo può portare a un risparmio di energia e un maggiore comfort termico per i residenti, al punto da poter affermare che più preoccupazione deve essere rivolta a riservare delle aree verdi nelle città, piuttosto che sostituirle con edifici o aree pavimentate.

#### 6.4.1 Esempio di simulazione con ENVI-met in fase progettuale

Un'ultima, ma fondamentale, caratteristica di ENVI-met è la possibilità di utilizzare il software in fase progettuale, per prevedere i risultati ottenibili dalla realizzazione di un progetto; questo modo di procedere, che ormai in Germania è entrato nella "routine" delle analisi preventive alla progettazione, si sta lentamente diffondendo anche in Italia e, a dimostrazione di ciò, si riporta un esempio dell'utilizzo del software per una proposta progettuale nel quartiere di Villa Fumosa, del Comune di Pineto, nella provincia di Teramo, in Abruzzo, da parte dell'Università di Ascoli Piceno.

Da anni la scuola di Architettura e Design (SAD) ha intrapreso una ricerca intitolata la "Città Adriatica" con l'obiettivo di fornire ai diversi comuni studi sullo sviluppo del territorio, in questo caso utili per redigere il nuovo Piano Regolatore Generale della città di Pineto.

Questa città costiera, la cui origine è legata all'apertura della linea ferroviaria adriatica nel 1863, ha registrato una crescita significativa dal 1950, con un vertiginoso aumento della popolazione (passando da 5900 abitanti nel 1930, a circa 6800 nel 1961, a circa 14000 abitanti nel 2005) a causa dello sviluppo delle attività produttive e turistiche.

Fin dai tempi del dopoguerra, le imponenti trasformazioni economiche e sociali che si sono verificate, insieme allo sviluppo del turismo, di aree produttive e di nuove aree residenziali, non sono sempre state in equilibrio con le esigenze di difesa del suolo e tutela del paesaggio, ma, al contrario, hanno spesso contribuito a innescare un processo di uso del suolo, di dissesto idrogeologico e d'impoverimento della natura e del paesaggio, che sta diventando sempre più evidente.

Lo studio prevede, quindi, un'analisi dei fattori meteorologici e climatici, la valutazione della permeabilità del suolo e dell'uso del territorio del quartiere di Villa Fumosa.



Figura 6.19 - Immagine satellitare del quartiere di Villa Fumosa, Teramo

Il quartiere ha una superficie rettangolare, allungata, di 430.000mq ed è limitata ad est dal mare Adriatico e ad ovest dalle colline costiere.

La strada statale numero 16 e la ferrovia adriatica separano la zona turistica da una zona a carattere residenziale a bassa densità edilizia (edifici alti al massimo 3 piani), al cui interno si trova una zona agricola ancora attiva che, su un'area totale di 13.000mq, è occupata per la metà da una fabbrica artigianale. La zona residenziale non è del tutto completa: una parte delle aree verdi, di attrezzature pubbliche e i parcheggi non sono ancora stati realizzati. Per il quartiere di Villa Fumosa, il PRG in vigore prevede una superficie massima di sviluppo di 41.000mq divisi tra l'area residenziale e quella turistica.

Il DPP (Documento Programmatico Preliminare), pur confermando la soluzione proposta nel PRG per l'area residenziale e turistica, prevede la demolizione della fabbrica artigianale e la trasformazione della zona in un centro urbano, con aree verdi e spazi permeabili, residenze e servizi. Il DPP inoltre prevede la realizzazione di aree verdi (un parco urbano e una zona agricola) ai margini nord e sud della zona in esame e un parco lineare a nord lungo il confine con le colline litoranee, attraversato da una pista ciclabile che si collega con il centro di Pineto.

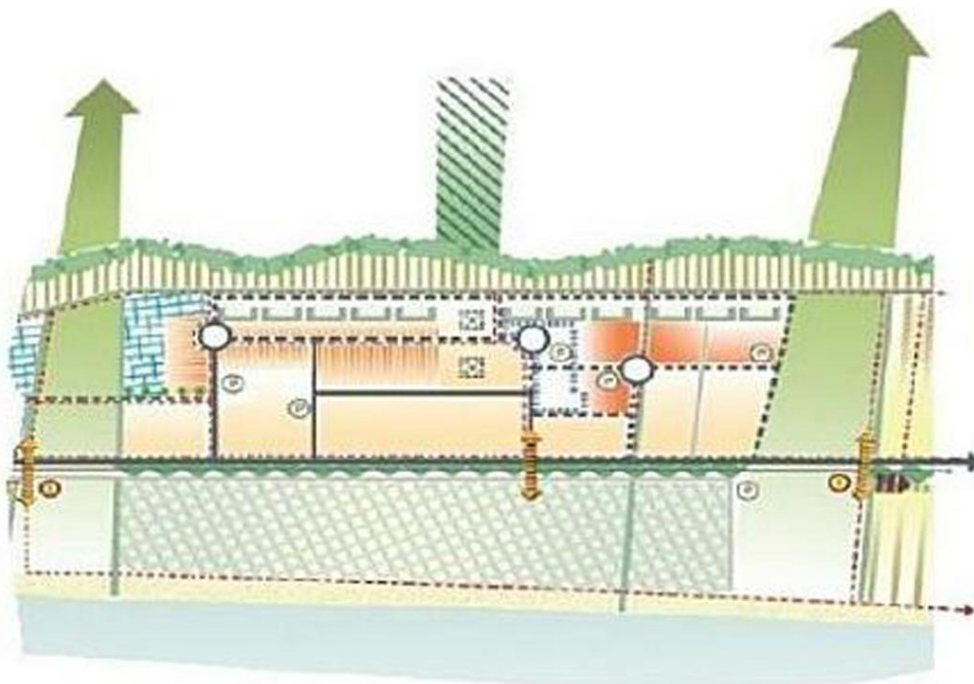


Figura 6.20 - Ipotesi di progetto per il quartiere di Villa Fumosa (fonte: Comune di Forlì)

L'obiettivo del PRG è quindi quello di fornire indicazioni, suggerimenti e regole per orientare le scelte progettuali preliminari contenute nel DPP verso l'obiettivo della sostenibilità ambientale e la vivibilità dell'area di Villa Fumosa, attraverso alcuni accorgimenti:

- migliore definizione della forma della città e dell'uso degli spazi,

- particolare attenzione alle aree verdi,
- dimensionamento adeguato delle strade,
- migliore densità abitativa,
- corretto posizionamento di edifici e funzioni.

Una prima simulazione con il software ENVI-met è stata effettuata per calcolare l'indice RIE (Riduzione dell'Impatto Edilizio) e la differenza di temperatura tra un'area urbana e una rurale per gli scenari della situazione esistente ( figura 6.19) e per l'ipotesi di progetto (figura 6.20). Viene in un secondo momento calcolato anche il PMV (Predictid Mean Vote), un indice che prevede il comfort degli utenti negli spazi aperti: quando l'indice risulta avere un valore attorno allo zero (-0.5 a +0.5) ci si trova in una condizione di comfort termico mentre se risulta intorno a -3 la condizione è di stress da freddo e +3 stress da caldo.

Le figure 6.21 e 6.22 rappresentano gli output di ENVI-met nel caso specifico dell'indice PMV:

- per il primo scenario simulato (stato di fatto) dai risultati ottenuti con ENVI-met si possono osservare elevati valori di PMV in quasi tutta l'area - condizione di stress da caldo;
- per il secondo scenario (ipotesi di progetto) i risultati mostrano valori più bassi corrispondenti soprattutto alla nuova cintura verde e ai corridoi verdi - condizione di maggiore comfort.

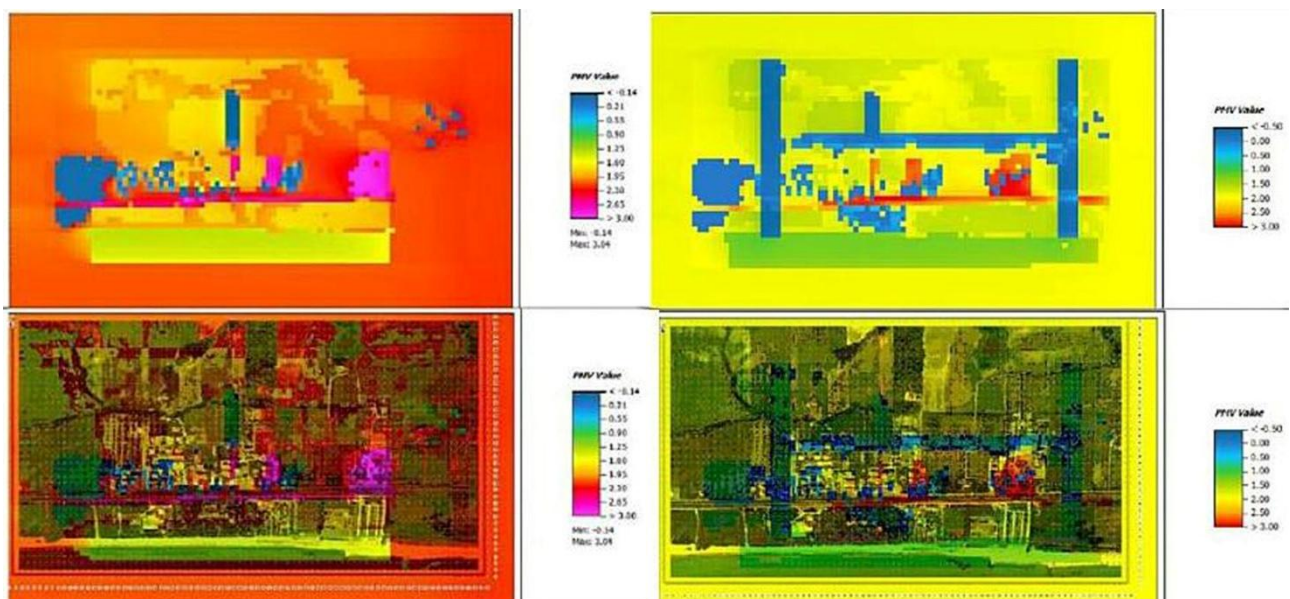


Figura 6.21 - Indice PMV stato di fatto  
(fonte: Comune di Forlì)

Figura 6.22 - Indice PMV proposta progettuale  
(fonte: Comune di Forlì)

Lo studio, concentrandosi sulle “infrastrutture verdi” nelle aree urbane, dimostra la loro capacità nella mitigazione dell’isola di calore.

L’effetto di raffreddamento dovuto all’inserimento di nuove aree e corridoi verdi è risultato molto importante per migliorare il comfort termico e la qualità della vita degli utenti. Questi risultati possono rappresentare un vantaggio per le amministrazioni locali per alleviare i problemi termici ambientali in città e per raggiungere uno sviluppo più sostenibile a livello locale.

Lo scopo di questo lavoro è stato anche quello di fornire uno strumento operativo per esplorare l’“organismo urbano”, che tiene conto del suo clima, della mobilità, della dimensione ambientale, della qualità e dell’efficienza degli alloggi e dei servizi.

In questo modo, l’approccio interdisciplinare assicura la sostenibilità delle trasformazioni urbane e mostra come il progetto del verde e la pianificazione sostenibile possono aiutare al raggiungimento di un alto livello di comfort urbano e di risparmio energetico.

# BIBLIOGRAFIA

---

Arnfield, A. J. (2003) "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island", *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1-26

Bisson, M. (2009) *Simulazione del microclima urbano di Milano mediante il software Envi-met*, Tesi, Politecnico di Milano

Chen, Yu (2005) "Thermal benefits of city parks", *Energy and Buildings*, 38, pp. 105-120

Cerizza, D. (2011) *L'influenza della vegetazione sul microclima degli ambienti esterni – un caso studio*, Tesi, Politecnico di Milano

Cocci Grifoni, R. (2012) "In search of new paradigms to interpret and design the contemporary city", *Transactions on Ecology and the Environment*, 155

Comune di Forlì, Settore ambiente, *Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da inquinamento*

Lindberg, F. et al (2008), "SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings", *International Journal of Biometeorology*, 52, pp. 697-713

Lindberg, F. e Grimmond, C. S. B. (2011), "The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation", *Theoretical Applied Climatology*, 105, pp. 311-323

Matzarakis, A. et al (2006), *Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan*, PLEA2006 - The 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland

Matzarakis, A. et al (2007), "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model", *International Journal of Biometeorology*, 51, pp. 323-334

Matzarakis, A. et al (2010), "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model", *International Journal of Biometeorology*, 54, pp. 131-139

Paoletti, E. (2011), "Air quality impact of an urban park over time", *Procedia Environmental Sciences*, 4, pp. 10-16



## 7. APPLICAZIONE: IL CASO DI PIAZZA LEONARDO

---

Volendo dimostrare e quantificare gli effetti del verde sull'abbattimento dell'isola di calore urbana, dopo aver analizzato i software che possono supportare la ricerca, si è deciso di utilizzare il modello di simulazione ENVI-met perchè:

- offre la possibilità, con un unico programma, di poter calcolare dati relativi non solo all'effetto del verde sulle temperature ma anche sull'inquinamento, sul comfort e sul risparmio energetico degli edifici;
- è il software che, nel caso specifico dello studio sulla riduzione dell'isola di calore urbana, permette di calcolare diversi indici e quindi la possibilità di studiare il problema da molteplici punti di vista;
- si possono simulare e confrontare parallelamente differenti scenari;
- fornisce risultati molto precisi e di facile lettura;
- essendo stato sviluppato da un'università è un programma gratuito, facilmente reperibile e dotato di un'interfaccia grafica semplice e intuitiva;
- tra tutti i modelli di simulazione recentemente nati per supportare la progettazione del verde con lo scopo di migliorare il microclima urbano, risulta essere quello più utilizzato.

### **7.1 La dimensione del verde urbano**

Dopo aver constatato che l'isola di calore urbana deve essere minimizzata nella calda stagione per tutelare il comfort e la salute della popolazione, dopo aver dimostrato che la messa a dimora di nuova vegetazione nelle aree urbane è una delle principali strategie utilizzate per la mitigazione perché le aree verdi hanno la capacità di permanere a temperature più basse rispetto alle zone urbane in cui sono inserite, dopo che ricercatori, studiosi, progettisti e pianificatori hanno verificato che quest'ultimo effetto si propaga anche all'interno della struttura urbana situata al confine con l'area verde, sorgono due quesiti fondamentali a cui trovare risposta:

- fino a che distanza è percepibile l'effetto di mitigazione dell'isola di calore provocato dal verde?
- la dimensione del verde influisce sulla maggiore propagazione di quest'effetto?

Molti studi sono stati effettuati per trovare una giustificata risposta a queste domande, e sembrano aver avuto maggior riscontro quelli effettuati da Spronken-Smith (1994) su parchi urbani del Nord America, dove afferma che *“l’influenza del parco è limitata entro una zona pari circa alla “larghezza” del parco stesso”* e quelli effettuati da Honjo e Takakura (1990-1991) in Giappone, dove simulazioni matematiche hanno mostrato che *“per il raffreddamento delle aree urbane sono efficienti anche diverse piccole aree verdi, se sufficientemente separate tra loro”*.

Ai fini di questo studio, con l’ausilio del software ENVI-met, si è cercato di verificare quanto sopra affermato dai tre ricercatori.

Il software ENVI-met lavora su una griglia di dimensioni massime di 250x250m per un’altezza di 35m, dove i cubetti che la compongono misurano 1x1x1m; queste dimensioni possono essere modificate grazie ad un fattore di scala, infatti per le simulazioni relative al caso studio viene considerata una superficie di 700x700m con un fattore di scala del modello di 3.5m dove, quindi, ogni cubetto della griglia ha dimensione 3.5x3.5x3.5m.

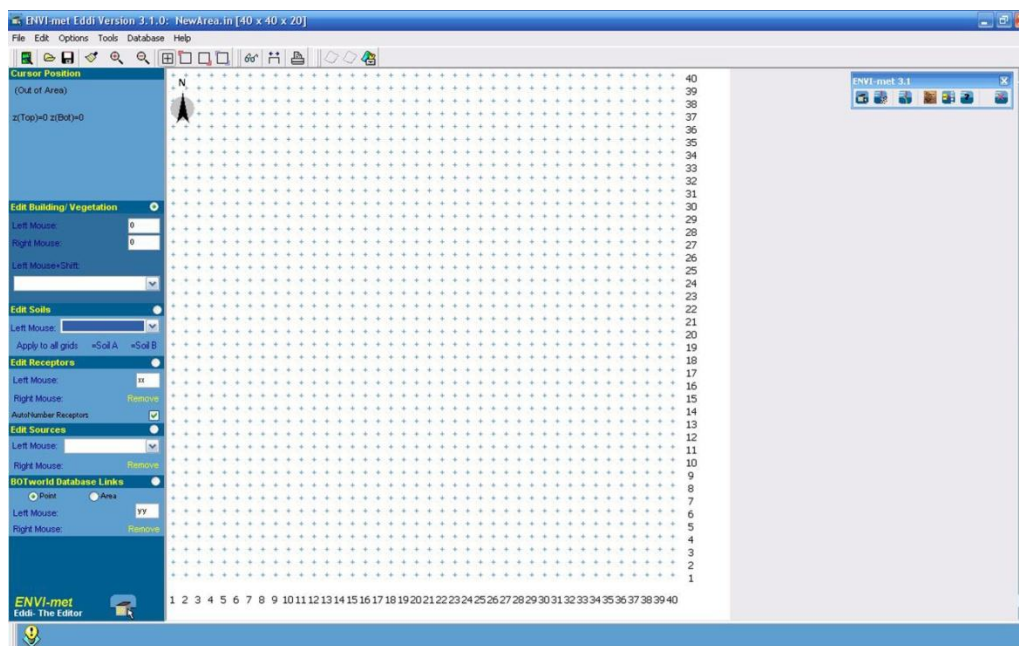


Figura 7.1 - Schermata iniziale del programma ENVI-met

Nel caso in cui il modello è fuori scala e quindi non si rispettano le dimensioni massime, la simulazione non può essere effettuata.

I modelli costruiti per questa simulazione sono 8 perché si è deciso di verificare la propagazione dell’effetto della “brezza fresca” che si forma da 4 differenti dimensioni del verde, che a loro volta vengono simulate in due diverse tipologie:

- solo prato, dove la superficie a verde viene considerata interamente coperta da un manto erboso,

- solo alberi, dove la superficie viene ricoperta da un fitto bosco.

In questo modo, sarà possibile verificare i diversi effetti che le due tipologie di vegetazione hanno sulla temperatura e sulla profondità di propagazione della brezza fresca.

Su una superficie totale di 49ha (700x700m) le dimensioni del verde prese in esame sono 2.5 – 5 – 10 – 20ha; si è deciso di fermarsi a questa dimensione perché oggi nelle città è difficile trovare aree di dimensione superiore a 20ha da adibire completamente a verde.

Ovviamente l'effetto di propagazione del fresco all'interno della città dipende molto dalla forma della città stessa; canyon urbani diffondono la brezza fresca più in profondità rispetto a situazioni in cui gli edifici sono orientati perpendicolarmente alla direzione della brezza, ostacolandone l'ingresso nella struttura urbana.

Per non interferire con il percorso della brezza fresca, per queste simulazioni si è deciso di non costruire il modello della città ma di ricoprire la superficie ad essa a disposizione con una pavimentazione.

Sulla griglia di base appena creata, il software permette quindi di inserire diverse tipologie di suolo. Ne vengono elencate alcune:

- strada asfaltata
- pavimentazione in calcestruzzo
- pavimentazione in mattoni
- terreno sabbioso
- suolo argilloso
- pavimentazione in granito
- pavimentazione in granito splendente
- acqua ecc... .

Per quanto riguarda il modello di studio viene utilizzata al di sotto della vegetazione una superficie di default che solitamente viene collocata sotto alle parti edificate e vegetate per indicare terreno comune, mentre nella restante parte del modello viene utilizzata l'opzione "strada asfaltata" perché in grado di trattenere il calore nelle ore diurne e rilasciarlo in quelle notturne; in questo modo sarà più facile verificare l'effetto di mitigazione del verde sull'isola di calore urbana.

È inoltre possibile inserire sulla griglia la tipologia della vegetazione presente sul suolo:

- erba
- alberi alti fino a 10m con chioma densa o poco densa
- alberi alti fino a 20m con chioma densa o poco densa
- alberi con foglie alla base
- chioma molto densa
- foresta densa con alberi alti fino a 20m
- soia
- mais
- granturco ecc... .

Per lo scenario 1, solo prato, la superficie viene ricoperta con l'opzione "erba" mentre per lo scenario 2, solo alberi, si ricopre la superficie di alberi con l'opzione "alberi alti fino a 20m, chiome distinte". Per iniziare la simulazione il software prevede l'inserimento di alcuni dati che vengono riportati qui di seguito:

- giorno della simulazione: 11 luglio 2011
- ora di inizio della simulazione: 06:00
- durata della simulazione: 24 ore
- velocità del vento: 1m/s
- direzione prevalente del vento: ovest
- temperatura iniziale: 293K

Una volta impostato il modello e inserito i dati, la simulazione può avere inizio. Il software calcolerà tutti gli indici in esso presenti; sarà cura dell'utente decidere quali saranno quelli più utili ai fini dello studio.

Questo, forse, può essere considerato l'unico limite del modello di simulazione ENVI-met perché, non poter scegliere da principio gli indici da calcolare per ottenere solo alcuni dei risultati possibili, aumenta leggermente i tempi di calcolo.

Una volta conclusa la simulazione, per verificare la propagazione della brezza fresca proveniente da

un'area coperta da vegetazione, si prenderanno in esame i risultati ottenuti per le ore 12:00 e le ore 00:00 dell'11 luglio 2011 così sarà possibile verificare i diversi effetti che la vegetazione produce durante l'arco di una giornata.

Grazie all'interfaccia grafica Leonardo, compresa all'interno del software, si possono creare per tutti gli indici a disposizione due differenti tipologie di visualizzazione dei risultati:

- mappe cromatiche;
- tabelle con valori e formule.

Si sceglie, in questo caso, di visualizzare i risultati attraverso mappe cromatiche, sia in pianta che in sezione, e utilizzando un'unica scala di temperature in modo che sia più intuitiva e veloce la lettura del grafico.

Per studiare l'effetto del verde sulla mitigazione dell'isola di calore urbana, tra tutti gli indici che il software mette a disposizione, quello fondamentale è il calcolo della temperatura potenziale.

I grafici risultanti dalle simulazioni mostrano (tavola 01 e tavola 02) che lo scenario in cui la superficie verde viene ricoperta da prato influisce molto meno, sia di giorno che di notte, sulla riduzione di temperatura, rispetto allo scenario in cui la superficie è ricoperta da alberi, per tutte e quattro le dimensioni del verde prese in esame.

Nello specifico delle simulazioni alle ore 12:00 per lo scenario "alberi" è possibile verificare come la dimensione del verde influisca notevolmente sulla temperatura e sulla propagazione dell'effetto nel suo intorno: più aumenta la dimensione del verde più la temperatura si abbassa e più lontano vengono misurati gli effetti.

Questo risultato si ottiene grazie all'ombra che gli alberi creano al di sotto delle chiome che, bloccando parzialmente la radiazione solare, fanno sì che questa non raggiunga il terreno nella sua totalità, impedendone quindi il completo assorbimento da parte del terreno che rimane più fresco. La situazione alberi risulta vantaggiosa anche durante la notte perché il terreno, non avendo immagazzinato molto calore durante il giorno, ne rilascia poco creando quindi una zona di fresco. Le chiome degli alberi, di notte, impediscono che la brezza fresca si disperda completamente verso l'alto e quindi aiutano la propagazione degli effetti al di fuori dell'area verde.

A questo punto per verificare l'affermazione della ricercatrice Spronken-Smith viene costruito un grafico (sia per le ore 12:00 che per le ore 00:00) dove vengono messi in relazione la dimensione dell'area verde (in ettari) e la differenza di temperatura che viene calcolata tramite due misurazioni in punti precisi: la prima al centro dell'area alberata e la seconda ad una distanza corrispondente alla larghezza dell'area verde, partendo dal suo confine con l'area asfaltata.

Dal grafico è possibile affermare che i benefici della vegetazione sulla diminuzione delle temperature si propagano per una larghezza "parco" come sostenuto dalla ricercatrice ma che questo fenomeno tenderà a stabilizzarsi con l'aumentare della dimensione dell'area verde.

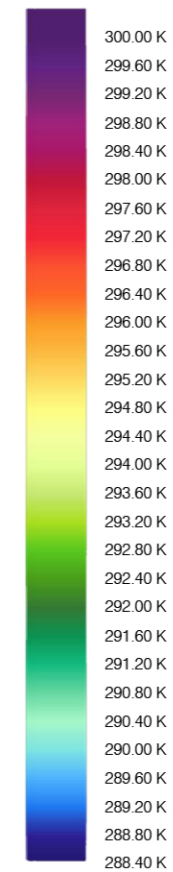
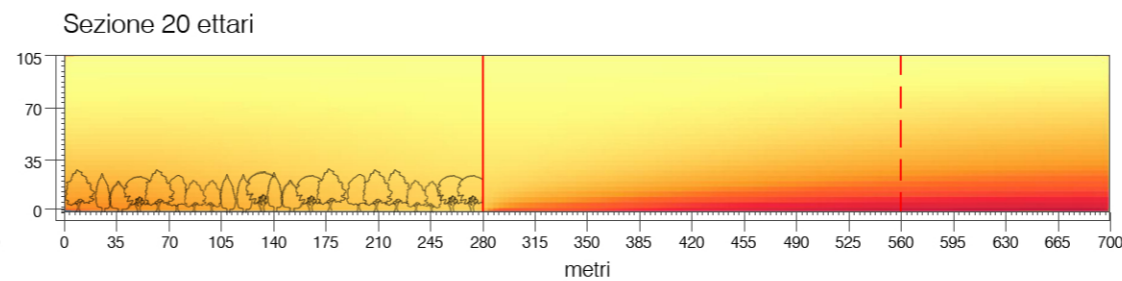
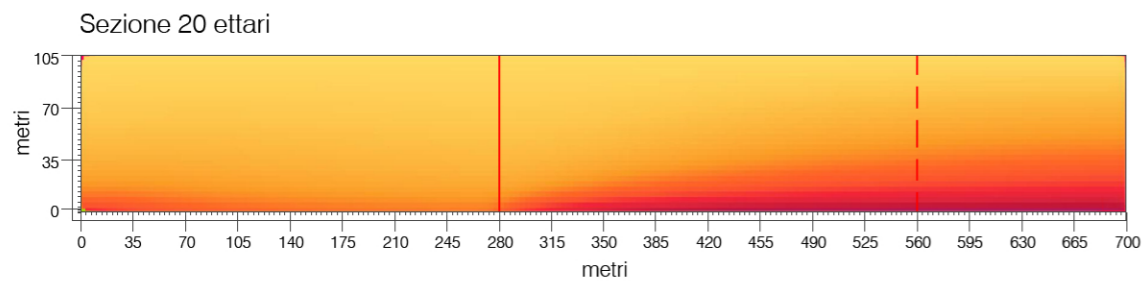
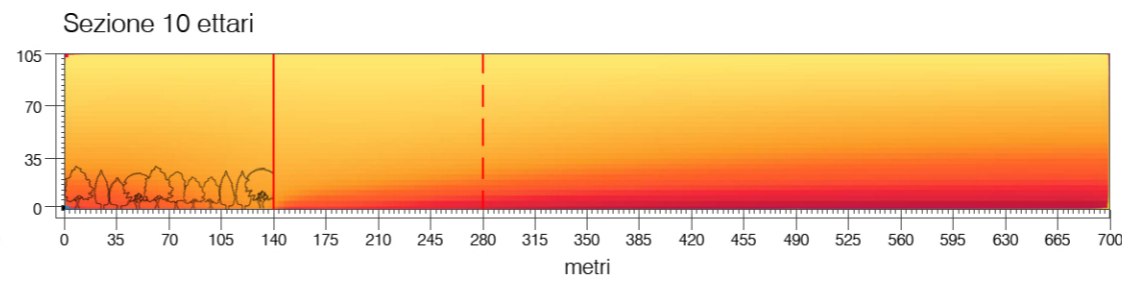
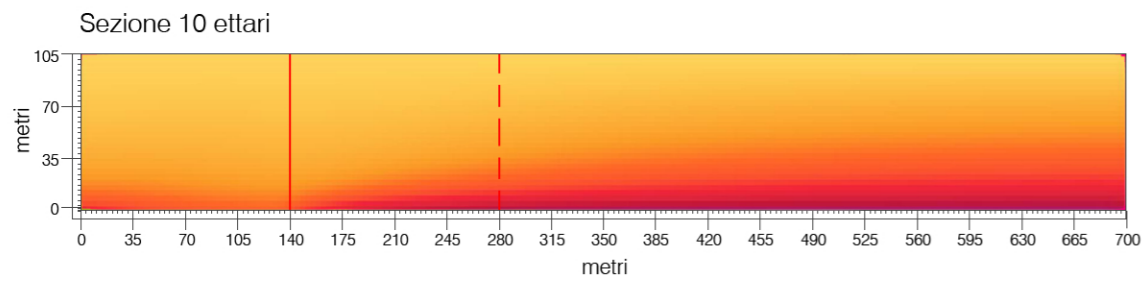
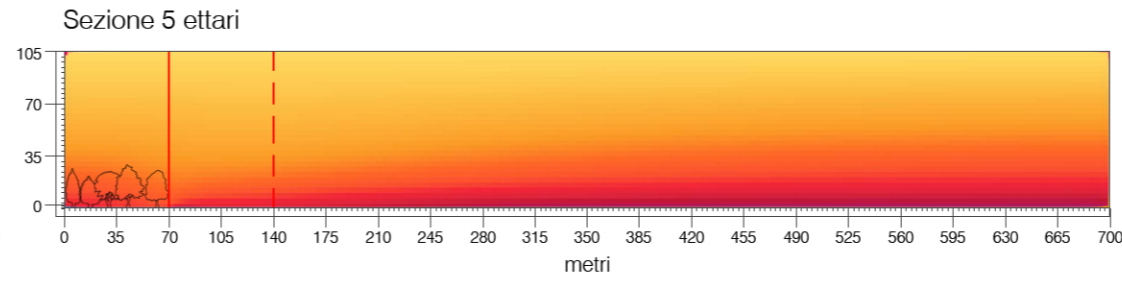
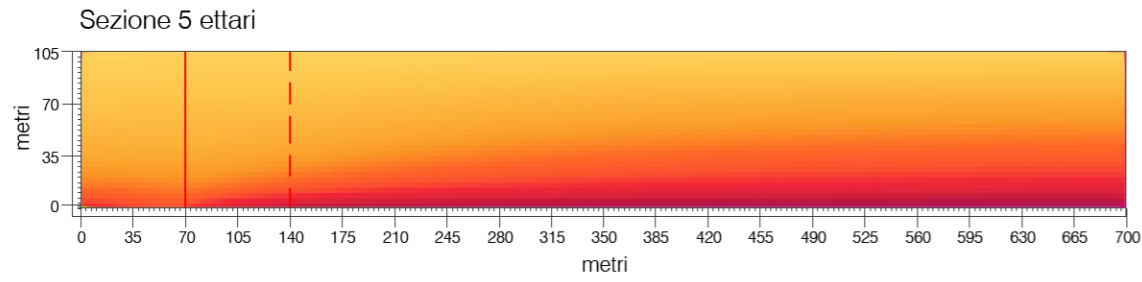
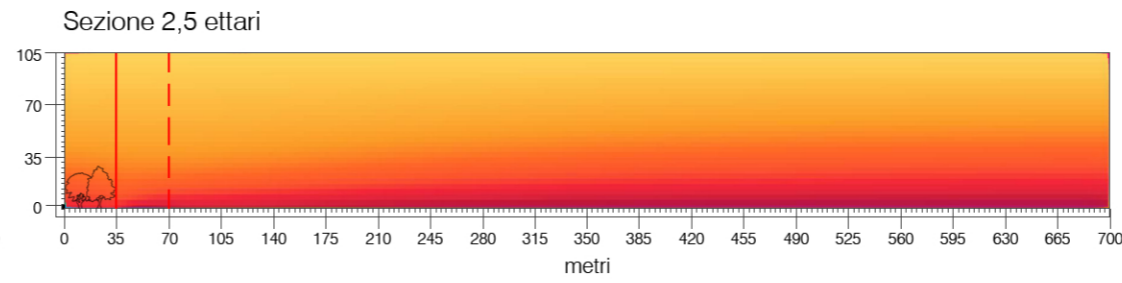
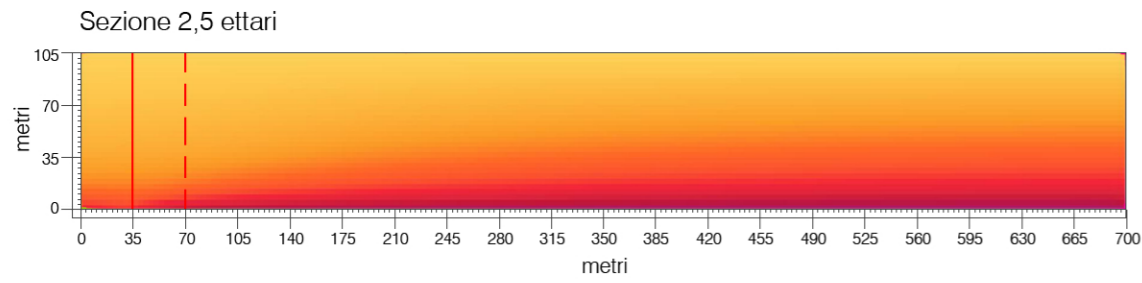
# PRATO

# ALBERI

# TEMPERATURA POTENZIALE

11 LUGLIO 2011

ORE 12:00



Larghezza della vegetazione

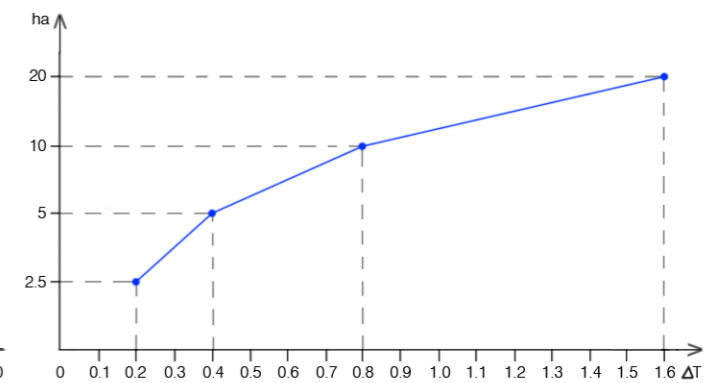
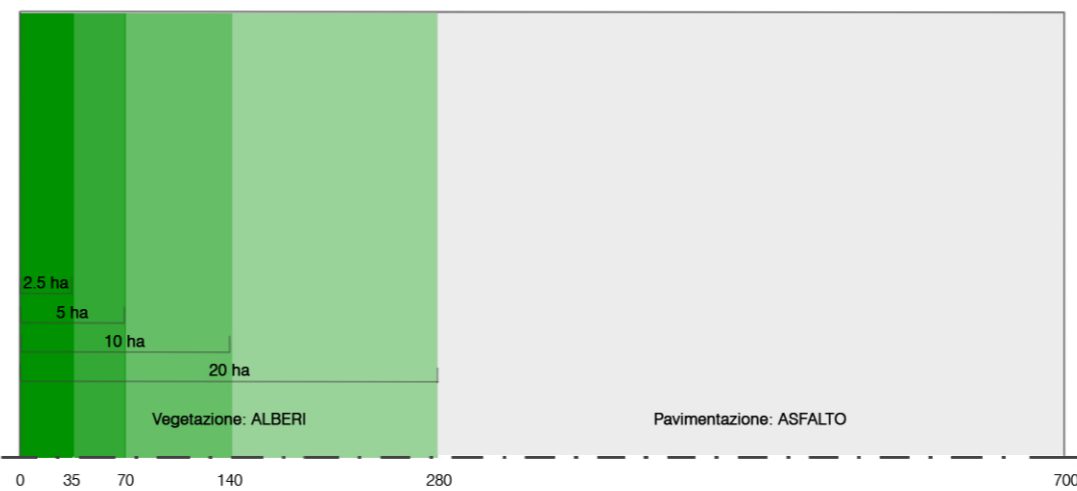
Proiezione della larghezza della vegetazione

La TEMPERATURA POTENZIALE di una particella di fluido alla pressione  $p$  è la temperatura che la particella avrebbe se fosse portata, tramite uno spostamento adiabatico, ad una pressione standard di riferimento  $p_0$ , in genere 1000 millibar. Essa non risente degli spostamenti verticali associati al moto del fluido in zone turbolente o attorno ad ostacoli. L'unità di misura è in gradi Kelvin.

Pianta



Pianta



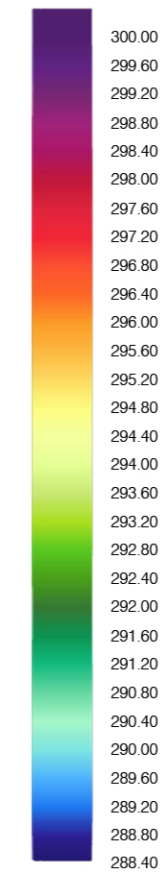
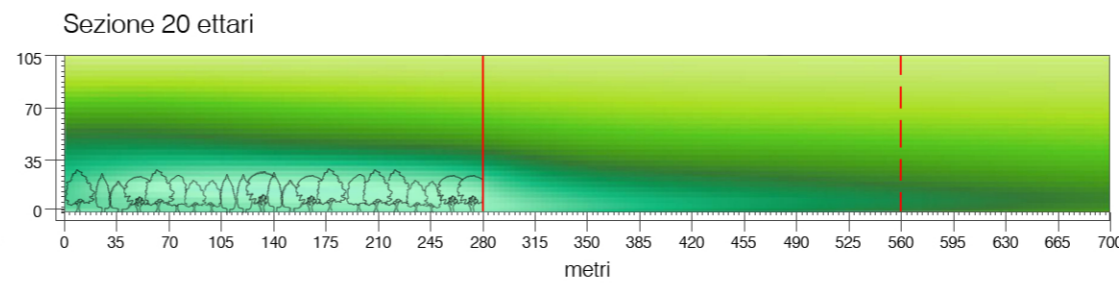
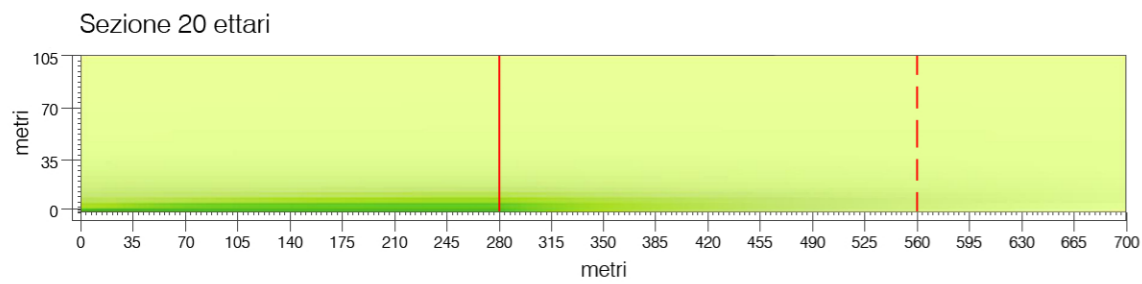
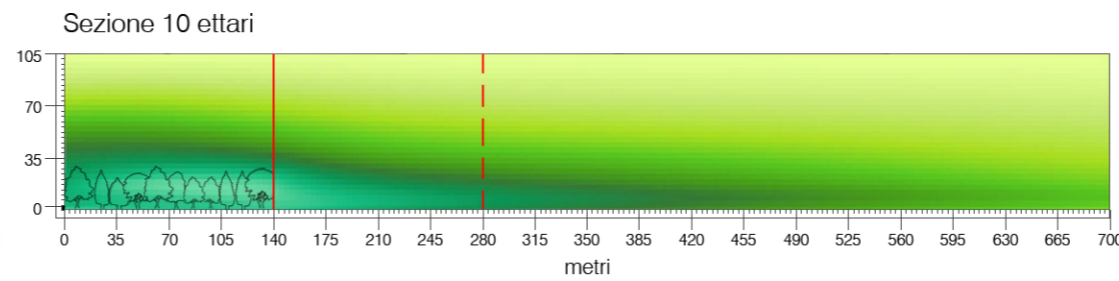
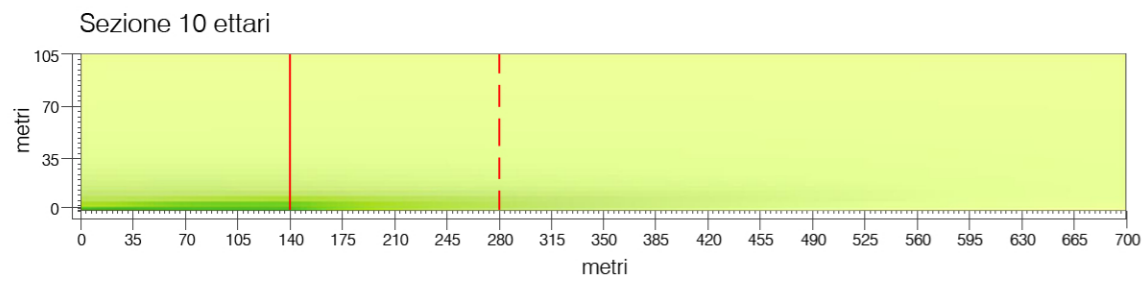
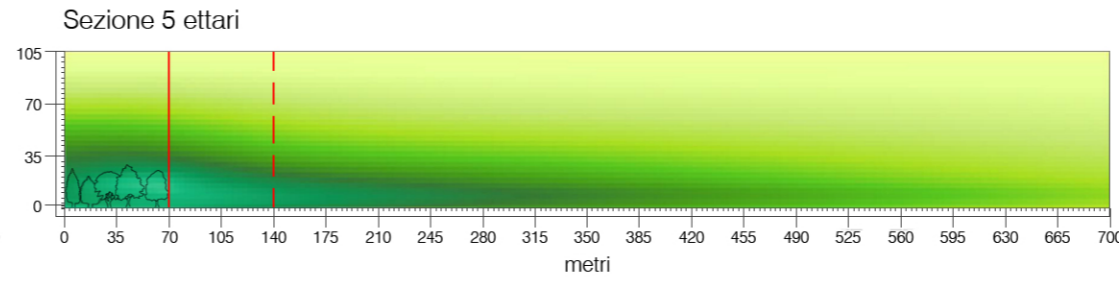
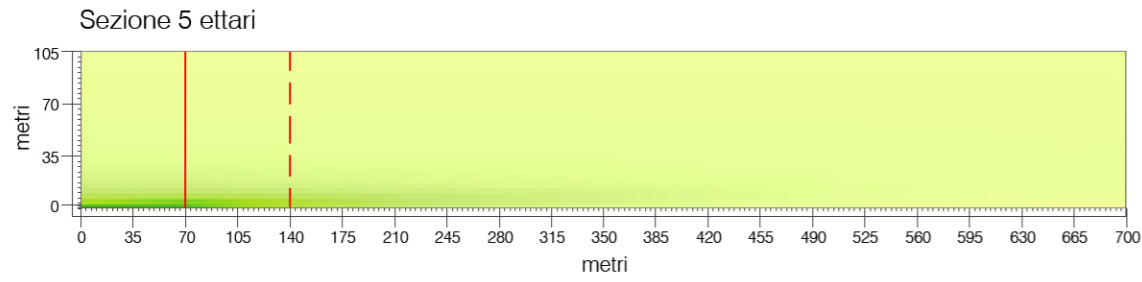
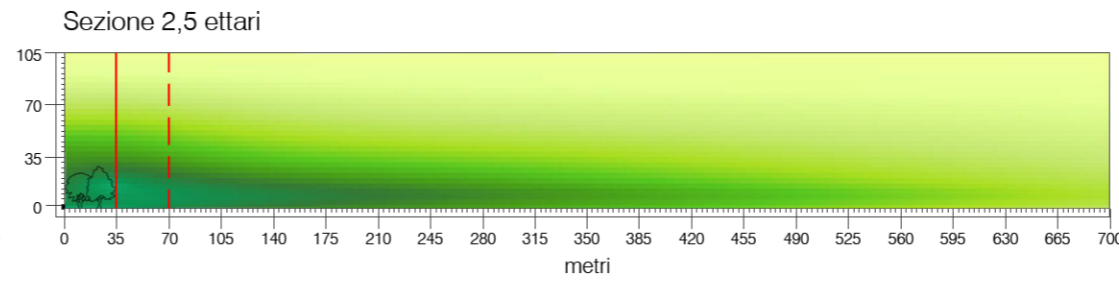
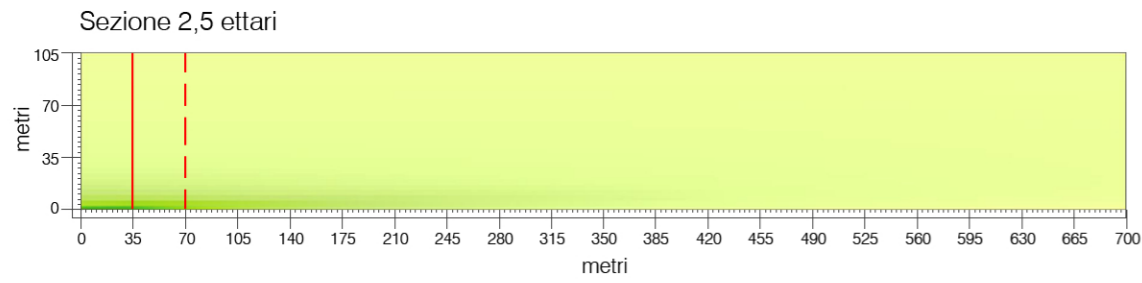
PRATO

ALBERI

TEMPERATURA POTENZIALE

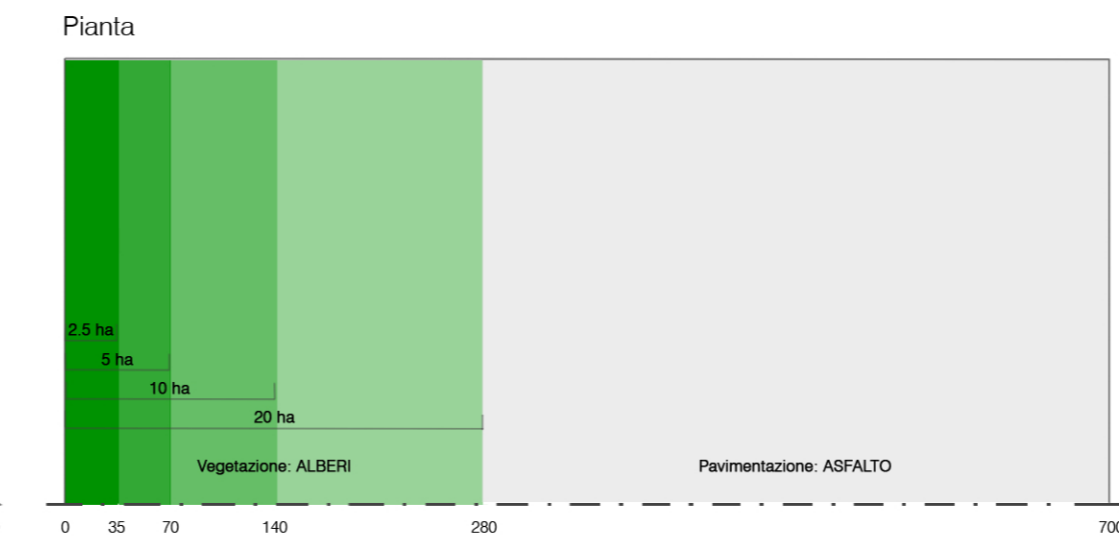
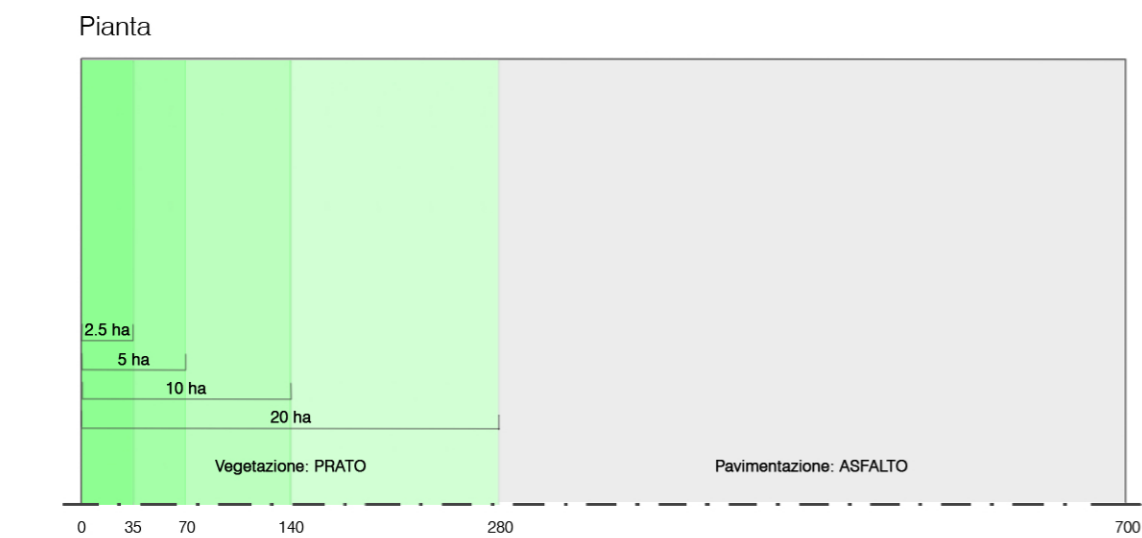
11 LUGLIO 2011

ORE 00:00

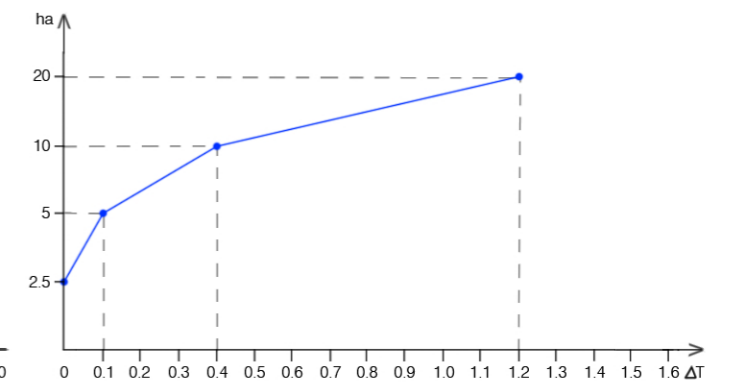


Larghezza della vegetazione

Proiezione della larghezza della vegetazione



I grafici (tavole 01 e 02) mostrano il rapporto tra la dimensione delle aree a verde (in ettari) e la differenza di temperatura ( $\Delta t$ ). La differenza di temperatura viene calcolata misurando la temperatura al centro dell'area alberata e alla distanza corrispondente alla larghezza dell'area verde (linea rossa tratteggiata). Questi grafici vengono costruiti solo per lo scenario "alberi".



Grazie a queste simulazioni si può affermare che:

- un'area ricoperta da alberi ha più influenza sulla diminuzione dell'isola di calore rispetto alla stessa area ricoperta da prato che però, a sua volta, risulta più vantaggiosa rispetto ad una pavimentazione;
- la brezza fresca si propaga per una profondità corrispondente alla larghezza dell'area ricoperta da vegetazione;
- la relazione tra la grandezza del parco e la differenza di temperatura aumenta, all'aumentare della dimensione del verde ma che questo fenomeno tende a stabilizzarsi;
- non è necessario avere una grande area verde per abbassare l'isola di calore urbana in una città ma si possono avere risultati positivi anche con piccole aree verdi collocate alla giusta distanza tra loro.

## ***7.2 Piazza Leonardo da Vinci***

Dopo aver definito, grazie alle precedenti simulazioni, alcune linee guida per la progettazione del verde come strumento di mitigazione dell'isola di calore, se ne vuole verificare la funzionalità all'interno di un sistema urbano.

Si è deciso di analizzare il parco presente in piazza Leonardo da Vinci a Milano perché pur essendo un'area verde di notevole grandezza, non sembra produrre gli effetti simulati precedentemente per quanto riguarda la diminuzione della temperatura dell'aria.

Per quest'area si simuleranno con il software ENVI-met le situazioni analizzate per la definizione delle linee guida:

- scenario 1 – solo prato
- scenario 2 – solo alberi

in modo da avere due risultati limite, minima e massima efficienza dell'area verde.

Successivamente si verifica la situazione attuale per quantificare l'isola di calore esistente e in ultimo si propone una sistemazione del verde in modo da ottenere migliori effetti sulla mitigazione dell'isola di calore urbana.



### 7.2.1 Area di progetto

L'area di progetto è situata all'interno del campus universitario di Città Studi a Milano e delimitata a nord dalla piscina pubblica di via Zanoia, a est da via Ponzio, a sud da via Celoria e infine a ovest da viale Romagna; queste vie inquadrano l'area della facoltà di ingegneria e il parco che caratterizza piazza Leonardo da Vinci in un quadrato di dimensioni di 600x600m.

Quest'area ricade anche all'interno della superficie di progetto Campus Sostenibile, l'iniziativa promossa dal Politecnico e dall'Università degli studi di Milano per trasformare il quartiere universitario in un campus e in una parte di città esemplari per qualità della vita e sostenibilità ambientale, attraverso il contributo attivo dei ricercatori, degli studenti e degli abitanti del quartiere.

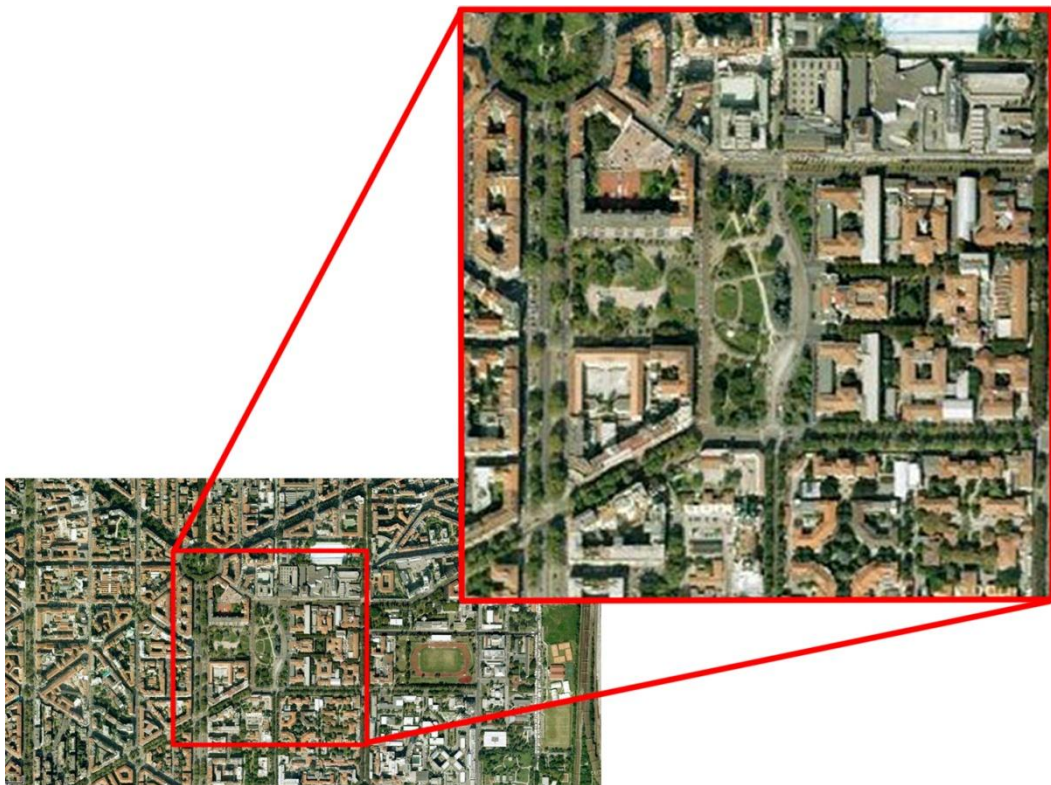


Figura 7.2 - Area di progetto

Non si può di certo dire che all'interno dell'area di progetto ci sia poco verde; oltre al parco di piazza Leonardo da Vinci, è molto presente anche all'interno del Campus tra i diversi padiglioni delle aule, nei cortili e nelle strade di quartiere. Il lato negativo, però, di queste aree a verde è che presentano difetti nella loro composizione. Dalle precedenti simulazioni, sulle dimensioni del verde urbano, si è potuto verificare come le aree ricoperte da alberi riducano maggiormente, grazie all'ombreggiamento, gli effetti dell'isola di calore sull'innalzamento della temperatura media dell'aria rispetto alla stessa superficie ricoperta da prato. Il verde all'interno di piazza Leonardo da Vinci è per la maggior parte caratterizzato da superfici a prato con pochi e sparsi alberi che non creano adeguate zone d'ombra, fondamentali per innescare il fenomeno per la creazione della brezza fresca.



Figura 7.3 - Il verde presente nell'area di progetto

### 7.2.2 Simulazioni con ENVI-met: scenario prato e alberi

Primo passo per effettuare le simulazioni con il software ENVI-met è creare il modello dell'area di studio. Alla griglia del software si attribuisce un fattore di scala corrispondente a 2.5 per le dimensioni sulle coordinate x e y e un fattore 2 per le coordinate z, in modo da rientrare nei parametri limite del software. In questo caso i fattori di scala sono diversi perché, non essendoci palazzi alti nell'area di progetto, il modello non supera i 30m di altezza quindi si può utilizzare un valore più comodo. Una volta impostato il fattore di scala per la creazione della griglia, impostata la località dell'area di studio tra quelle disponibili nel software, in questo caso Milano, si inserisce l'immagine dell'area di progetto (per comodità, non è un passaggio obbligatorio) e si inizia a creare il modello. Vengono in primo luogo creati gli edifici perché, avendo ognuno altezza e caratteristiche differenti, sono la parte un po' più complessa e lunga della composizione del modello; una volta conclusa la costruzione degli edifici viene attribuito al terreno sottostante l'opzione "terreno di default" che corrisponde al terreno comune (come spiegato in precedenza). Lo stesso procedimento viene utilizzato per le strade, alle quali viene attribuito il valore di "strada asfaltata" e per le pavimentazioni,

dove viene usata l'opzione "pavimentazione in calcestruzzo".

Questo sarà il modello comune a tutte le simulazioni (prato, alberi, stato di fatto e proposta progettuale).

Entrando, invece, nel dettaglio del verde si è deciso di studiare gli effetti che differenti tipologie di vegetazione hanno sulla mitigazione dell'isola di calore urbana all'interno del Campus. A questo proposito vengono effettuate due differenti analisi:

- scenario 1 – solo prato, le aree a verde che caratterizzano l'area presa in esame, vengono ricoperte interamente di prato (non sono presenti alberi nel modello);
- scenario 2 – solo alberi, le aree a verde vengono ricoperte da alberi (non è presente prato nel modello).

Si è scelto di simulare inizialmente questi due scenari per proseguire con il discorso iniziato in precedenza sulla dimensione del verde urbano in modo da poter ricavare dei "valori limite" che ci permetteranno di identificare le prestazioni minime (scenario prato) e massime (scenario alberi) del verde sulla mitigazione dell'isola di calore urbana e inoltre sarà possibile misurare la profondità di propagazione dell'effetto di brezza fresca delle due differenti situazioni all'interno di questa porzione di città, in modo da avere dati sufficienti per proporre una adeguata sistemazione del verde.

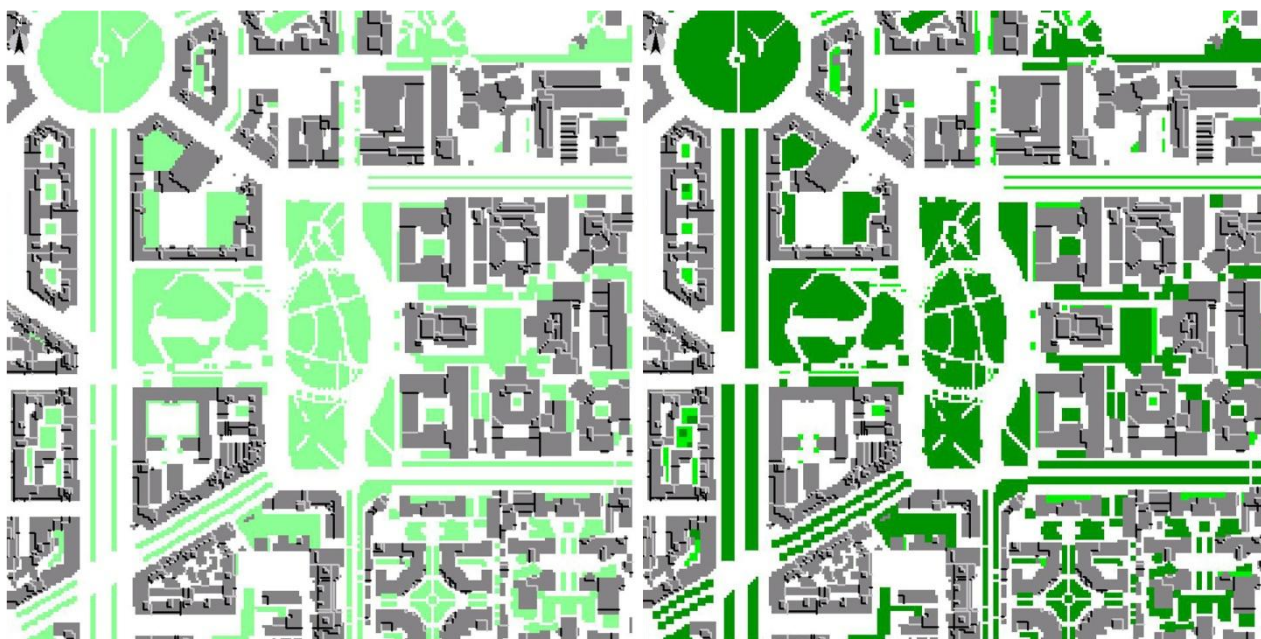


Figura 7.4 - Scenario 1: prato

Figura 7.5 - Scenario 2: alberi

È molto importante sottolineare che, anche se cambiano le tipologie di vegetazione, non viene alterata la superficie da essa coperta, ma viene solo modificata restando, quindi, della stessa metratura. Dove non è presente, il verde non viene inserito. In questo modo sarà possibile

quantificare la riduzione della temperatura media dell'aria e la propagazione di questo effetto all'interno della città, derivante dalle diverse superfici verdi. Il software ENVI-met permette di scegliere la tipologia di verde da inserire nel modello: nel caso dello scenario 1 viene utilizzata l'opzione "erba", mentre per lo scenario 2 viene utilizzata la tipologia "alberi alti fino a 20m, chiome distinte" (le stesse utilizzate per le simulazioni precedenti). Anche qui, come nel caso degli edifici, sotto ogni superficie a verde per i diversi scenari verrà inserito il "terreno di default". Una volta conclusa la creazione dei modelli delle aree di studio, il software prevede l'inserimento di alcuni dati fondamentali quali il giorno della simulazione, la durata della simulazione, la direzione del vento, la velocità del vento, ecc... . Essendo l'isola di calore un fenomeno negativo soprattutto nel periodo estivo, il giorno della simulazione è stato scelto grazie ai dati delle rilevazioni meteorologiche messe a disposizione dall'ARPA di Milano, dove è stato possibile richiedere le temperature medie del mese di luglio 2011 delle stazioni di rilevamento di Milano Brera e Milano Lambrate.

Luglio 2011	Brera (°C)	Lambrate (° C)	$\Delta T$ (°C)
1	-	21.1	-
2	-	19.0	-
3	-	20.0	-
4	-	21.4	-
5	25.6	22.3	3.3
6	26.6	23.5	3.1
7	25.1	21.9	3.2
8	25.4	21.4	4
9	27.4	23.1	4.3
10	28.1	23.9	4.2
<b>11</b>	<b>27.8</b>	<b>23.0</b>	<b>4.8</b>
12	28.7	24.3	4.4
13	26.0	22.3	3.7
14	25.7	21.9	3.8
15	25.2	22.4	2.8
16	24.1	21.1	3
17	23.4	19.9	3.5
18	23.4	20.3	3.1
19	20.1	17.2	2.9
20	21.8	18.9	2.9
21	23.4	20.0	3.4
22	24.1	20.6	3.5
23	21.4	18.1	3.3
24	21.5	18.2	3.3
25	21.7	17.6	4.1
26	22.0	18.0	4
27	21.5	18.2	3.3
28	22.8	19.3	3.5
29	24.1	20.6	3.5
30	24.9	21.8	3.1
31	24.8	21.1	3.7

← Giorno scelto per le simulazioni  
11 luglio 2011

Tabella 6 - Temperature medie giornaliere delle stazioni di rilevamento di Milano Brera e Lambrate (fonte: ARPA Lombardia)

Sono state scelte queste due località per verificare la differenza di temperatura ( $\Delta T$ ) tra il centro urbano e la periferia. Dopo aver confrontato il  $\Delta T$  di tutti i giorni del mese di luglio, è stato scelto il giorno dove viene registrata la più alta differenza di temperatura (4,8°C): 11 luglio 2011.

Vengono di seguito riportati i principali dati inseriti per le simulazioni:

- giorno della simulazione: 11 luglio 2011
- ora di inizio della simulazione: 06:00
- durata della simulazione: 24 ore
- velocità del vento: 1,5m/s
- direzione prevalente del vento: sud-ovest
- temperatura iniziale: 293K
- albedo muri: 0.5
- albedo coperture: 0.7

Una volta conclusa la preparazione dei modelli di simulazione e inseriti gli opportuni dati all'interno del software, le simulazioni possono avere inizio.

### *7.2.3 Risultati ottenuti*

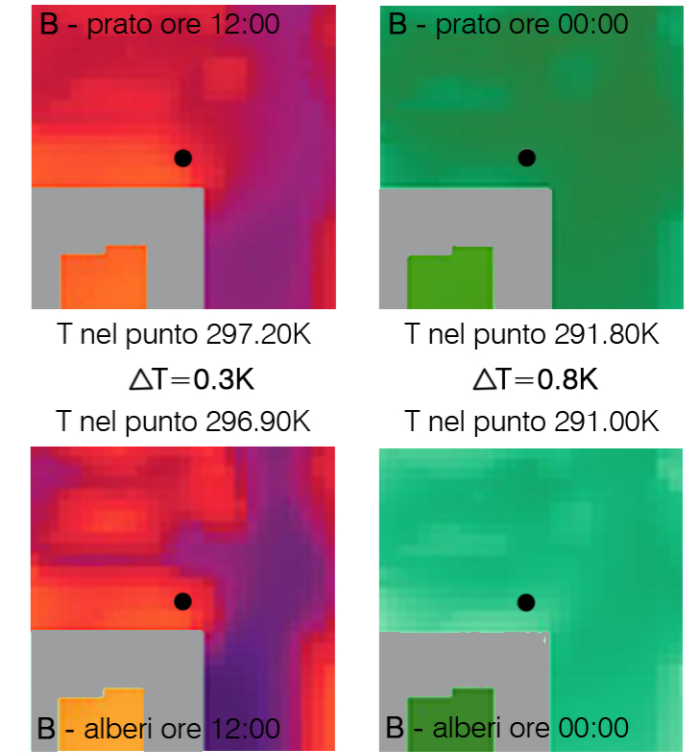
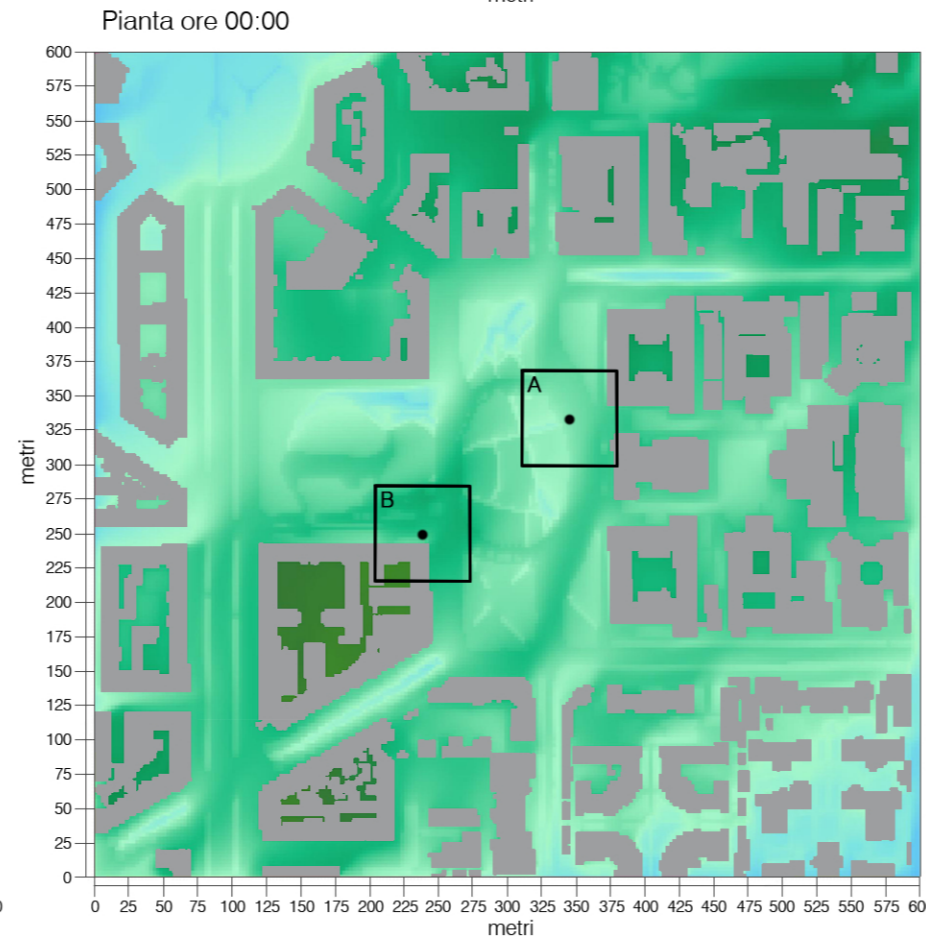
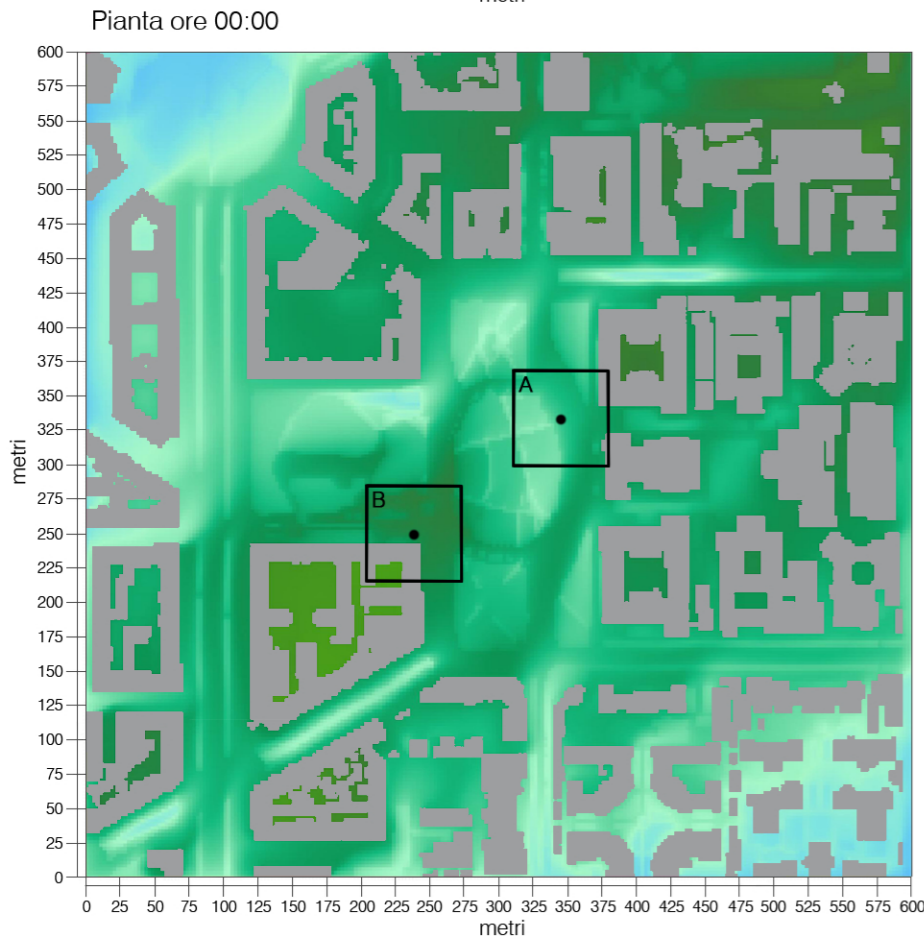
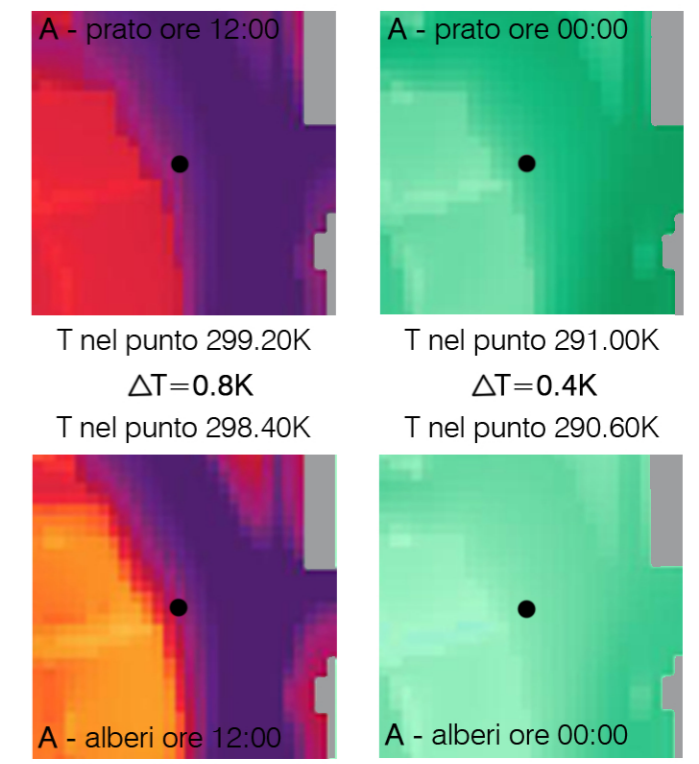
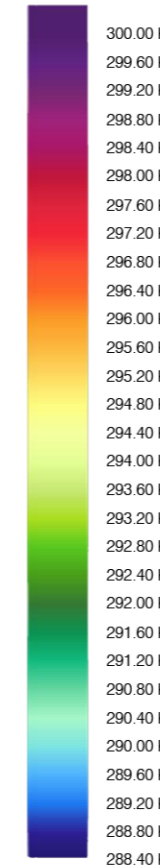
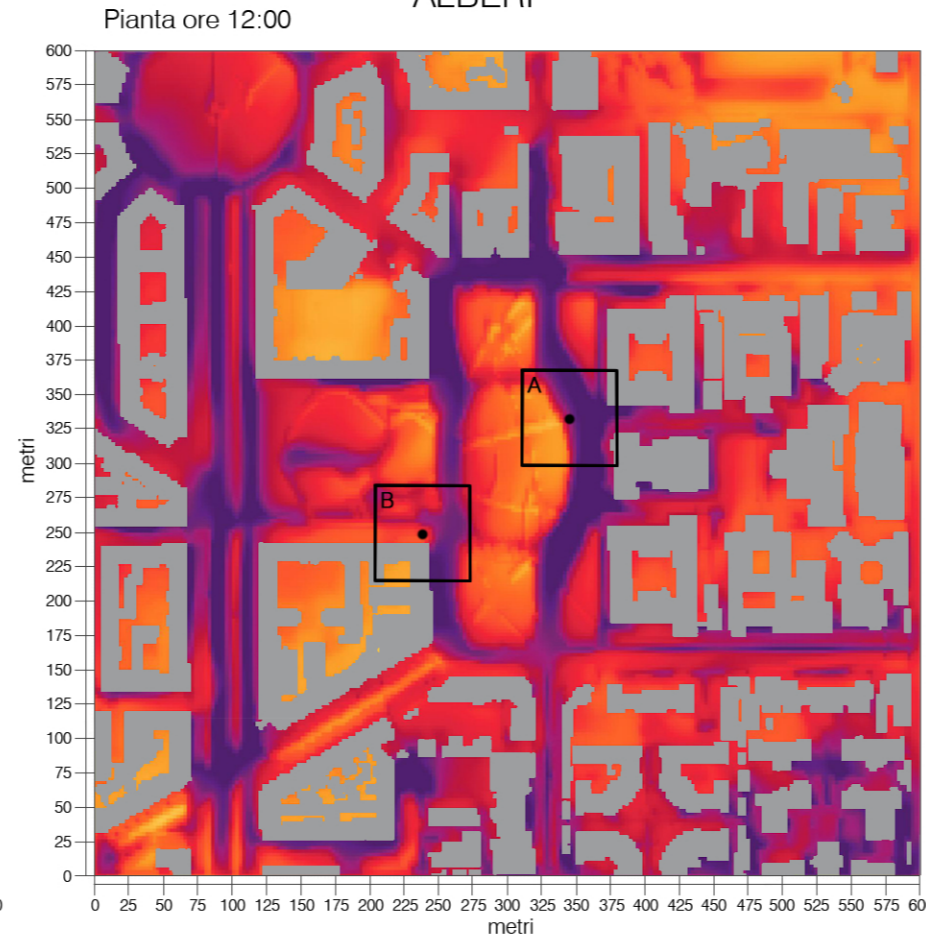
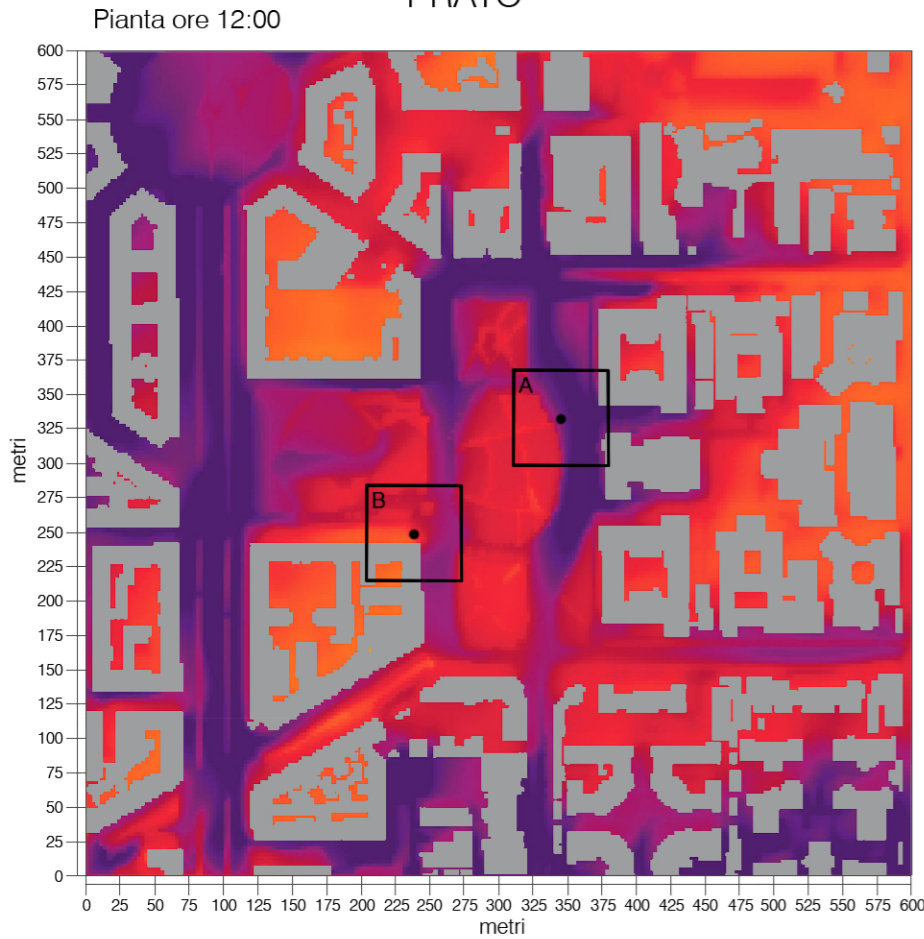
Come per le simulazioni riguardanti la dimensione del verde urbano, tra tutti i risultati che il software fornisce, la temperatura potenziale è lo strumento che più degli altri ci permette di verificare gli effetti della vegetazione sulla mitigazione dell'isola di calore urbana. Vengono messe a confronto le situazioni giornaliere alle ore 12:00 e le situazioni notturne alle ore 00:00 per gli scenari 1 e 2. Dai grafici ottenuti è possibile verificare, sia per tutta l'area di progetto, sia in alcuni precisi punti della piazza Leonardo da Vinci (tavola 03 e 04 punti A-B-C-D), come la situazione prato sia meno vantaggiosa rispetto alla situazione alberi. Nello specifico delle simulazioni, alle ore 12:00 si vede come gli alberi abbassano maggiormente le temperature delle aree verdi, mentre alle ore 00:00 si riscontra la creazione da parte di quest'ultimi del fenomeno della brezza fresca, che si propaga per tutta l'area in esame abbassando la temperatura media dell'aria di tutta la piazza Leonardo da Vinci. La situazione prato è sicuramente meno vantaggiosa rispetto alla precedente ma allo stesso tempo influisce in modo positivo sulle temperature rispetto alle parti pavimentate, soprattutto quelle di colore scuro come l'asfalto.

PRATO

ALBERI

TEMPERATURA POTENZIALE

11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00

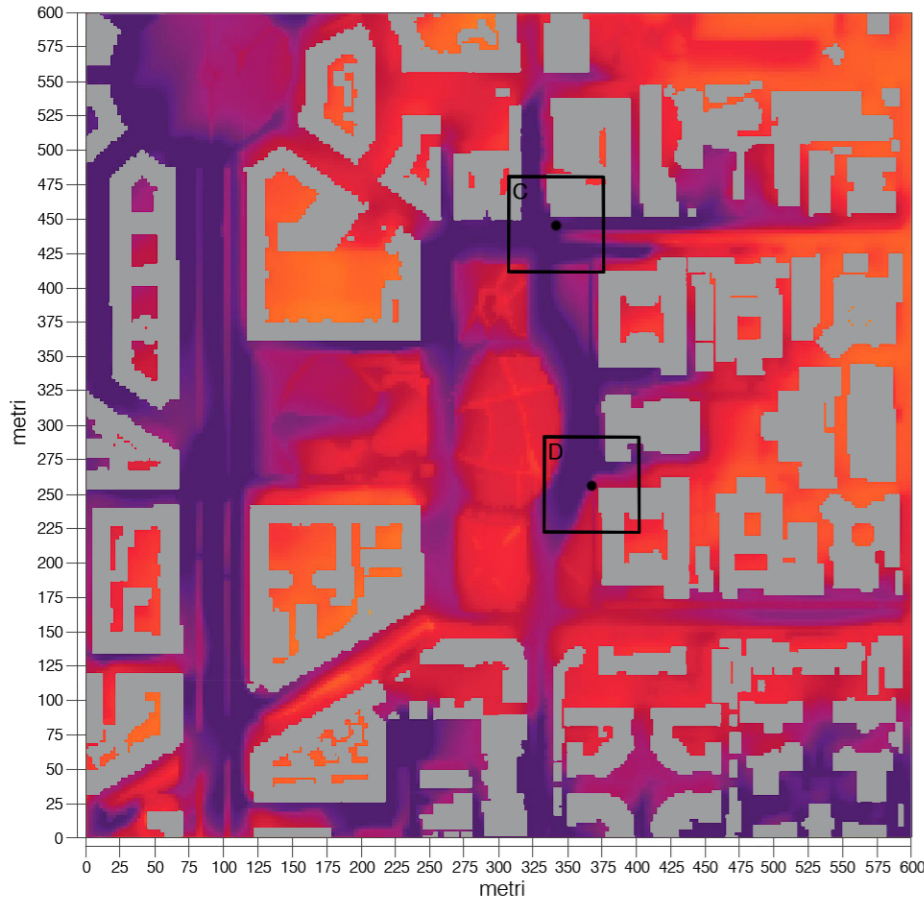


Dai risultati riportati è possibile osservare che la soluzione alberi è migliore rispetto alla soluzione prato perchè, sia di giorno che di notte, si registrano temperature più basse. A destra vengono evidenziati due precisi punti della piazza, A e B, in modo da rendere più intuitivo e veloce il confronto tra le diverse situazioni; vengono inoltre riportate le corrispondenti differenze di temperatura.

Calcolo della differenza di temperatura nei punti A e B tra le ore 12:00 e le 00:00

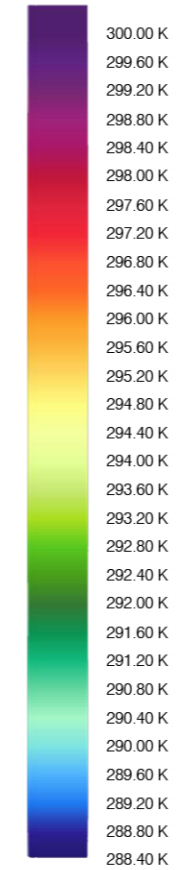
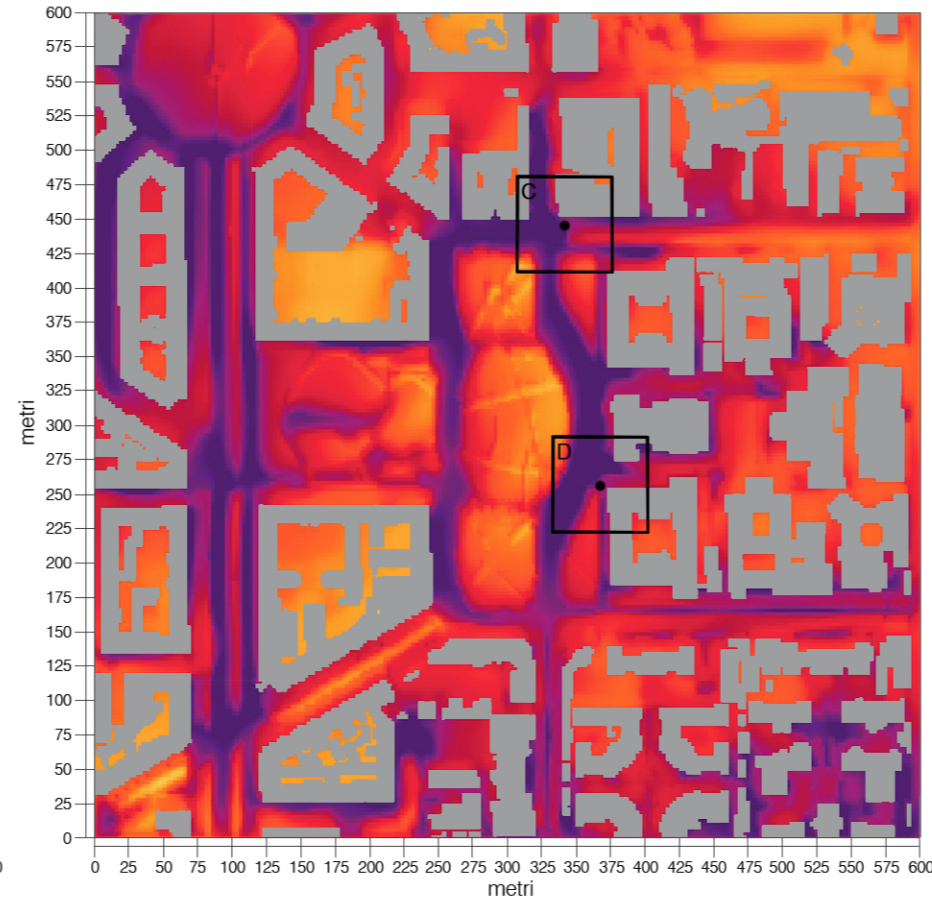
PRATO

Pianta ore 12:00



ALBERI

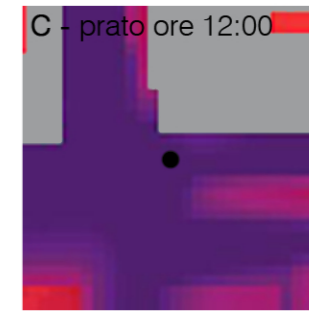
Pianta ore 12:00



TEMPERATURA POTENZIALE

11 LUGLIO 2011

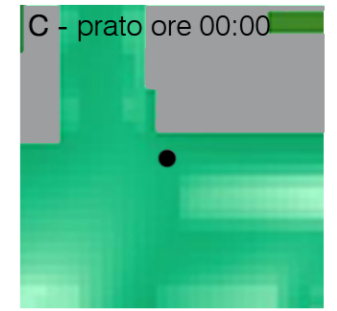
ORE 12:00 e 00:00



T nel punto 300.00K

$\Delta T = 1K$

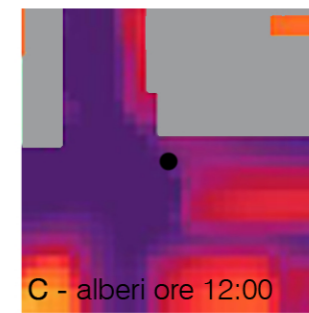
T nel punto 299.00K



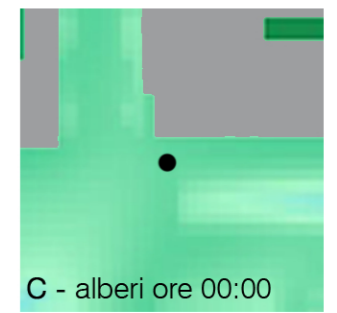
T nel punto 291.30K

$\Delta T = 0.5K$

T nel punto 290.80K

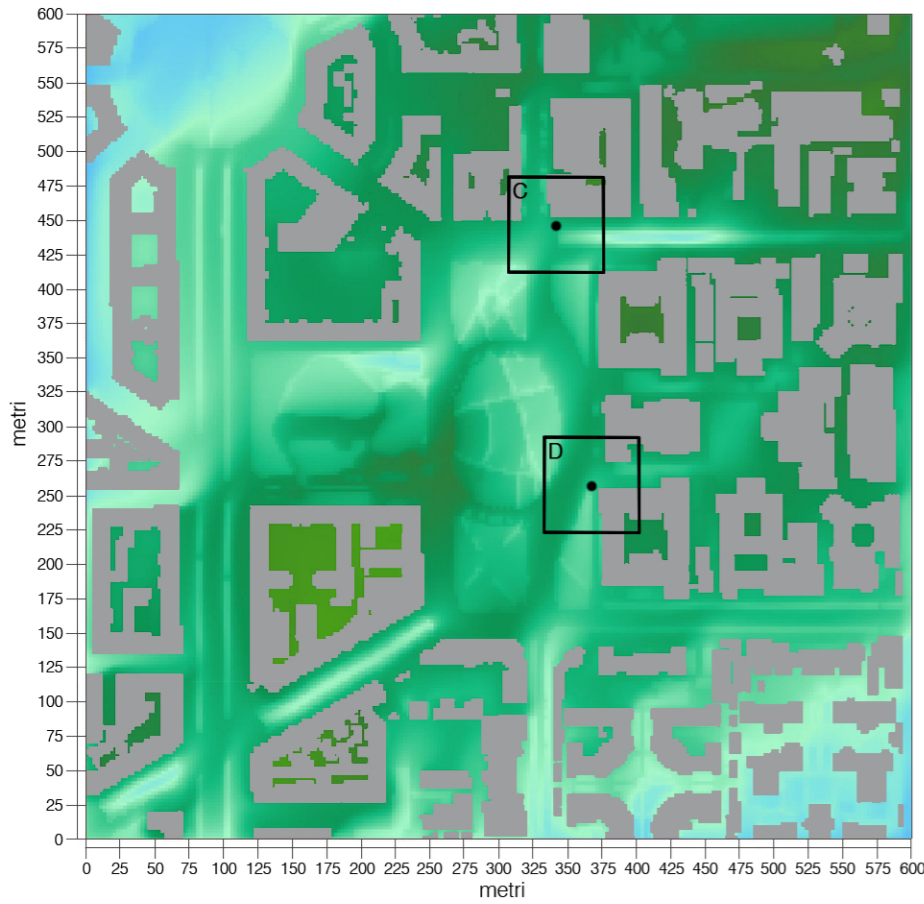


C - alberi ore 12:00

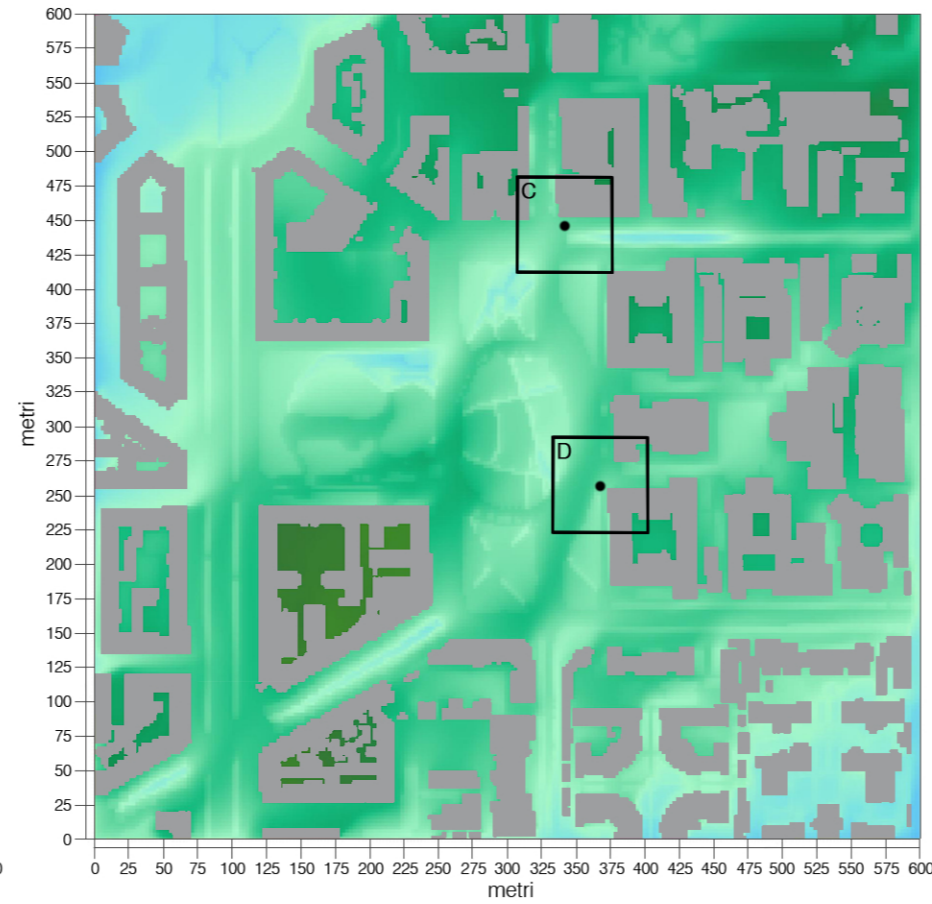


C - alberi ore 00:00

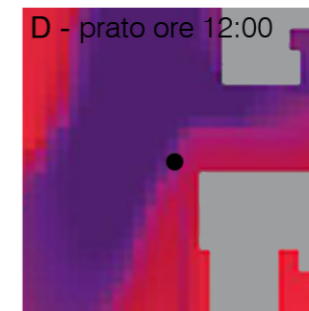
Pianta ore 00:00



Pianta ore 00:00



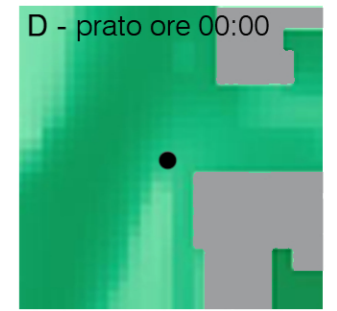
Vengono qui analizzati altri due zoom sulla piazza per gli scenari prato e alberi. Le temperature vengono rilevate al centro di ogni area considerata sia per la situazione giorno, sia per la situazione notte; successivamente viene calcolata la differenza di temperatura che si verifica nelle due situazioni. Come per i punti precedentemente analizzati lo scenario alberi porta più vantaggi sia per quanto riguarda un minor riscaldamento delle superfici, sia per un generale abbassamento delle temperature dell'aria. In generale si può affermare che c'è una differenza di temperatura di circa 1K tra lo scenario prato e lo scenario alberi.



T nel punto 299.30K

$\Delta T = 0.8K$

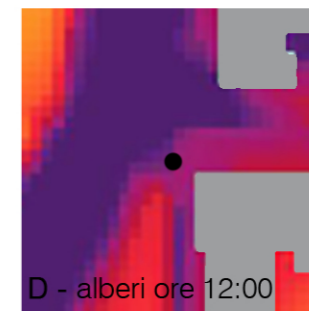
T nel punto 298.50K



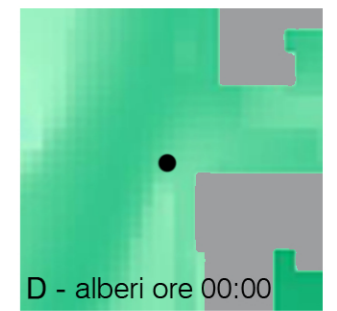
T nel punto 291.20K

$\Delta T = 0.6K$

T nel punto 290.60K



D - alberi ore 12:00



D - alberi ore 00:00

Calcolo della differenza di temperatura nei punti C e D tra le ore 12:00 e le 00:00

Sui risultati ottenuti, oltre alla diversa tipologia di verde, influisce molto l'albedo dei materiali che caratterizzano l'area di progetto.

L'albedo è quella frazione della radiazione globale che viene riflessa dalla superficie che la riceve; esso varia considerevolmente in relazione al colore, alla struttura e all'umidità della superficie.

I materiali più compatti e con i colori più scuri avranno un albedo basso quindi riflettono meno la radiazione e immagazzinano più calore durante il giorno.

Nell'area di progetto vi sono molte strade, aree adibite a parcheggio, ampie pavimentazioni tutte ricoperte da asfalto che durante la giornata trattengono calore e lo rilasciano durante le ore notturne aumentando così l'effetto di isola di calore.

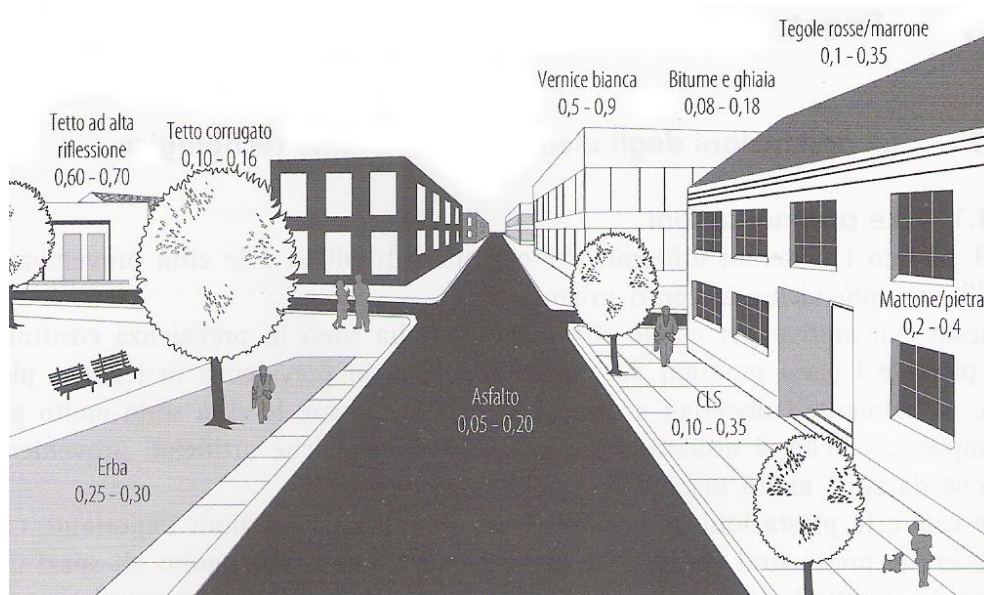


Figura 7.6 - Valori di albedo degli elementi che costituiscono le superfici urbane (fonte: Dessì 2007)

Si può verificare questo fenomeno, grazie ai particolari A-B-C-D presenti nelle tavole 03 e 04 dove, in generale, si registra una differenza di temperatura di circa 1K tra i punti analizzati su una pavimentazione posta nelle vicinanze di una superficie ricoperta da prato e la stessa ricoperta da alberi. Questa differenza di temperatura è molto importante perché da qui si innesca un meccanismo per il quale la superficie asfaltata vicino al verde "alberi" è circa 1K più fresca rispetto al verde "prato", quindi rilascia meno calore nell'aria abbassandone la temperatura e di conseguenza diminuendo il fenomeno dell'isola di calore.

Moltiplicando questo risultato per tutte le aree asfaltate o pavimentate presenti si otterrà una diminuzione di temperatura in tutta l'area considerata dallo studio.

Grazie a questi risultati è possibile andare ad intervenire in alcuni precisi punti del verde di piazza Leonardo da Vinci per ottimizzare le capacità della vegetazione.

È bene sottolineare che non si propone un nuovo progetto per la piazza, ma, studiandone solo il verde che la compone, si propone una "sistemazione" della vegetazione attuale ai fini del miglioramento delle temperature dell'aria.



#### 7.2.4 Simulazioni con ENVI-met: scenario stato di fatto e proposta progettuale

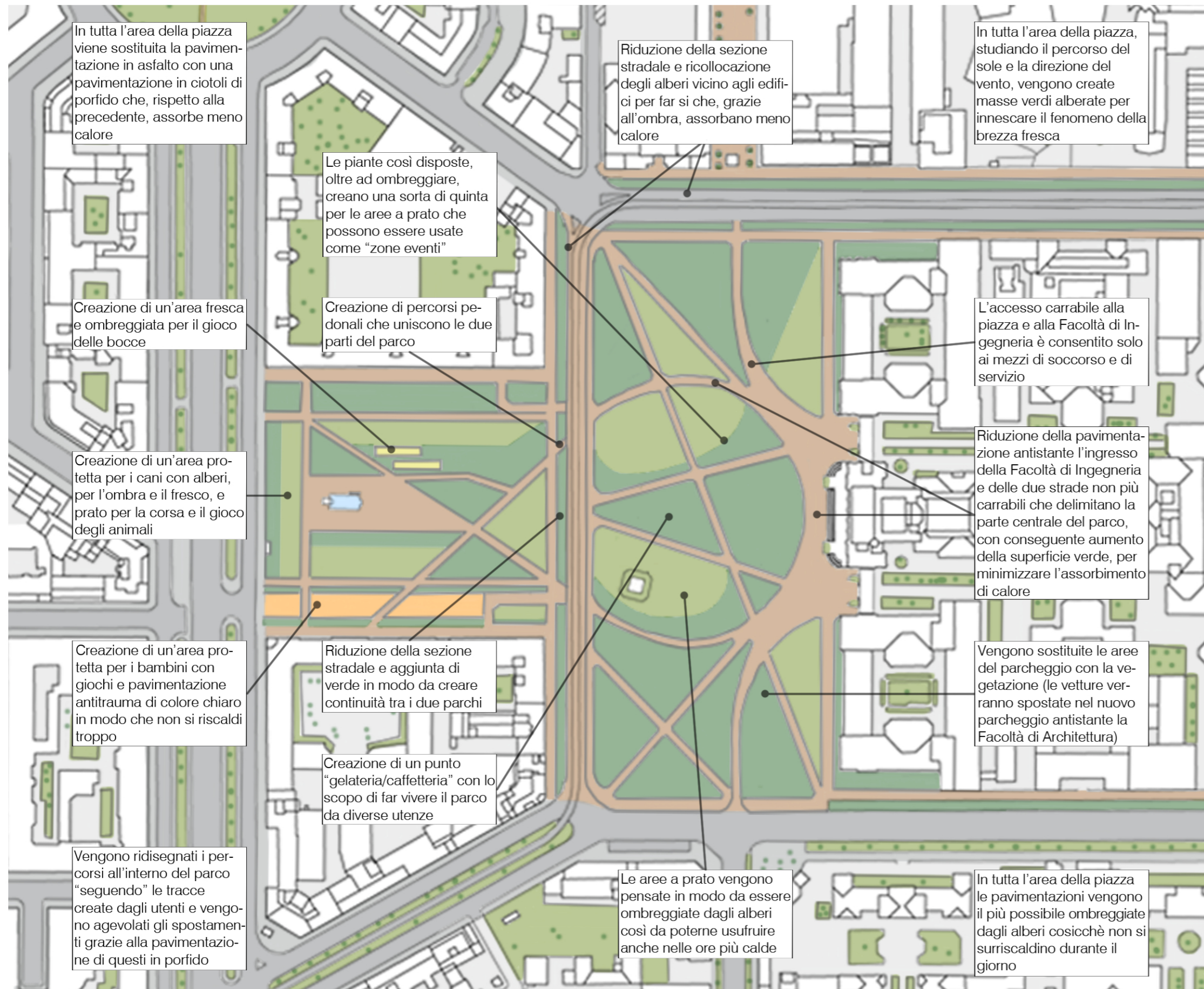
Rielaborando i risultati ottenuti dalle simulazioni svolte fin'ora, si ottengono le linee guida che si intendono seguire nella fase progettuale:

- un'area ricoperta da alberi darà, per quanto concerne la mitigazione dell'isola di calore, risultati più vantaggiosi rispetto ad un prato;
- consapevoli del fatto che in una città non si possono creare boschi, o quanto meno non ovunque, è bene progettare il verde collocando aree a prato e alberate nei luoghi più opportuni e rispettando le diverse esigenze dei fruitori;
- gli alberi con la loro ombra, se collocati vicino agli edifici o alle pavimentazioni scure, possono proteggere le superfici e fare in modo che assorbano meno calore durante il giorno e quindi ne rilascino meno durante la notte;
- pavimentazioni naturali o materiali chiari per i rivestimenti degli edifici sono da preferire a materiali con colori scuri che assorbono più calore;
- è importante verificare il percorso del sole all'interno dell'area di progetto e quindi studiare le ombre che la vegetazione e gli edifici creano;
- è bene valutare la provenienza del vento all'interno dell'area di progetto per aiutare la brezza fresca che si crea nelle ore notturne a propagarsi all'interno dell'area urbana e quindi evitando il più possibile ostacoli che ne possano intralciare il percorso;
- non sono necessarie grandi estensioni di vegetazione per avere effetti sulla mitigazione dell'isola di calore ma sono efficienti anche piccole aree verdi;
- collocare le aree verdi alla giusta distanza (corrispondente circa alla larghezza dell'area stessa) in modo che gli effetti si "tocchino" tra loro e si crei continuità per il fenomeno dell'abbassamento di temperatura.

Vengono ora messe a confronto la situazione attuale di piazza Leonardo da Vinci e l'ipotesi di progetto. Le modifiche apportate riguardano:

- la dimensione e la posizione della vegetazione all'interno del parco/piazza;
- la dimensione dei percorsi che attraversano il parco e i loro materiali;
- le strade che attraversano l'area di progetto correggendone la posizione del verde;
- la collocazione di nuove funzioni che creino unità nel parco eliminando l'invisibile confine che oggi divide il parco antistante l'ingresso alla Facoltà di Ingegneria da quello della scuola elementare.

PIAZZA LEONARDO DA VINCI  
APPLICAZIONE SPERIMENTALE



Vengono qui riportati i focus principali seguiti per la sistemazione del verde di piazza Leonardo da Vinci.

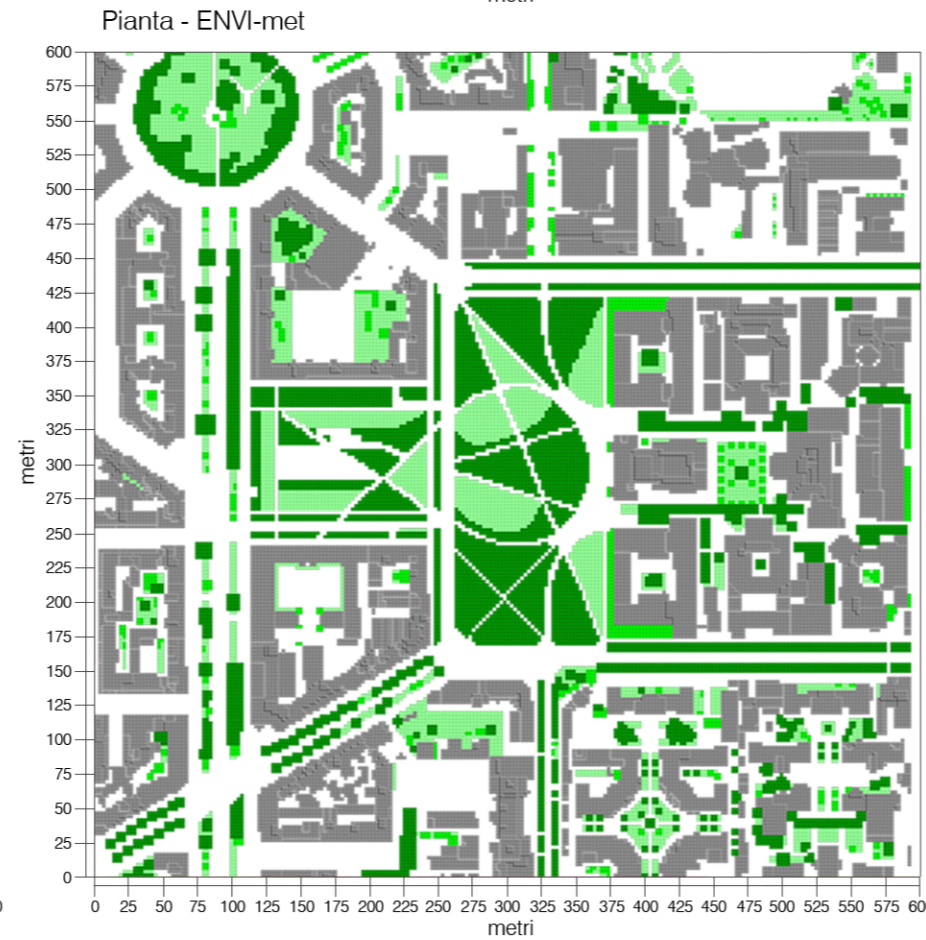
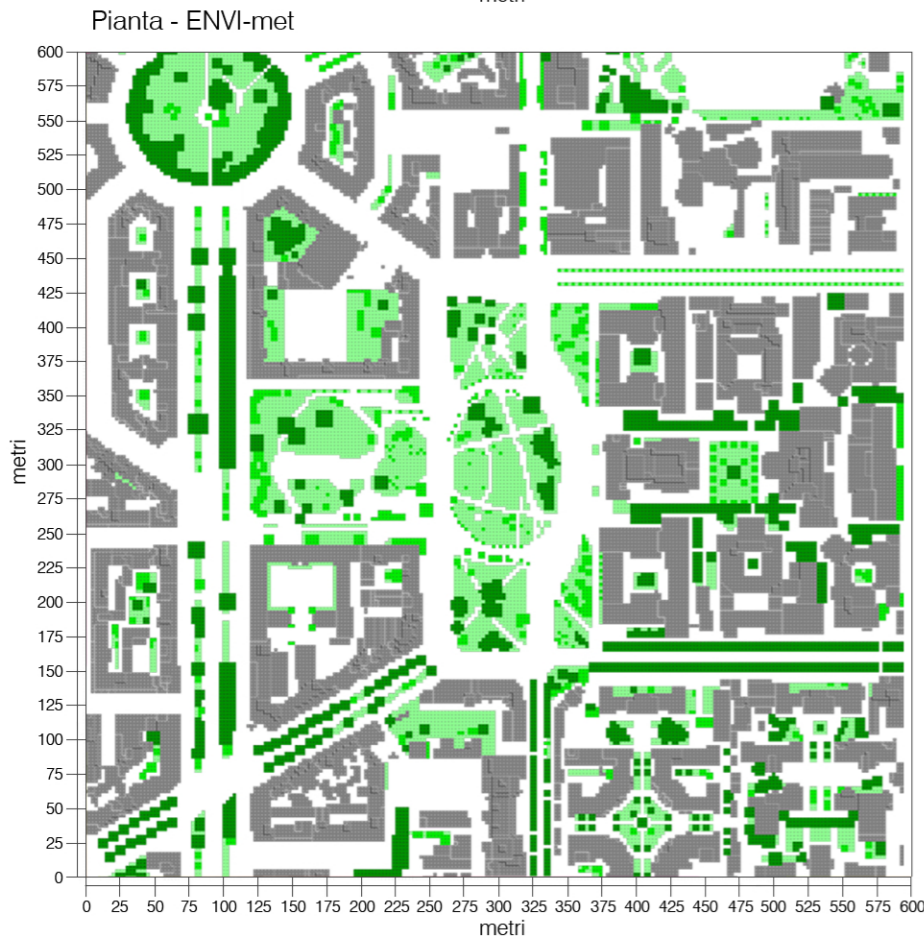
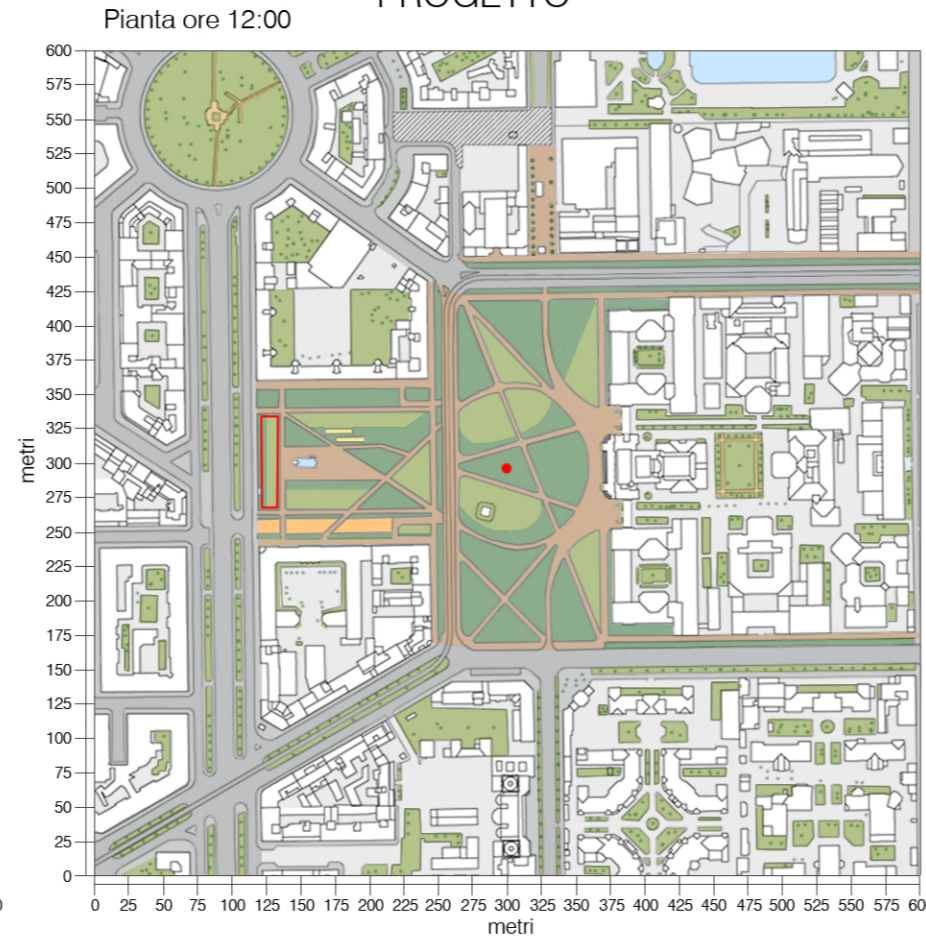
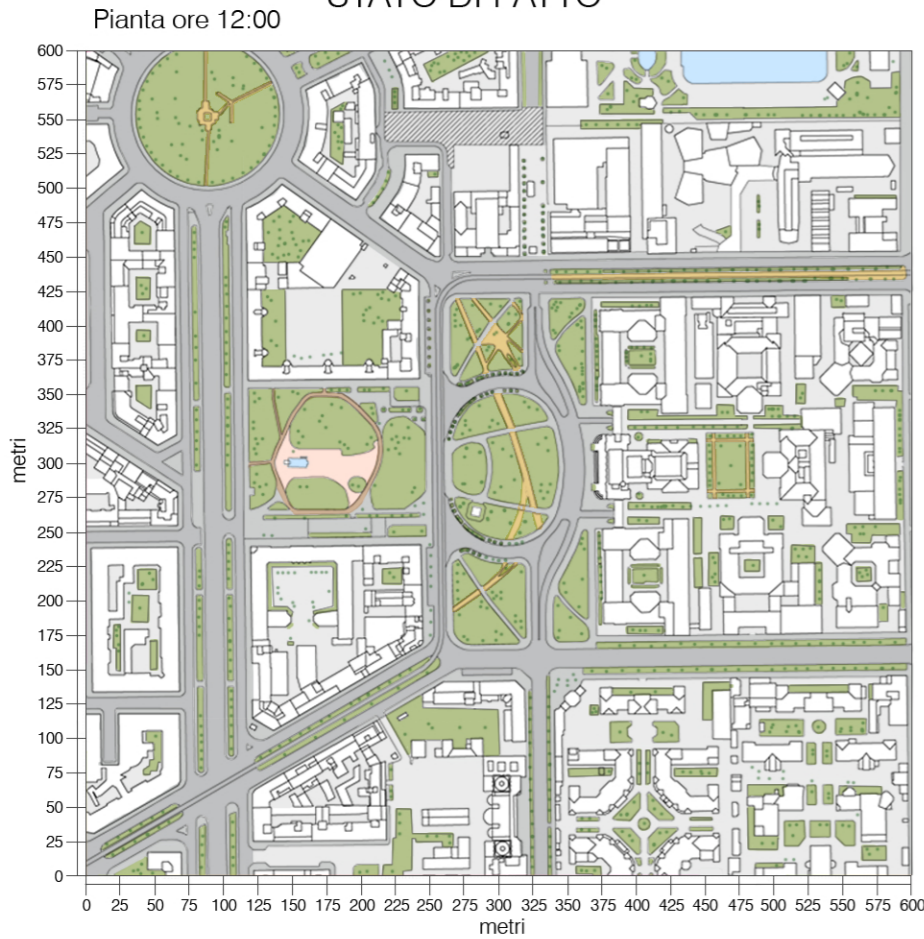
Si introducono sia le linee guida generali applicate all'intera area di studio, sia descrizioni progettuali per precisi punti.

Verranno, nelle successive tavole, analizzate nello specifico alcune parti della piazza per meglio giustificare le scelte fatte e verificare l'applicazione delle linee guida.

# PIAZZA LEONARDO DA VINCI APPLICAZIONE SPERIMENTALE

## STATO DI FATTO

## PROGETTO



- Verde - prato
- Verde - alberi
- Verde - posizione alberi
- Edifici
- Pavimentazione - cls
- Marciapiede - asfalto
- Strada - asfalto
- Terreno sabbioso
- Pavimentazione - porfido
- Area bambini
- Gioco delle bocce
- Area cani
- Gelateria/caffetteria
- Area nuovo parcheggio
- Prato
- Alberi altezza fino 10m
- Alberi altezza fino 20m

Volendo studiare la capacità della vegetazione di ridurre l'isola di calore urbana, nella pianta del progetto il verde rappresentante gli alberi non viene disegnato come nel caso dello stato di fatto, dove viene indicata la precisa posizione dell'albero. Questo perché si prendono in considerazione gli effetti prodotti dalla massa verde e non dai singoli alberi.

Nelle immagini riportate create dal software ENVI-met, utilizzato come strumento di supporto alla progettazione, il verde risulta essere di dimensioni maggiori rispetto ai disegni precedenti; questo perché il software considera per i calcoli delle simulazioni, la dimensione e l'ingombro della chioma degli alberi.

Oltre alle linee guida sopra citate, grazie agli studi precedentemente effettuati per il progetto Campus Sostenibile, è stato possibile avere un quadro generale sui flussi pedonali che attraversano la piazza, sulla tipologia di utenza che “vive” la piazza e in che modo questa viene vissuta.



Figura 7.7 - Flussi pedonali che attraversano piazza Leonardo da Vinci in diverse fasce orarie

Dai risultati ottenuti è possibile confermare che il parco di piazza Leonardo da Vinci è tagliato in due, non solo dalla strada che lo attraversa, ma anche dalla diversità di utenza che vi si trova:

- davanti all'ingresso della Facoltà di Ingegneria, il parco è vissuto soprattutto durante le ore di pranzo e tardo pomeriggio dagli studenti universitari che si ritrovano in gruppo soprattutto nell'area centrale;
- davanti alla scuola elementare invece, l'utenza è perlopiù composta da bambini e adulti nelle ore pomeridiane.

In serata e nei week-end la situazione è completamente diversa:

- il parco antistante la scuola elementare viene frequentato anche nei giorni festivi ma mai nelle ore serali;
- il parco “dell'università” sembra subire gli orari delle lezioni; una volta chiusa la struttura universitaria, anche il parco, come gli edifici, rimane vuoto.

Con la proposta progettuale questi problemi vengono ovviamente considerati e, pur concentrandosi maggiormente sulla sistemazione del verde, si è cercato in un qualche modo di risolverli.

La prima cosa che si nota passeggiando all'interno del parco di piazza Leonardo da Vinci riguarda proprio la vegetazione, composta da alberi sparsi, che non creano adeguate zone d'ombra per la sosta degli utenti e per la protezione dei percorsi pedonali.

Un altro fattore negativo è quello delle pavimentazioni, per la maggior parte in asfalto, che ricoprono due grandi percorsi, oggi pedonali ma un tempo carrabili, e due grandi aree per il parcheggio dei veicoli.

Nell'ipotesi di progetto, grazie agli studi sui flussi pedonali, si propongono nuovi percorsi che attraversano la piazza, si tolgono le aree per il parcheggio dei veicoli (consapevoli del fatto che

stanno terminando i lavori per il parcheggio sotterraneo davanti alla Facoltà di Architettura), viene lasciata una viabilità limitata di accesso alla piazza consentito solo ai mezzi di primo soccorso e di servizio, in modo da poter ridurre al minimo le parti pavimentate e aumentare la dimensione del verde.

All'interno dell'area di progetto si eliminano completamente le superfici asfaltate, sostituendole con una pavimentazione in ciottoli di porfido che aiutano maggiormente la riduzione dell'isola di calore. Per ovviare al problema della divisione della piazza si creano percorsi che legano le due parti di parco in modo da agevolare la fruizione da parte degli utenti.

Per rendere ancora più possibile l'unione si decide di adibire una piccola area per la collocazione di una gelateria/caffetteria nella parte centrale del parco antistante la Facoltà di Ingegneria, cercando di mischiare l'utenza proveniente dalla scuola elementare (bambini, nonni, mamme, baby sitter) con gli studenti universitari.

Studiando il percorso solare e le ombre, si propone la sistemazione della vegetazione presente in piazza Leonardo da Vinci: aumentando la superficie coperta da alberi e distribuendoli in modo da formare con le chiome una copertura continua, si creano zone nelle quali si innesca il fenomeno della brezza fresca.

Queste zone alberate vengono collocate in modo da proteggere, con l'ombra, superfici erbose e percorsi, così da rendere fruibile il parco anche nella stagione più calda e in modo da creare diverse "zone eventi" dove poter svolgere differenti funzioni.

È importante sottolineare che, se anche la dimensione del verde viene leggermente modificata, non si vogliono perdere le geometrie originali della piazza.

Per mitigare l'effetto dell'isola di calore si prendono in esame anche le due strade carrabili che attraversano la piazza/parco: via Bonardi e la strada che unisce quest'ultima a via Pascoli.

Qui viene studiata la sezione stradale in modo da ridurre il più possibile (rispettando le normative e le relative dimensioni minime) la superficie asfaltata e si ricolloca il verde perché sia più "funzionale".

Nel dettaglio:

- in via Bonardi si tolgono i parcheggi lato strada, si crea un ampio marciapiede con flusso promiscuo ciclo-pedonale, che viene protetto dalla carreggiata grazie ad un'ampia fascia verde, lasciando al centro della sezione stradale il passaggio del tram e delle auto;

- nel secondo caso, invece, dove la carreggiata è già ad uso promiscuo tram-veicoli, il problema maggiore si riscontra nell'eccessiva larghezza del marciapiede che comprende il parcheggio delle autovetture. Si mantengono dei posti auto limitati ai residenti, si tolgono i parcheggi davanti al parco e si crea una fascia di verde con il compito di unire il più possibile la vegetazione dei due parchi.

Collocare il verde a ridosso dei marciapiedi non ha solo la funzione di proteggere i passanti ma, come visto in precedenza, permette agli edifici di assorbire meno calore durante il giorno, rilasciarne meno durante la notte e quindi contribuire alla riduzione dell'isola di calore urbana.

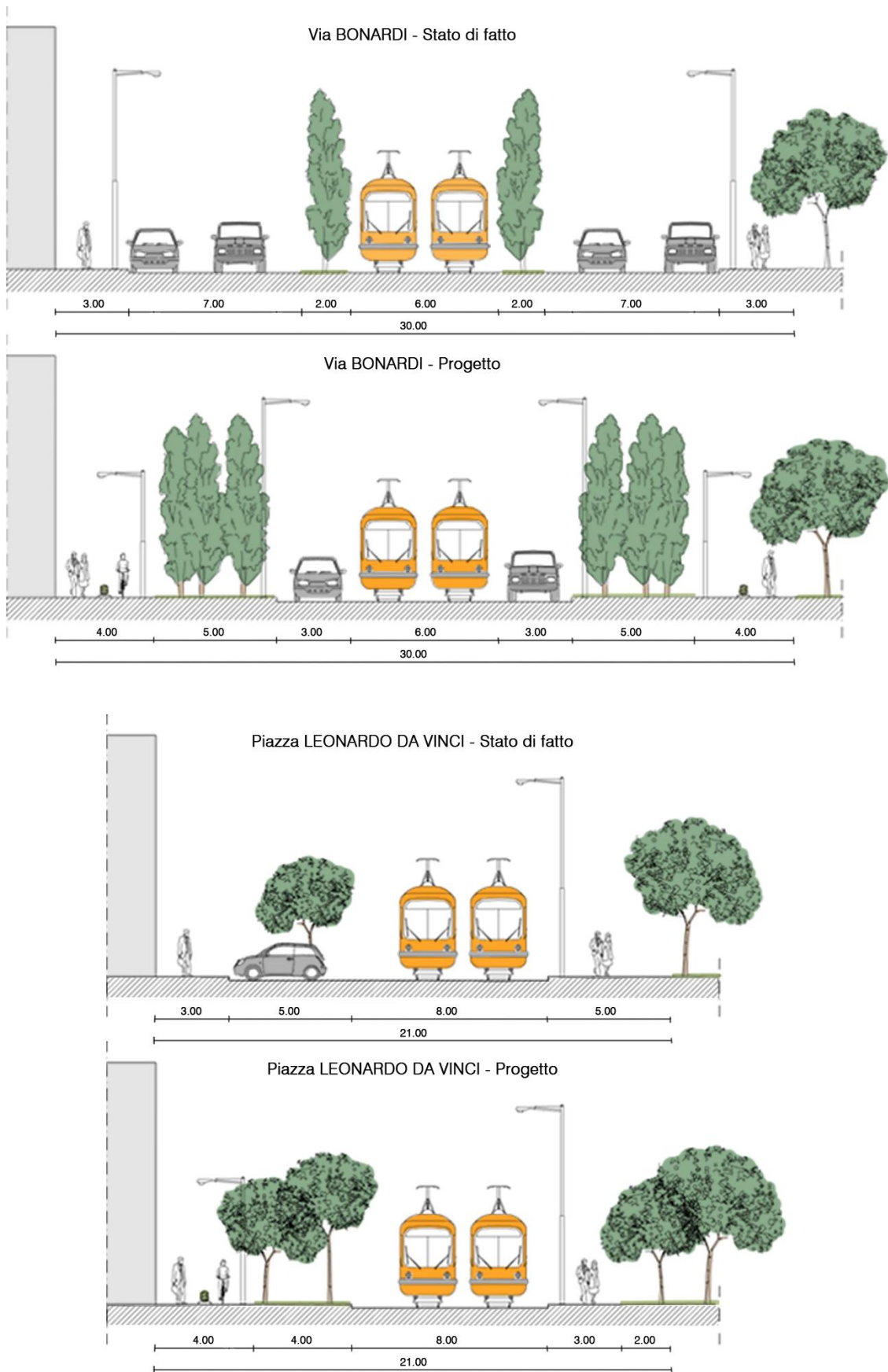


Figura 7.8 - Sezioni schematiche di via Bonardi e piazza Leonardo da Vinci

### 7.2.5 Risultati ottenuti

Dopo aver completato le simulazioni con il software ENVI-met, si verificano i risultati ottenuti paragonando la situazione attuale con la proposta progettuale.

Come per le simulazioni precedenti, l'indice di riferimento rimane il calcolo della temperatura potenziale.

Guardando le tavole 06 e 07, solo da un primo approccio "cromatico", si può facilmente verificare come l'ipotesi di progetto sia caratterizzata da temperature più basse nell'intera area di studio rispetto alla situazione attuale.

A conferma di ciò si analizzano gli stessi dettagli delle precedenti simulazioni (scenari alberi e prato) e si può a questo punto affermare che le modifiche della vegetazione apportate all'interno dell'area di progetto, facendo una media dei  $\Delta T$  ottenuti dai particolari studiati A-B-C-D, hanno portato un abbassamento della temperatura dell'aria alle 12:00 di 1.5K e alle 00:00 di 0.5K rispetto alla situazione attuale, con un notevole abbassamento dell'effetto provocato dall'isola di calore.

Si sono voluti, a questo punto, verificare i risultati di ulteriori indici per avere un quadro più completo e dettagliato sugli effetti di mitigazione della vegetazione; si analizzano la temperatura superficiale, la temperatura media radiante e la temperatura superficiale di foglia.

Questi indici non vengono calcolati solo per lo stato di fatto e l'ipotesi di progetto ma anche per i due precedenti scenari, prato e alberi, in modo da avere una visione completa delle simulazioni.

Analizzando i risultati ottenuti per la temperatura della superficie è interessante osservare come, di giorno, le aree pavimentate siano molto più calde rispetto alle aree coperte da prato, che però a loro volta non sono così fresche come le aree alberate.

Durante la notte il fenomeno si inverte infatti la superficie a prato si raffredda prima e di più rispetto a quella alberata dove però si crea la brezza fresca, principale attore della riduzione dell'isola di calore. I risultati dell'indice relativo alla temperatura media radiante mostrano come gli alberi, spostati vicino agli edifici, contribuiscano ad abbassare la temperatura di quest'ultimi e quindi permettano un minor rilascio di calore nell'aria nelle ore notturne.

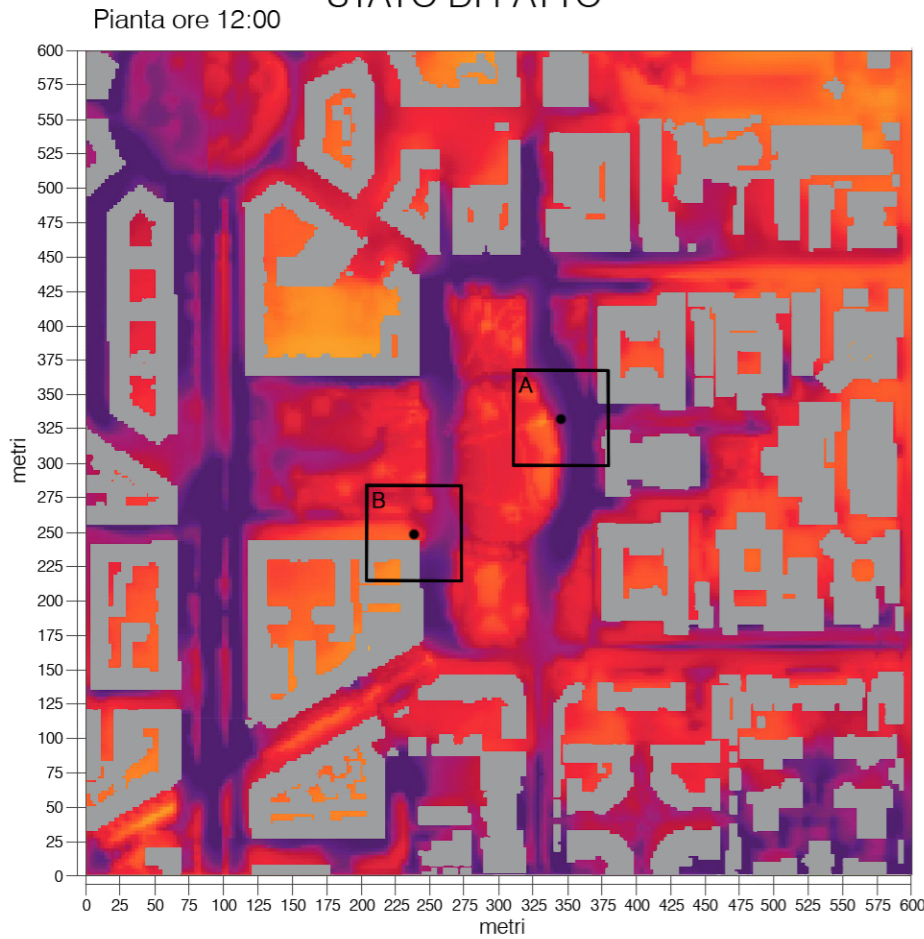
I dettagli presenti nella tavola 12 mostrano questo fenomeno in maniera molto chiara.

Infine viene calcolata la temperatura della superficie fogliare, indice utile per la scelta della vegetazione e per il calcolo dello scambio termico tra quest'ultima e l'ambiente circostante: in piccola parte la temperatura della superficie fogliare influisce sulla temperatura dell'aria che sfiora le foglie degli alberi.

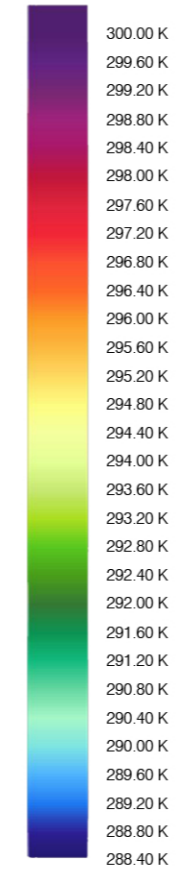
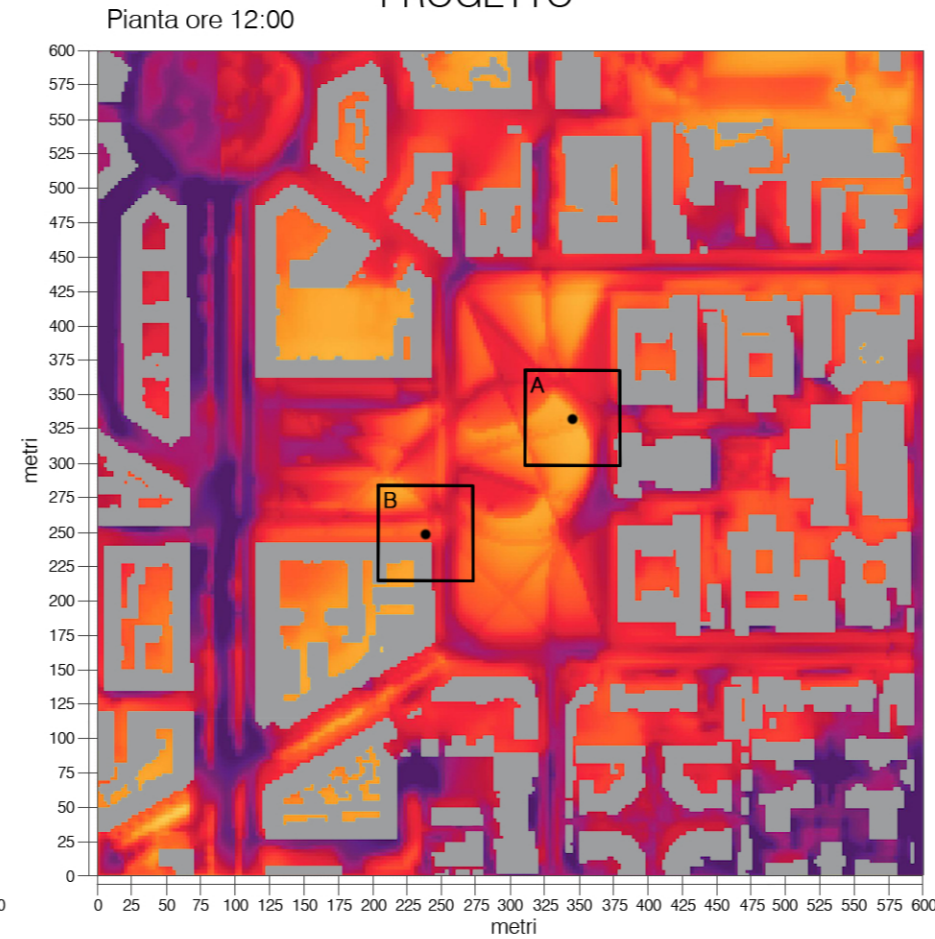
Questi sono i dati principali che permettono di verificare, in maniera completa ed esaustiva, gli effetti del verde sulla mitigazione dell'isola di calore.

Con questa analisi si è dimostrato che il verde attuale di piazza Leonardo da Vinci non è adeguatamente progettato e che, con qualche semplice accorgimento, può di gran lunga migliorare le sue prestazioni sul comfort termico e di conseguenza il benessere dei suoi fruitori.

## STATO DI FATTO

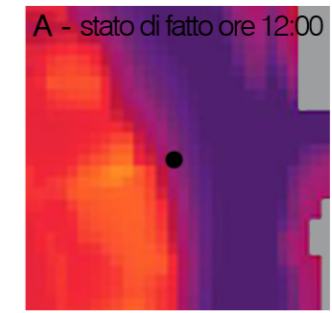


## PROGETTO



## TEMPERATURA POTENZIALE

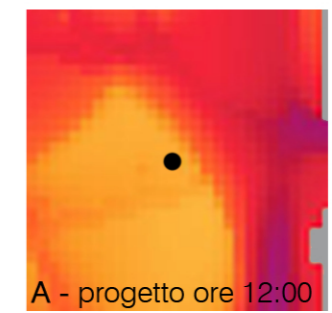
11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00



T nel punto 298.80K

$\Delta T = 3K$

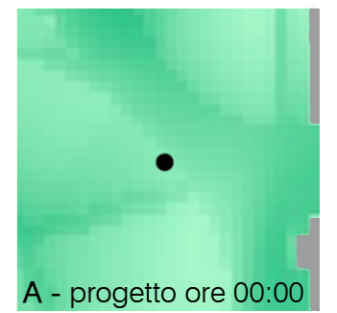
T nel punto 295.80K



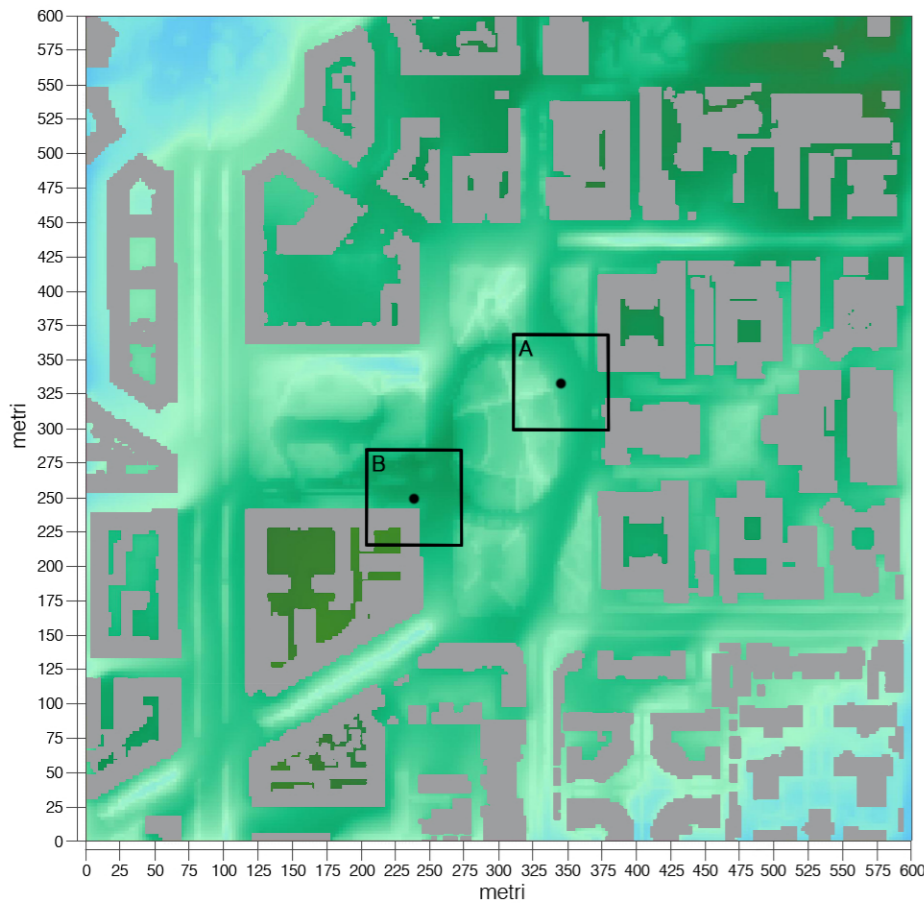
T nel punto 291.10K

$\Delta T = 0.5K$

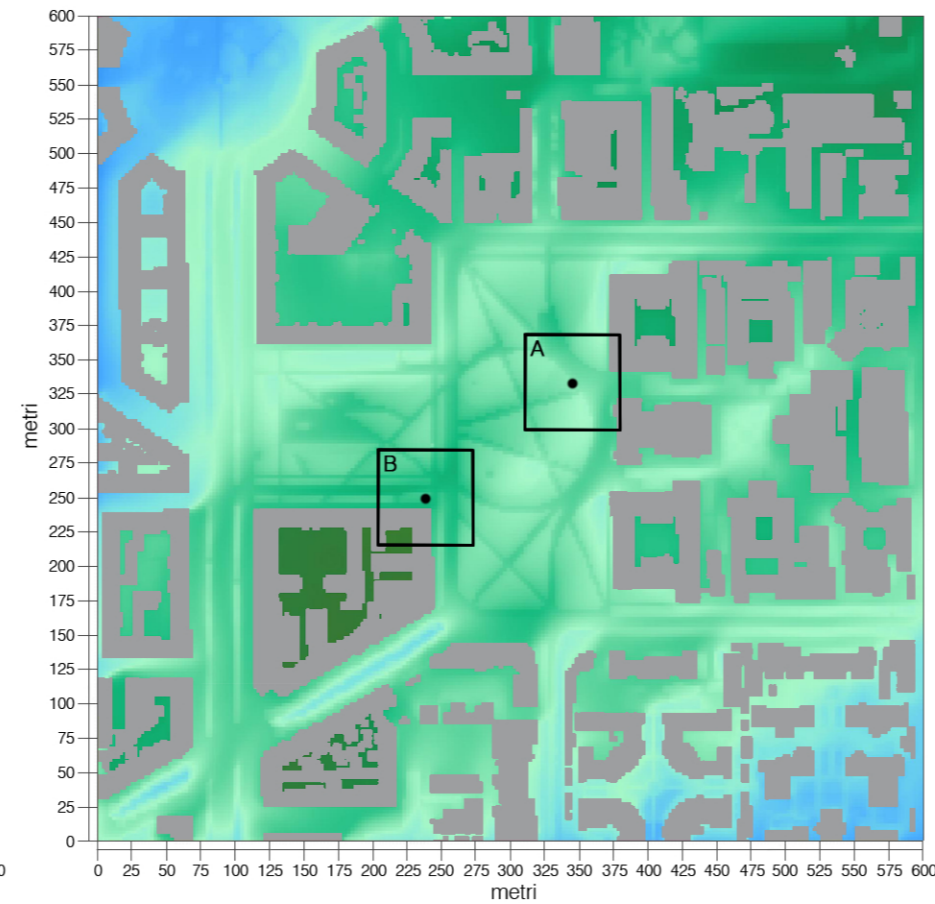
T nel punto 290.60K



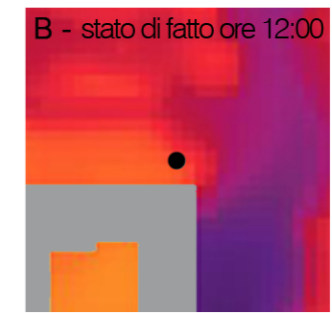
Pianta ore 00:00



Pianta ore 00:00



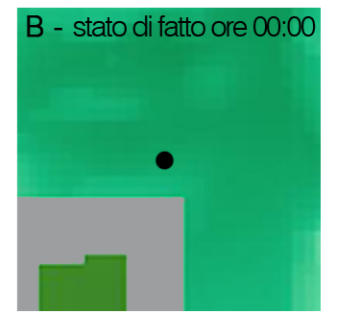
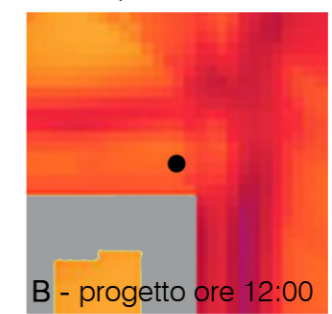
Vengono qui riportati i risultati ottenuti grazie al software ENVI-met per la situazione attuale del parco di Piazza Leonardo da Vinci e un'ipotesi di progetto. La proposta progettuale non vuole essere una riprogettazione vera e propria della piazza ma il semplice esempio che con pavimentazioni adeguate e vegetazione collocata in giusta misura, si possono ottenere risultati ottimali per la diminuzione della temperatura. Rispetto allo stato di fatto, la proposta progettuale risulta essere più efficiente nel diminuire l'isola di calore.



T nel punto 296.80K

$\Delta T = 0.4K$

T nel punto 296.40K



T nel punto 291.50K

$\Delta T = 0.5K$

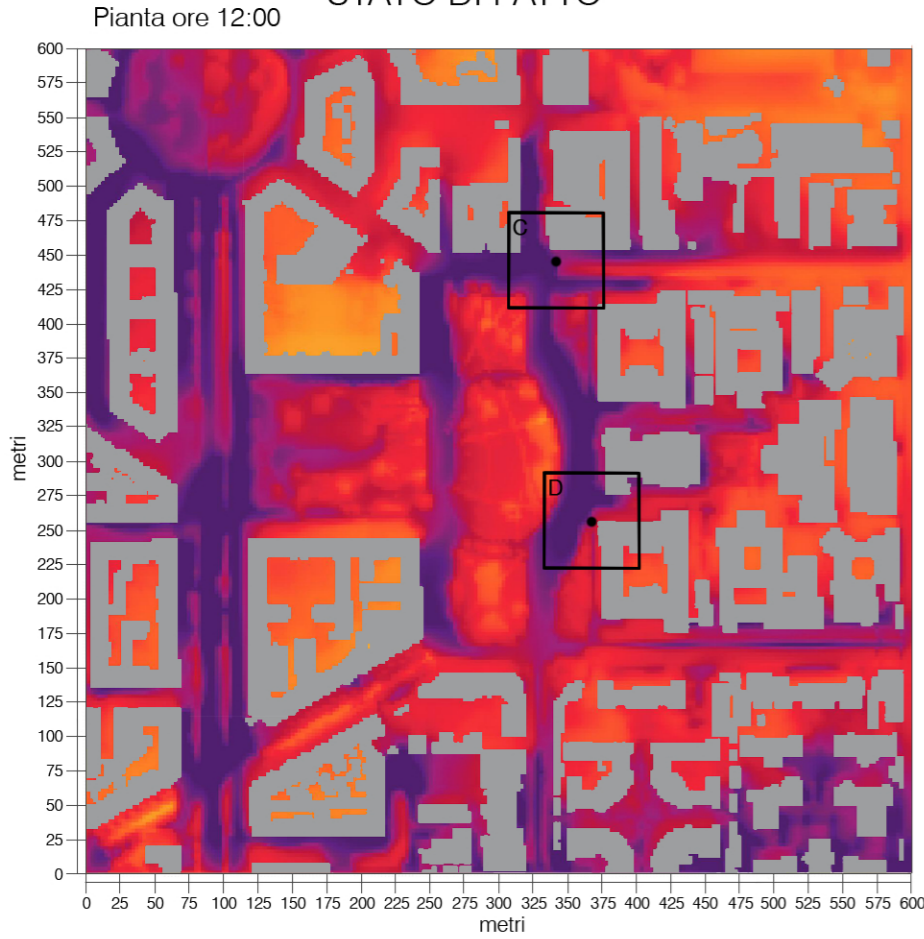
T nel punto 291.00K



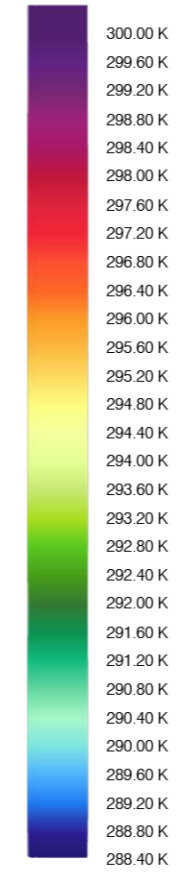
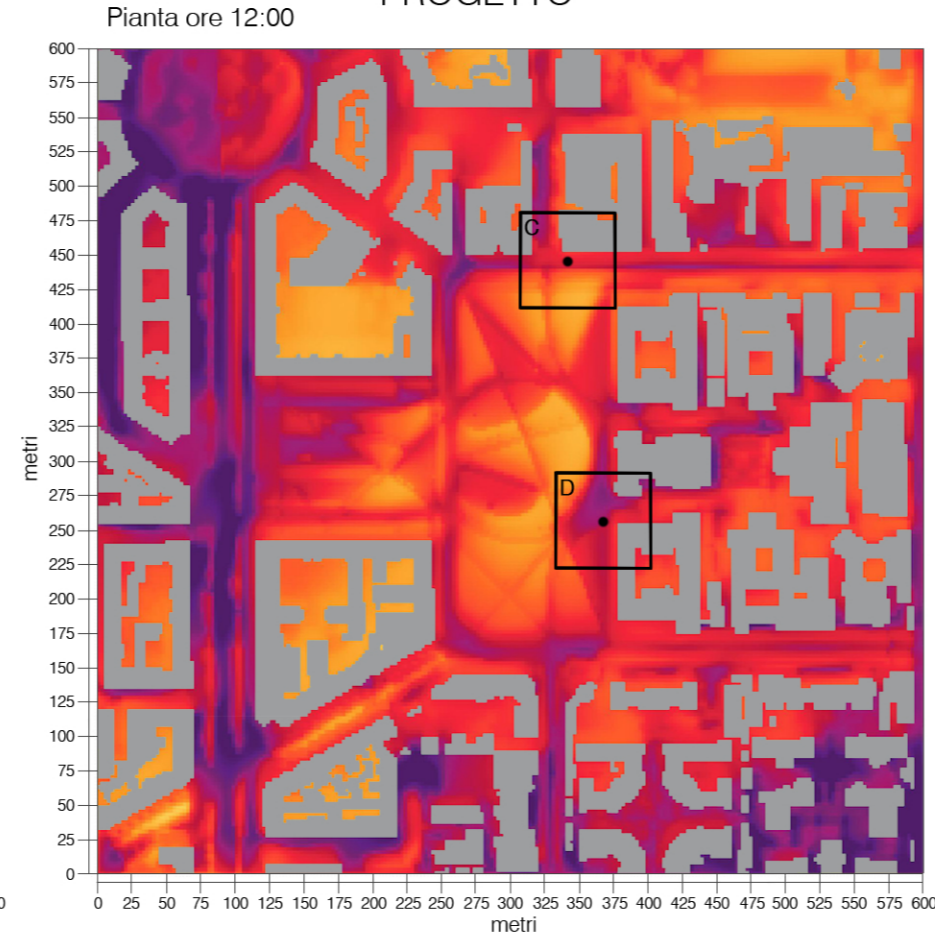
Calcolo della differenza di temperatura nei punti A e B tra le ore 12:00 e le 00:00



## STATO DI FATTO

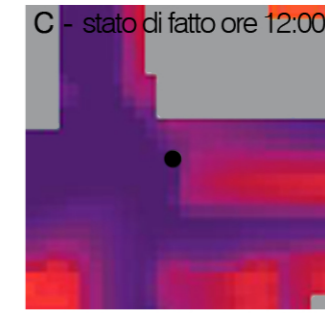


## PROGETTO



## TEMPERATURA POTENZIALE

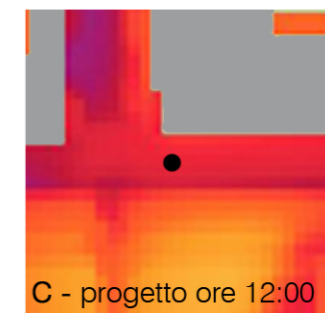
11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00



T nel punto 299.50K

$\Delta T = 2.1K$

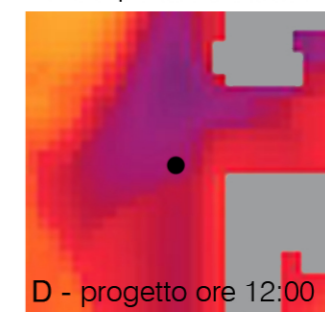
T nel punto 297.40K



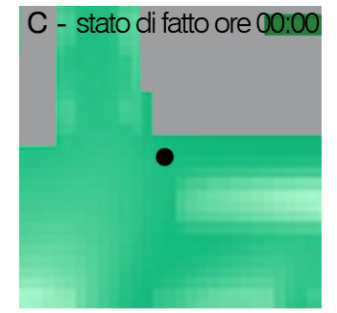
T nel punto 298.90K

$\Delta T = 0.3K$

T nel punto 298.60K



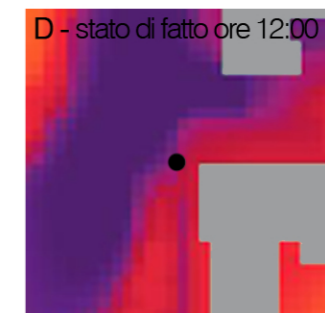
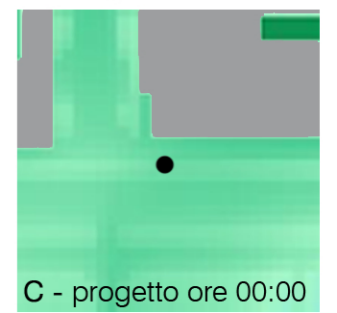
Calcolo della differenza di temperatura nei punti C e D tra le ore 12:00 e le 00:00



T nel punto 291.20K

$\Delta T = 0.5K$

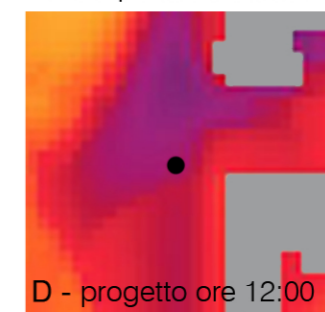
T nel punto 290.70K



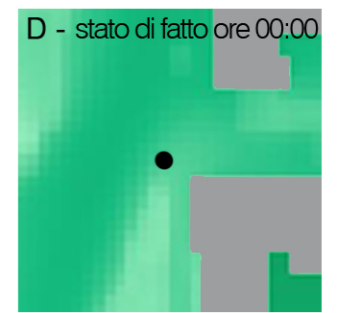
T nel punto 298.90K

$\Delta T = 0.3K$

T nel punto 298.60K



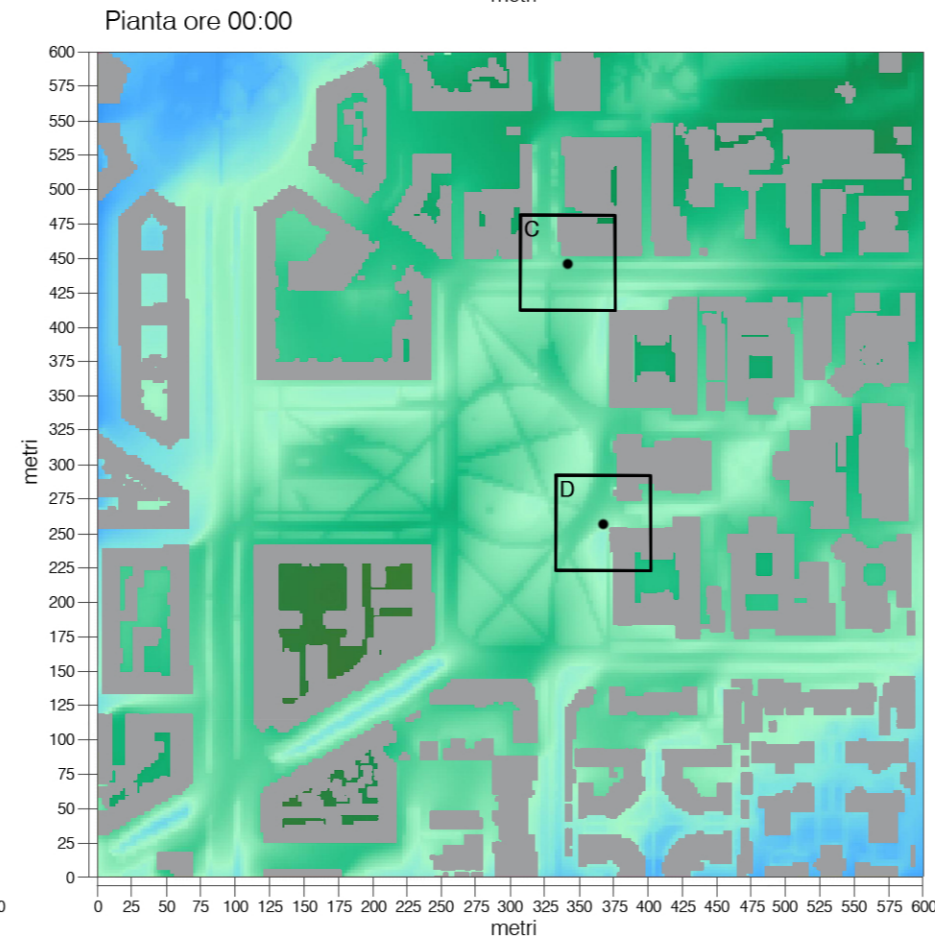
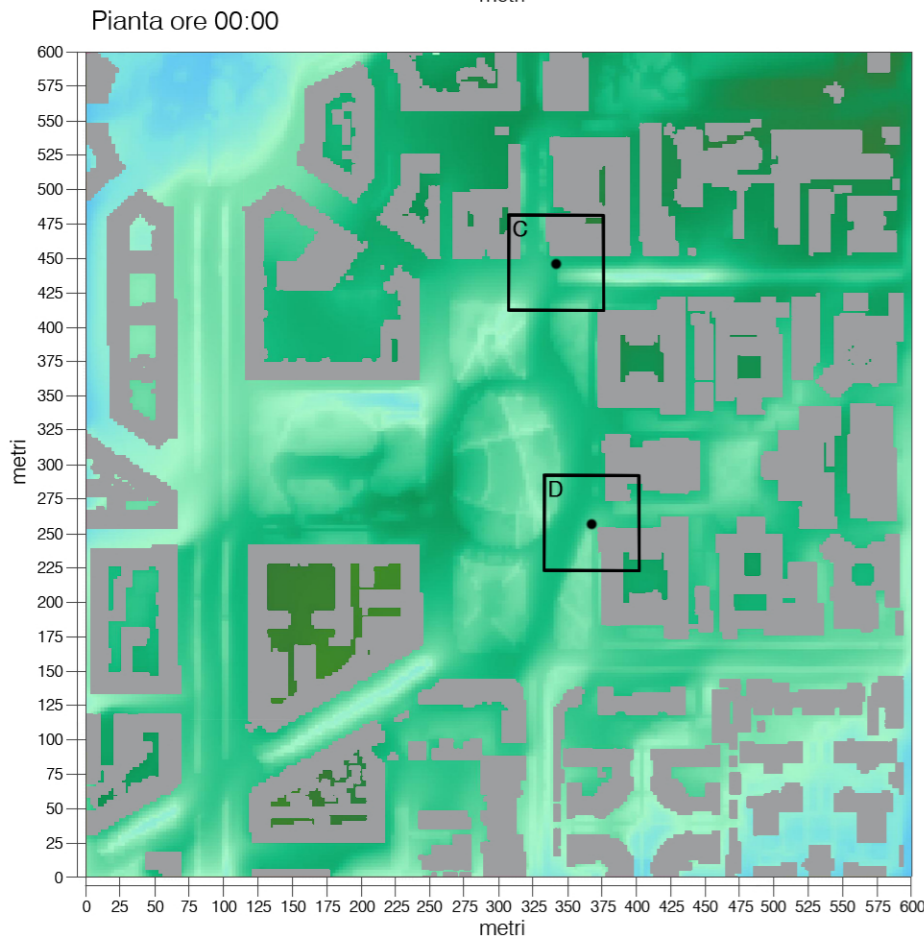
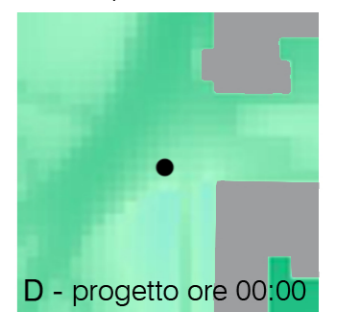
Calcolo della differenza di temperatura nei punti C e D tra le ore 12:00 e le 00:00



T nel punto 291.00K

$\Delta T = 0.5K$

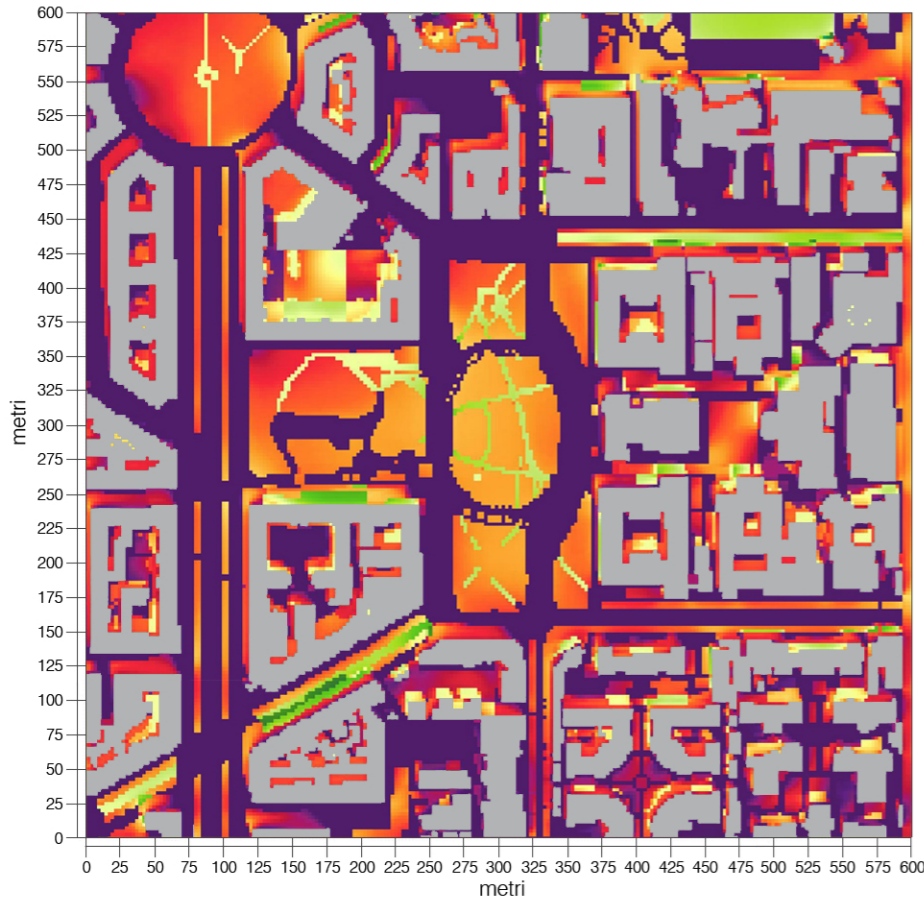
T nel punto 290.50K



Vengono qui riportati altri due zoom sulla piazza per lo stato attuale e l'ipotesi di progetto. I punti di rilevamento delle temperature vengono scelti nelle vicinanze di edifici o strade in modo da verificare quali sono i vantaggi nell'aver la vegetazione che ombreggia le superfici costruite. Dai risultati delle simulazioni si può osservare che l'ombra durante il giorno fa in modo che la superficie abbia la temperatura di circa 1.5K più bassa rispetto alla situazione "prato". Scaldandosi meno durante il giorno, una superficie rilascia meno calore durante le ore notturne evitando in questo modo che la temperatura dell'aria si innalzi.

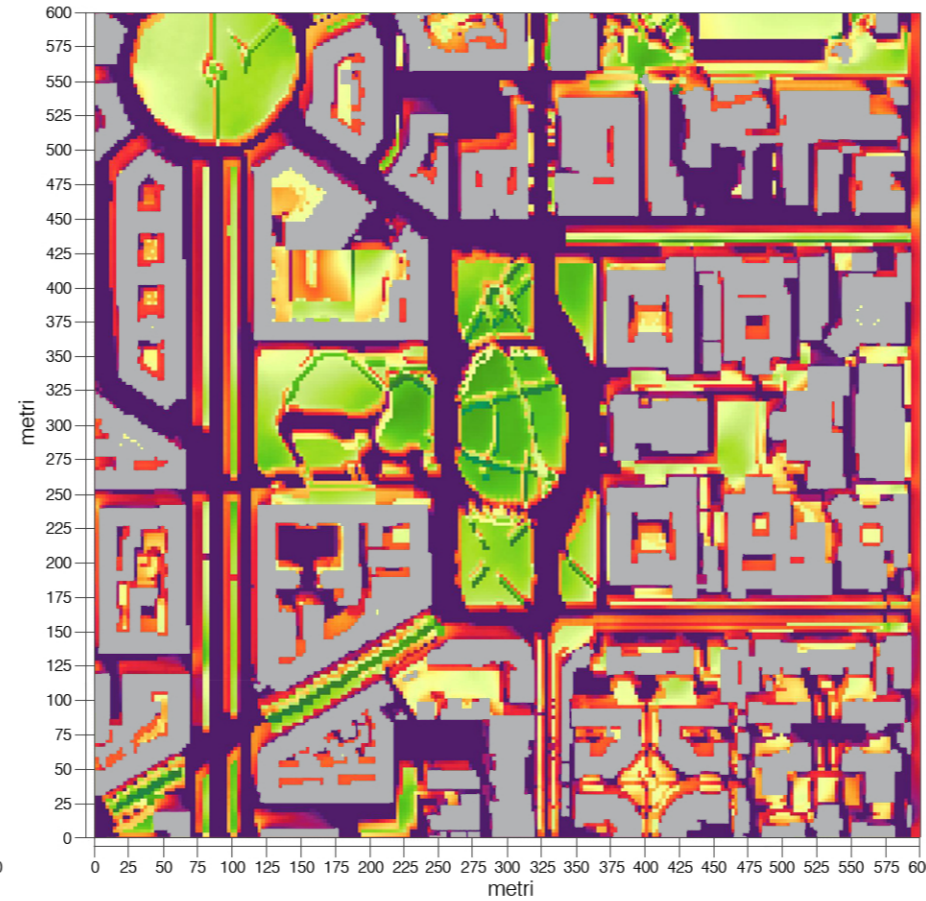
## PRATO

Pianta ore 12:00



## ALBERI

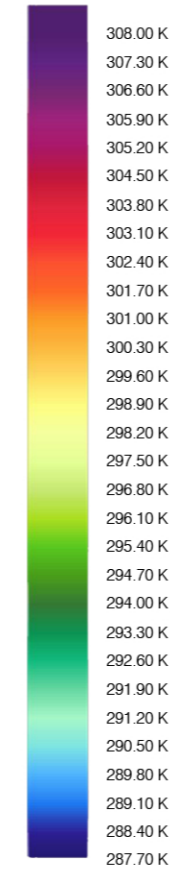
Pianta ore 12:00



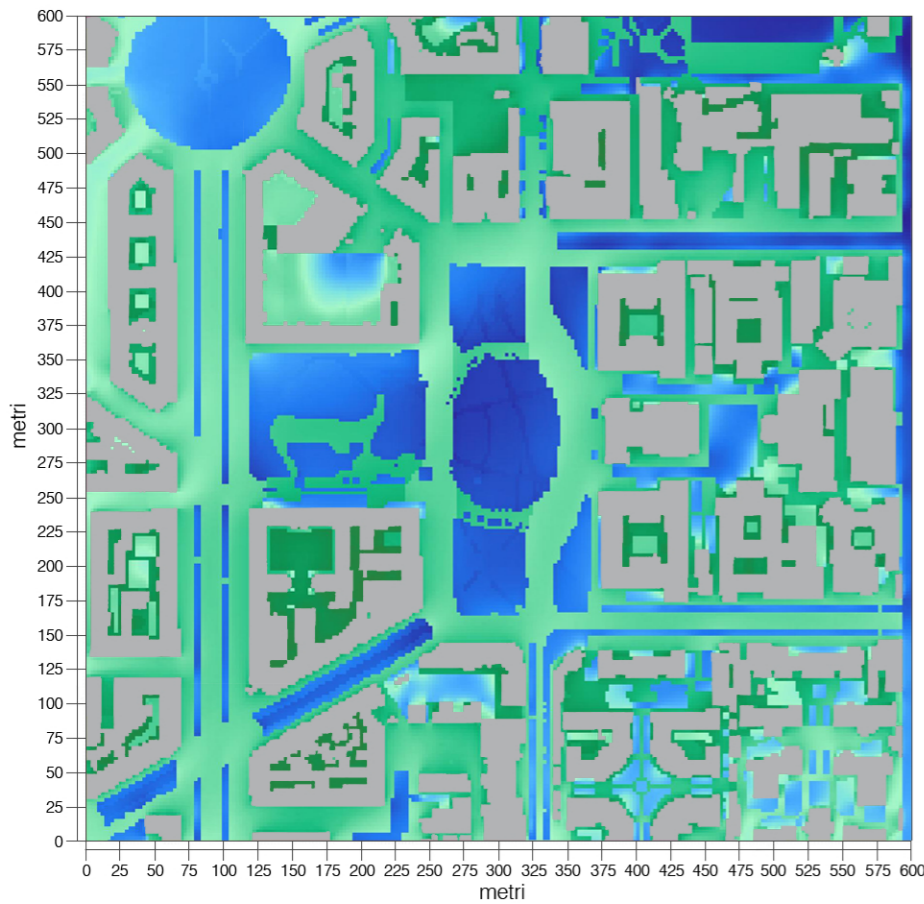
## TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE

11 LUGLIO 2011

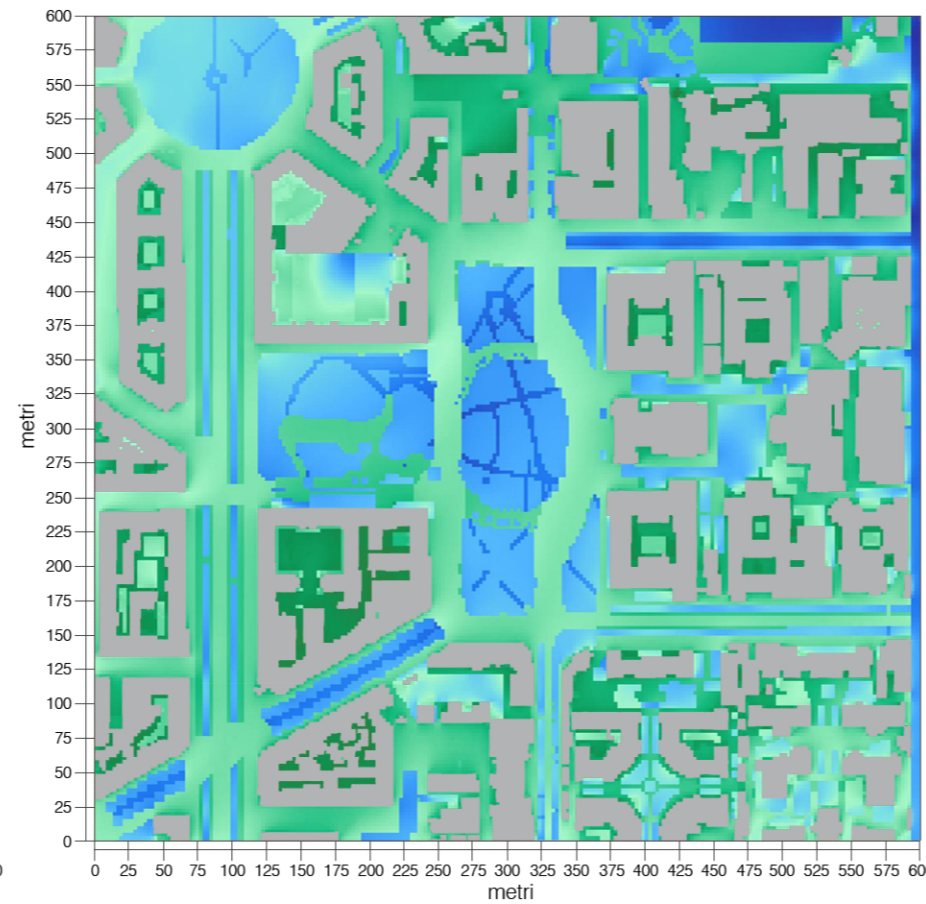
ORE 12:00 e 00:00



Pianta ore 00:00



Pianta ore 00:00



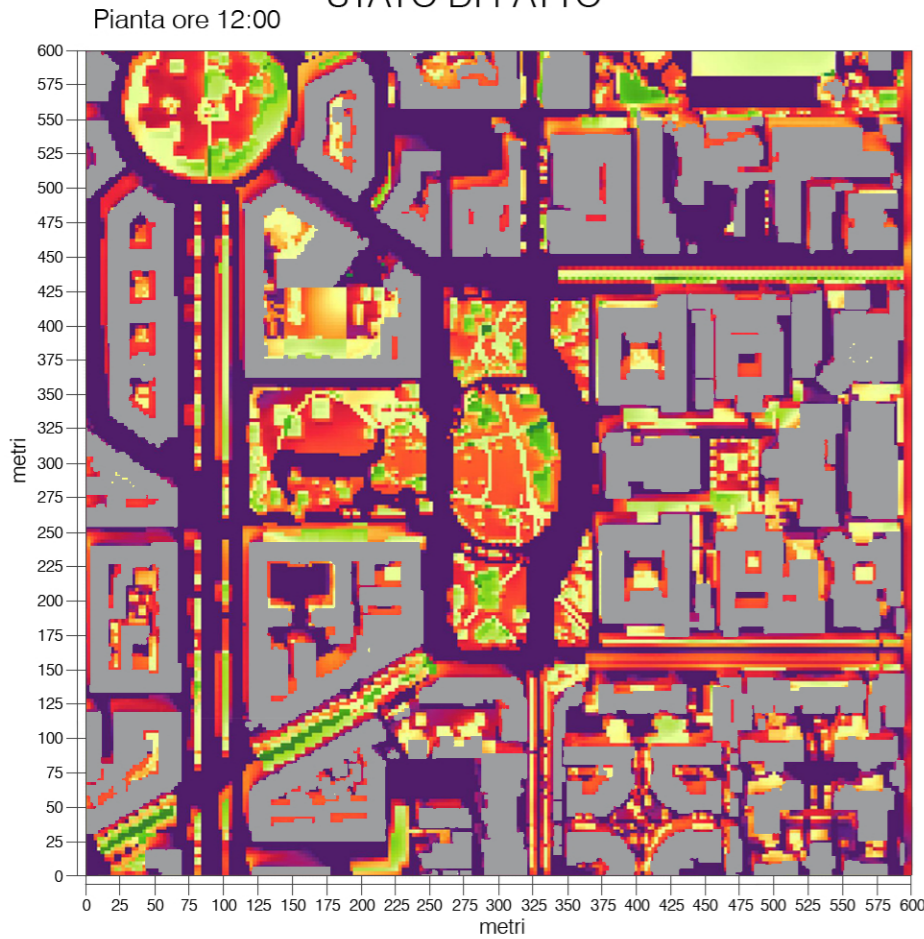
Confrontando i risultati ottenuti per gli scenari prato e alberi è possibile verificare che:

- di giorno lo scenario prato ha temperature superficiali molto più alte rispetto allo scenario alberi che, beneficiando dell'azione dell'ombra, riesce a mantenersi su temperature più basse;
- di notte la situazione si inverte infatti lo scenario prato si raffredda più velocemente rispetto allo scenario alberi.

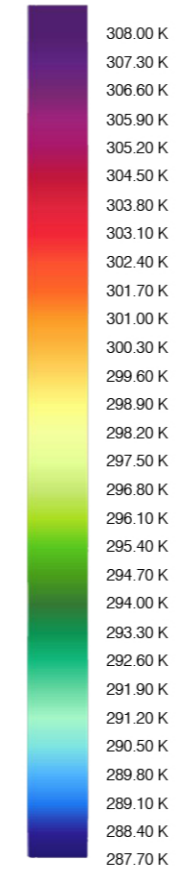
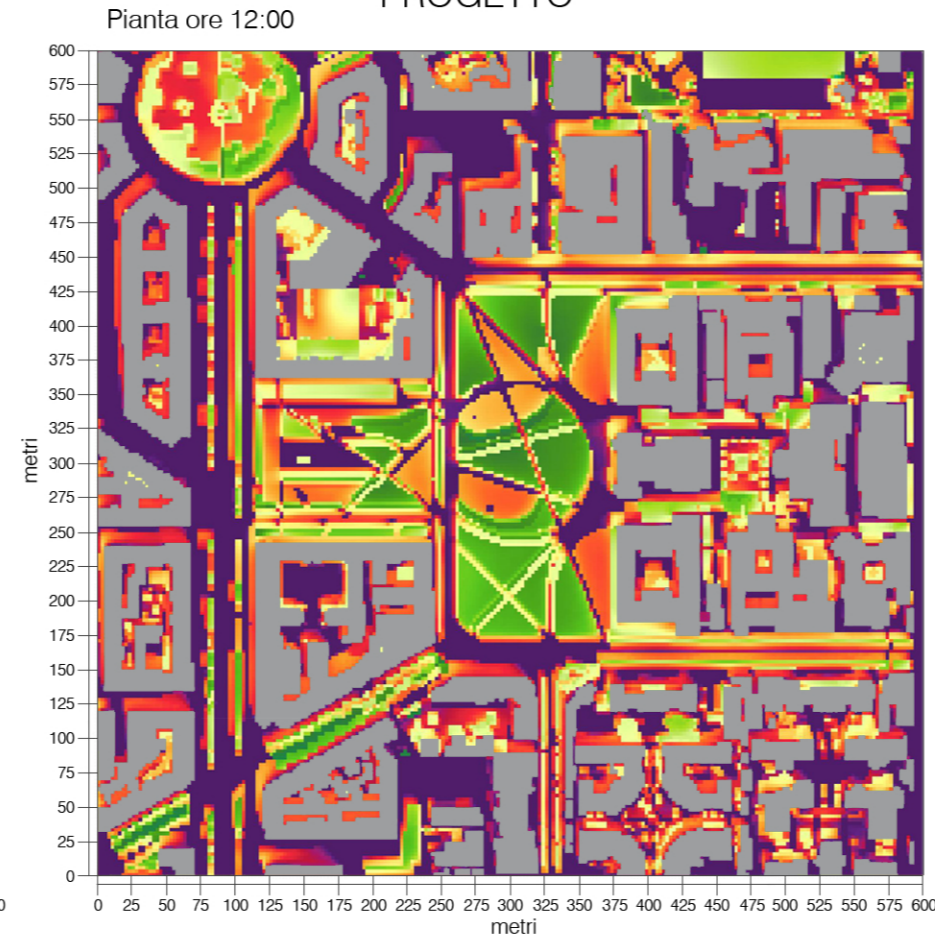
La TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE è un indice importante perchè permette di verificare la temperatura del terreno esattamente a quota zero. La capacità di un materiale di assorbire o meno calore dipende dal suo albedo: frazione della radiazione globale che viene riflessa dalla superficie che la riceve; esso varia considerevolmente in relazione al colore, alla struttura e all'umidità della superficie.

I materiali più compatti e con i colori più scuri avranno un albedo basso quindi riflettono meno la radiazione e immagazzinano più calore durante il giorno.

## STATO DI FATTO

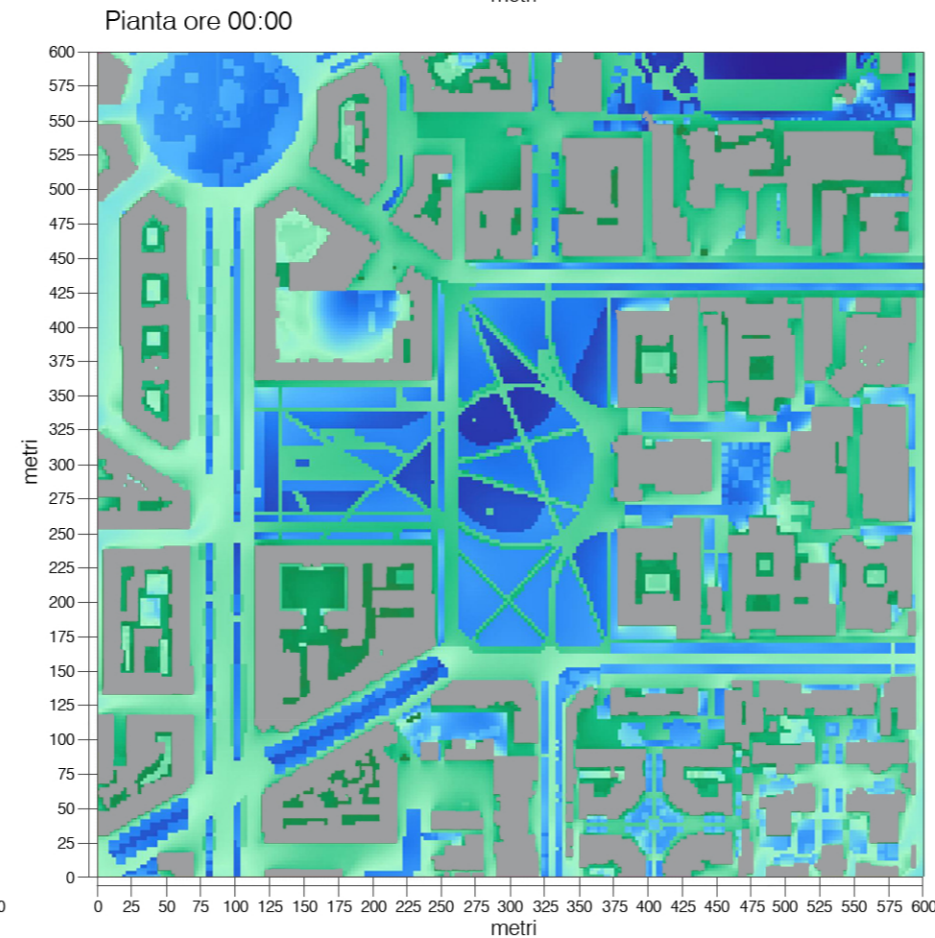
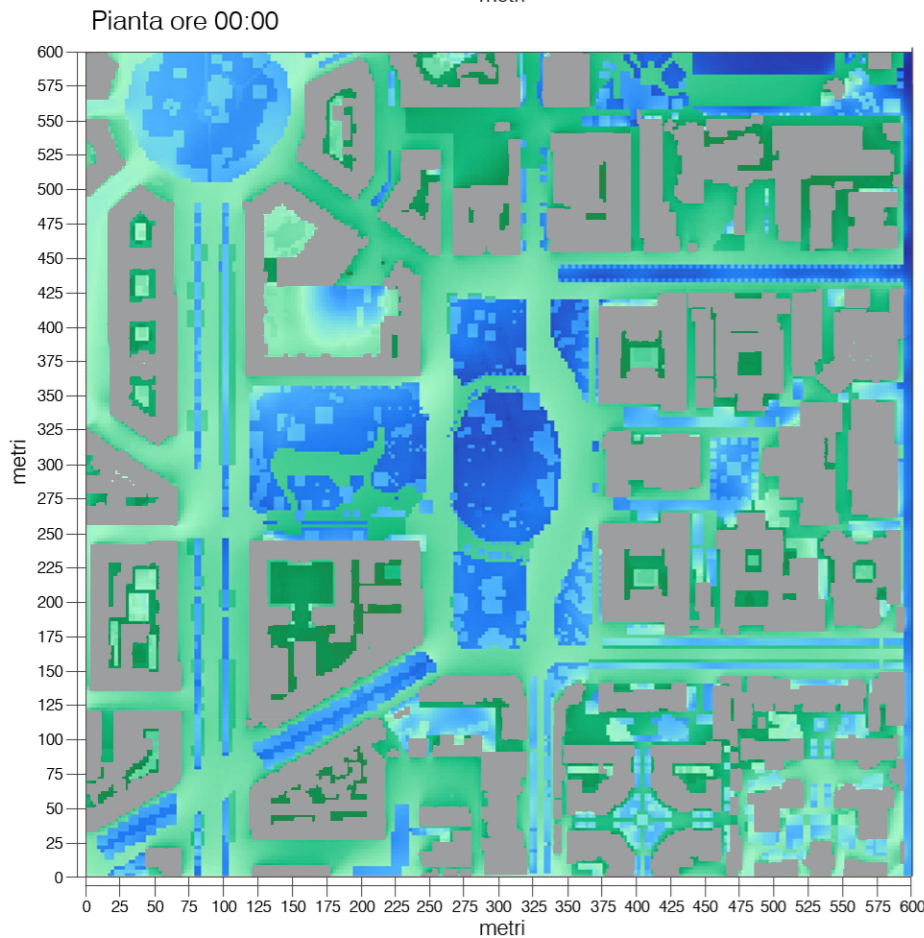


## PROGETTO



## TEMPERATURA DELLA SUPERFICIE

11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00



Nel confronto dei risultati tra questi due scenari è importante soffermarsi maggiormente sulla situazione giorno dove, l'aver ridotto di molto le pavimentazioni all'interno di piazza Leonardo da Vinci e l'aver posizionato gli alberi vicino alle facciate degli edifici permette di ottenere temperature molto più basse rispetto alla situazione attuale.

Di notte si riscontra lo stesso effetto dei precedenti scenari (prato e alberi): le aree coperte da prato si raffreddano prima rispetto a quelle coperte da alberi.

A prima vista, dai grafici ottenuti con il software ENVI-met, risulta migliore il contributo notturno delle aree ricoperte da prato rispetto alle stesse ricoperte da alberi, ma studiando più attentamente il fenomeno si può affermare che:

- la superficie interamente ricoperta da prato raggiunge temperature più basse perchè la chioma degli alberi durante la notte ostacola lo spostamento verticale dell'aria "intrappolando" la brezza fresca al di sotto delle chiome;
- pur avendo temperatura più bassa, la situazione prato non permette una consistente formazione del fenomeno della brezza fresca in grado di abbassare la temperatura dell'intera area presa in esame.

Nel calcolo dell'indice della temperatura della superficie il software non tiene conto delle parti edificate presenti nel modello ma calcola solo la temperatura a quota zero delle diverse tipologie di terreno; è per questo motivo che gli edifici vengono rappresentati con un colore non presente nella scala delle temperature.

# TEMPERATURA MEDIA RADIANTE

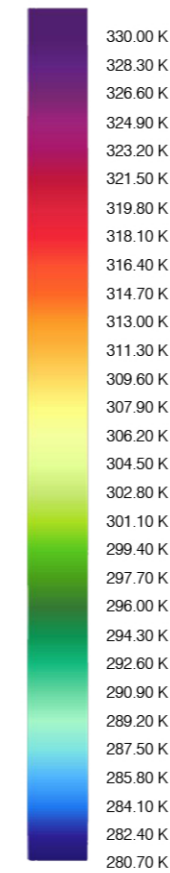
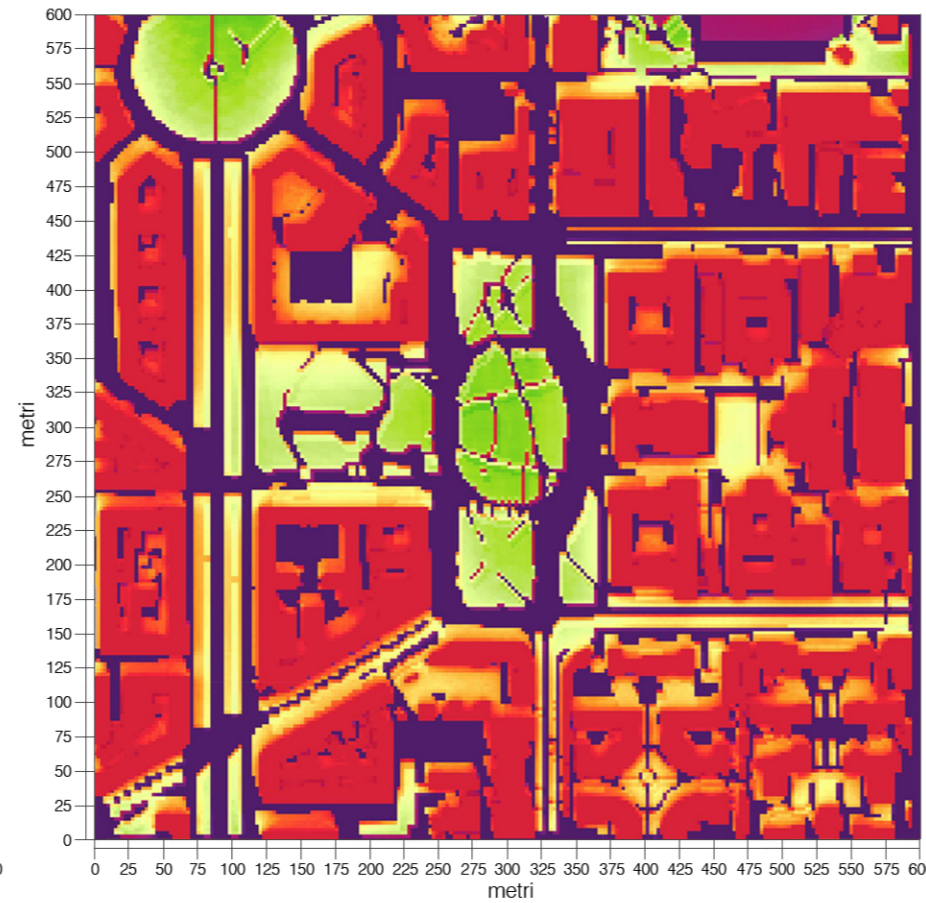
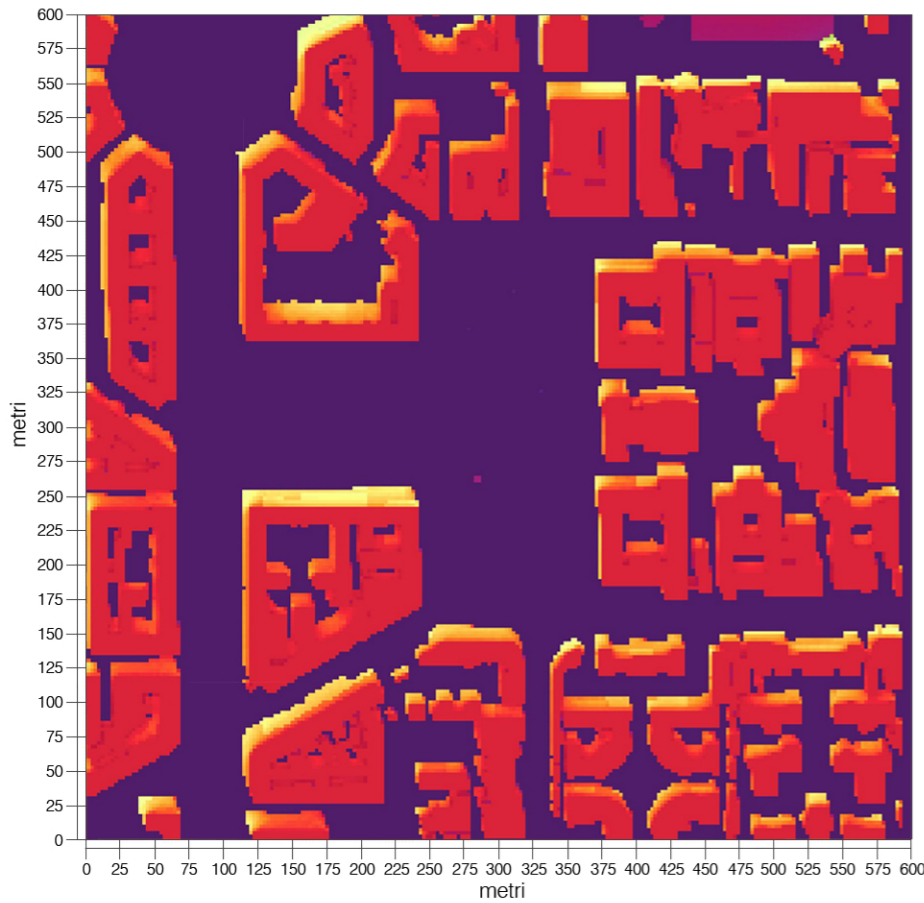
11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00

## PRATO

## ALBERI

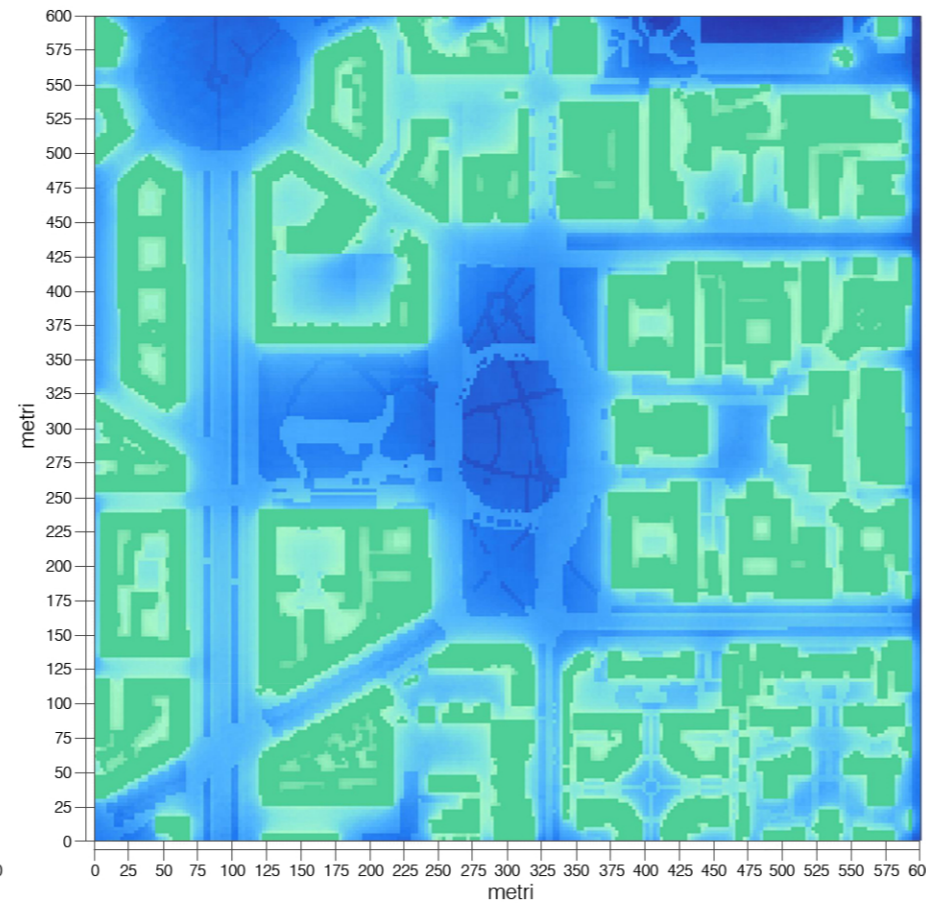
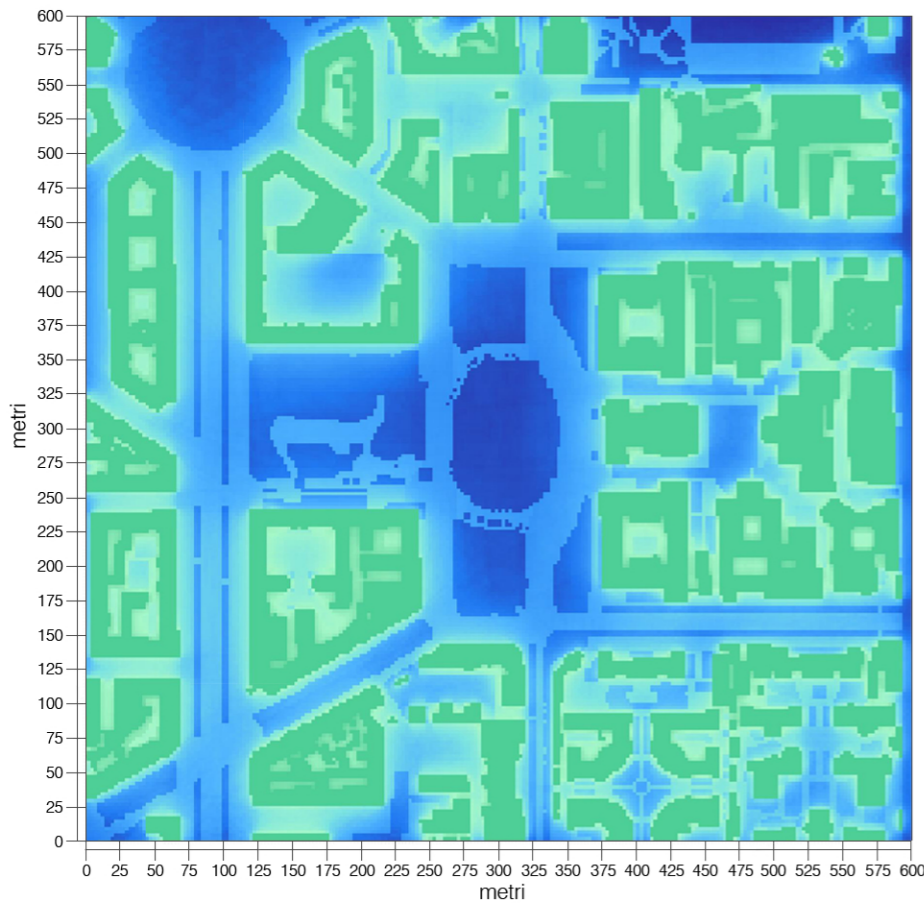
Pianta ore 12:00

Pianta ore 12:00



Pianta ore 00:00

Pianta ore 00:00



Dai grafici ottenuti tramite il software ENVI-met è possibile verificare come nelle simulazioni alle ore 12:00 non si riesca a distinguere l'area ricoperta da prato da quella ricoperta da pavimentazione che, insieme agli edifici, assorbendo molto calore, raggiungono temperature più elevate rispetto alle aree ricoperte da alberi. Di notte, invece, si verifica una situazione simile alle precedenti simulazioni dove la superficie ricoperta da prato si raffredda maggiormente rispetto a quella ricoperta da alberi.

La TEMPERATURA MEDIA RADIANTE è indice degli scambi radiativi tra le superfici che delimitano un ambiente e il corpo umano. Negli ambienti esterni gli scambi radiativi sono dovuti a due differenti fenomeni:

- il flusso termico emanato per irraggiamento dalle superfici a una data temperatura (pavimentazioni, edifici...);
- il flusso termico dovuto all'irraggiamento solare (diretto e diffuso).

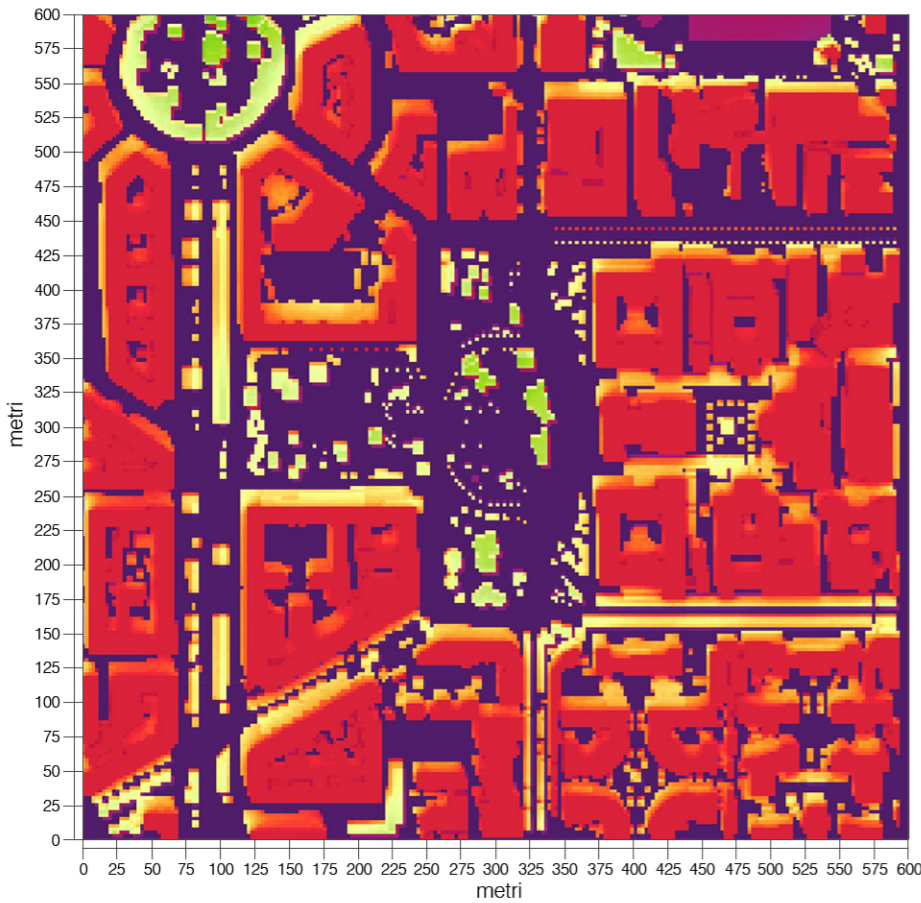
Da un'analisi qualitativa del fenomeno, si distinguono le ore diurne da quelle notturne:

- nel primo caso, a meno di condizioni di cielo particolarmente nuvoloso, l'energia emanata dal sole è predominante e le superfici assorbono calore;
- nel secondo caso, l'irraggiamento solare si annulla mentre l'irraggiamento delle superfici raggiunge la massima emissione; nelle ore notturne le superfici si raffreddano rilasciando calore nell'aria.

E' importante ricordare che l'irraggiamento solare diminuisce anche nelle zone in ombra, permettendo alle superfici di mantenere temperature più basse. L'unità di misura è gradi Kelvin.

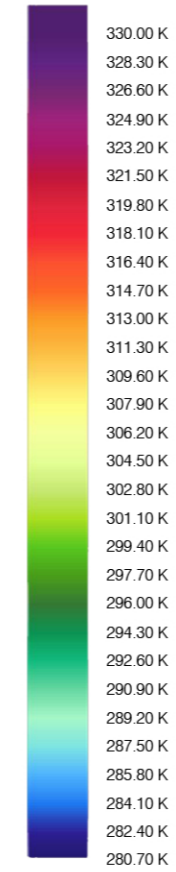
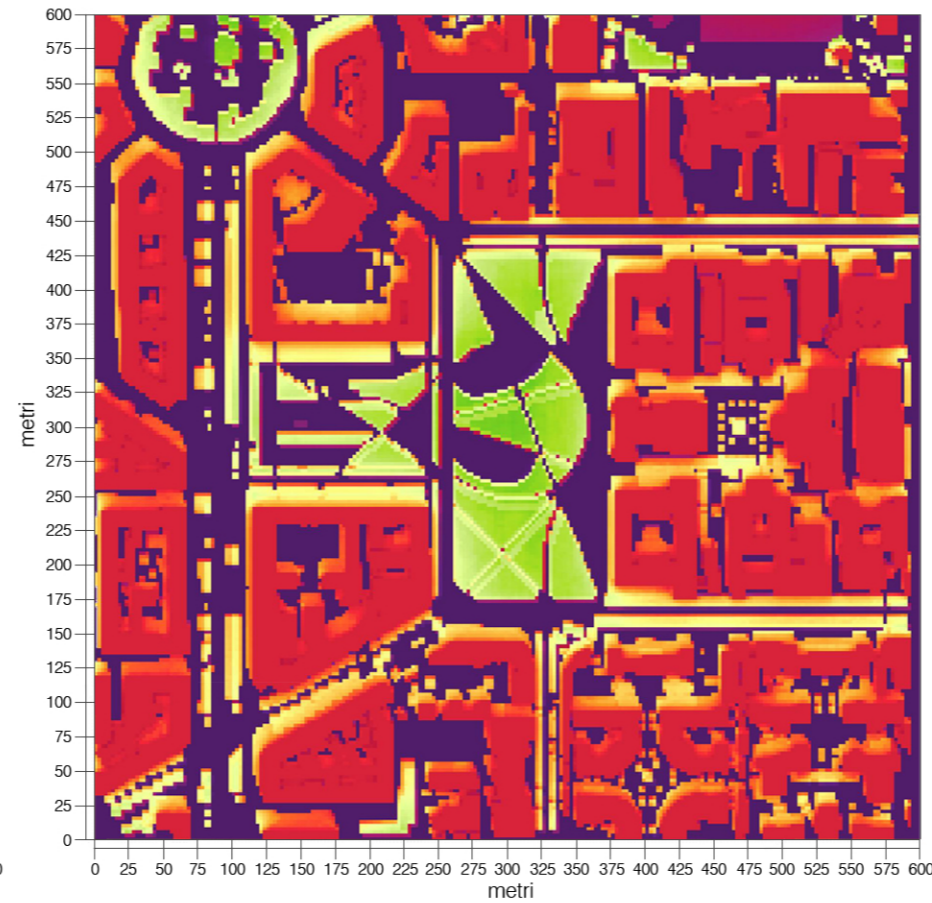
## STATO DI FATTO

Pianta ore 12:00



## PROGETTO

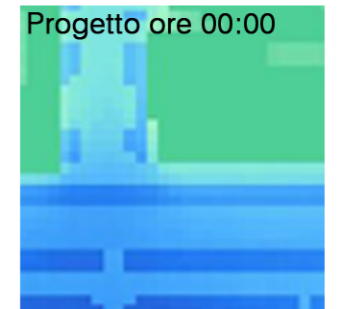
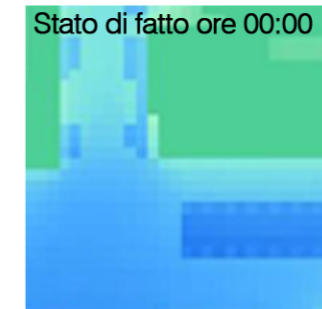
Pianta ore 12:00



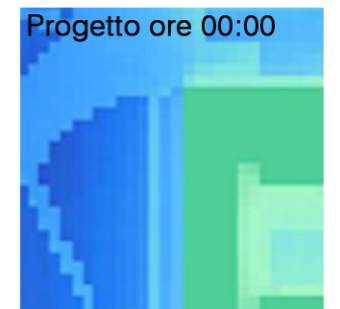
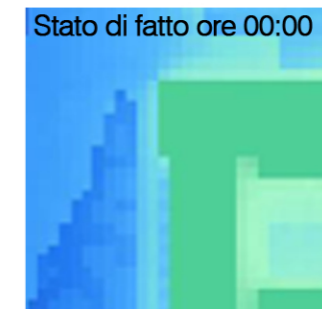
## TEMPERATURA MEDIA RADIANTE

11 LUGLIO 2011  
ORE 12:00 e 00:00

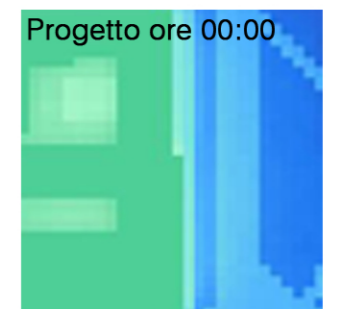
A - via Bonardi



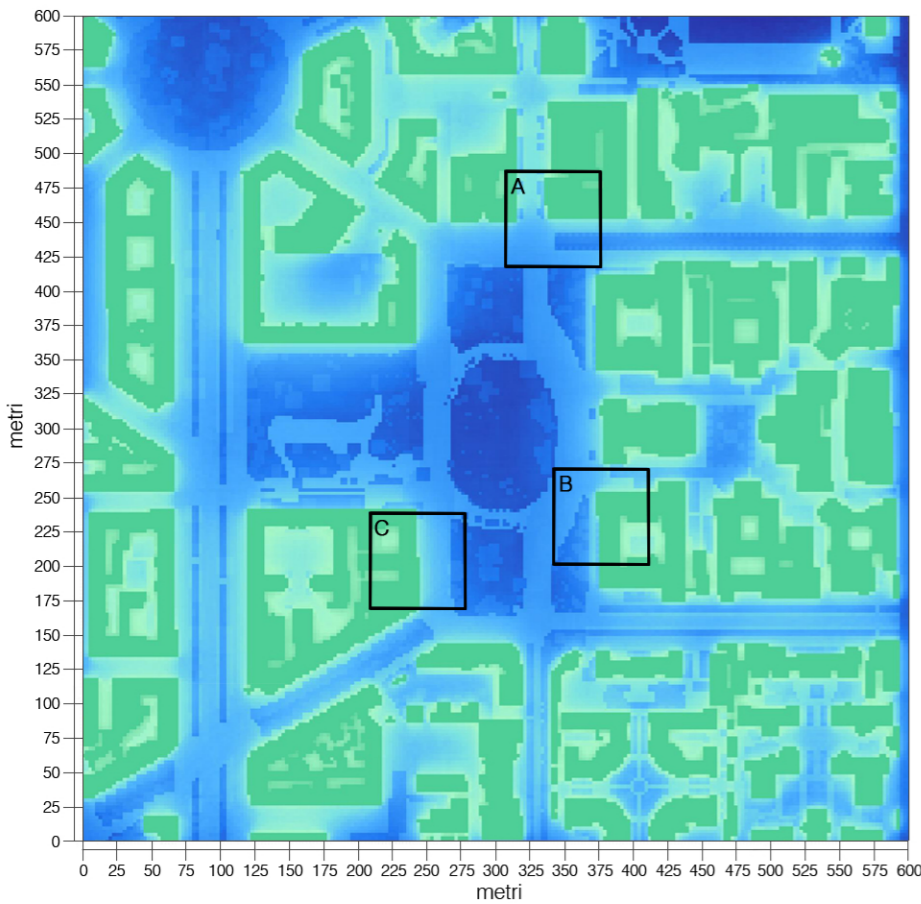
B - Facoltà di Ingegneria



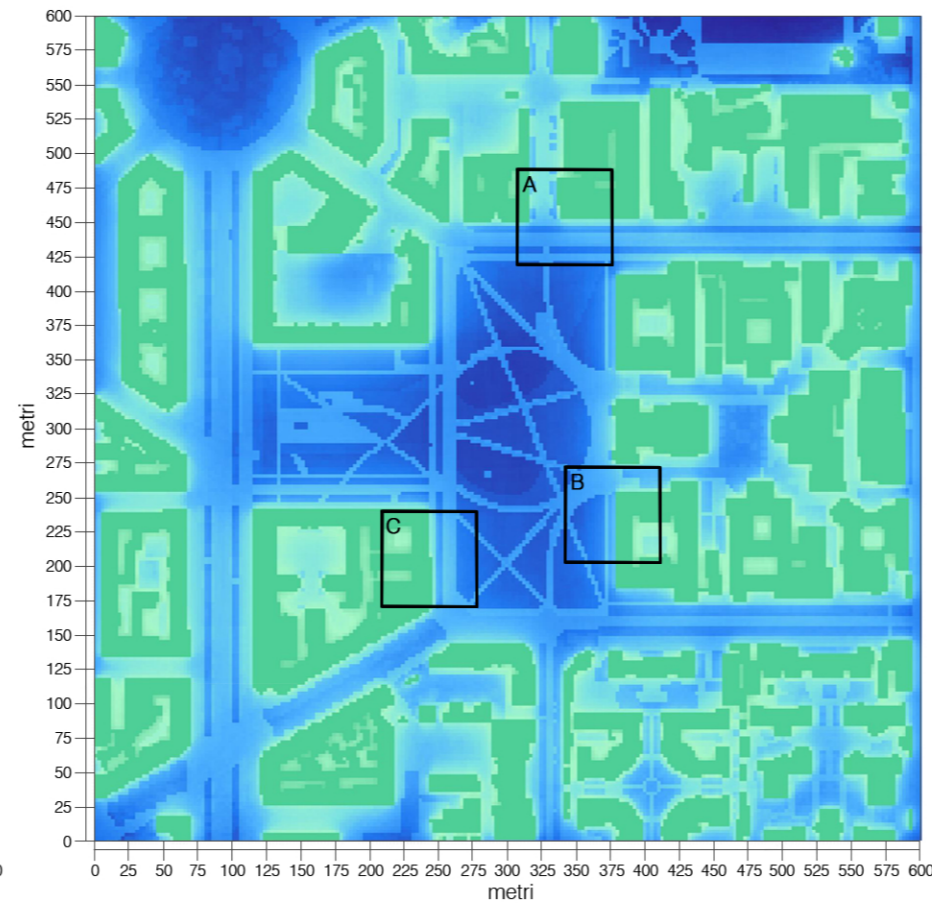
C - piazza Leonardo da Vinci



Pianta ore 00:00



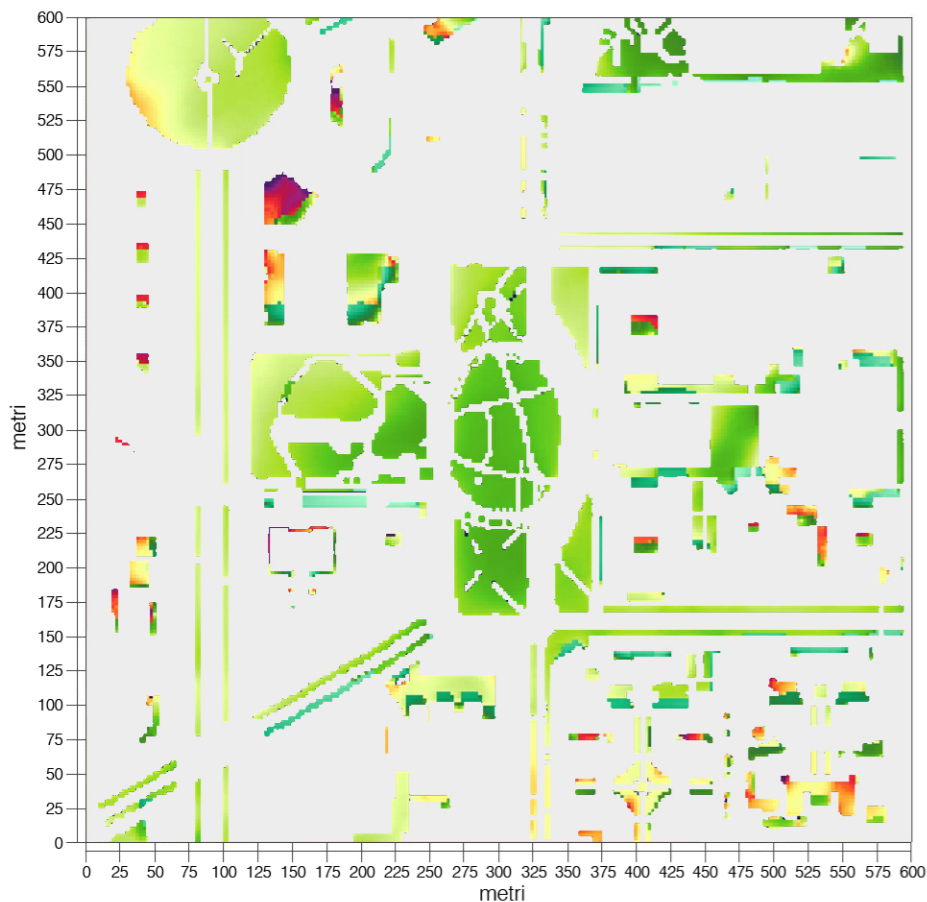
Pianta ore 00:00



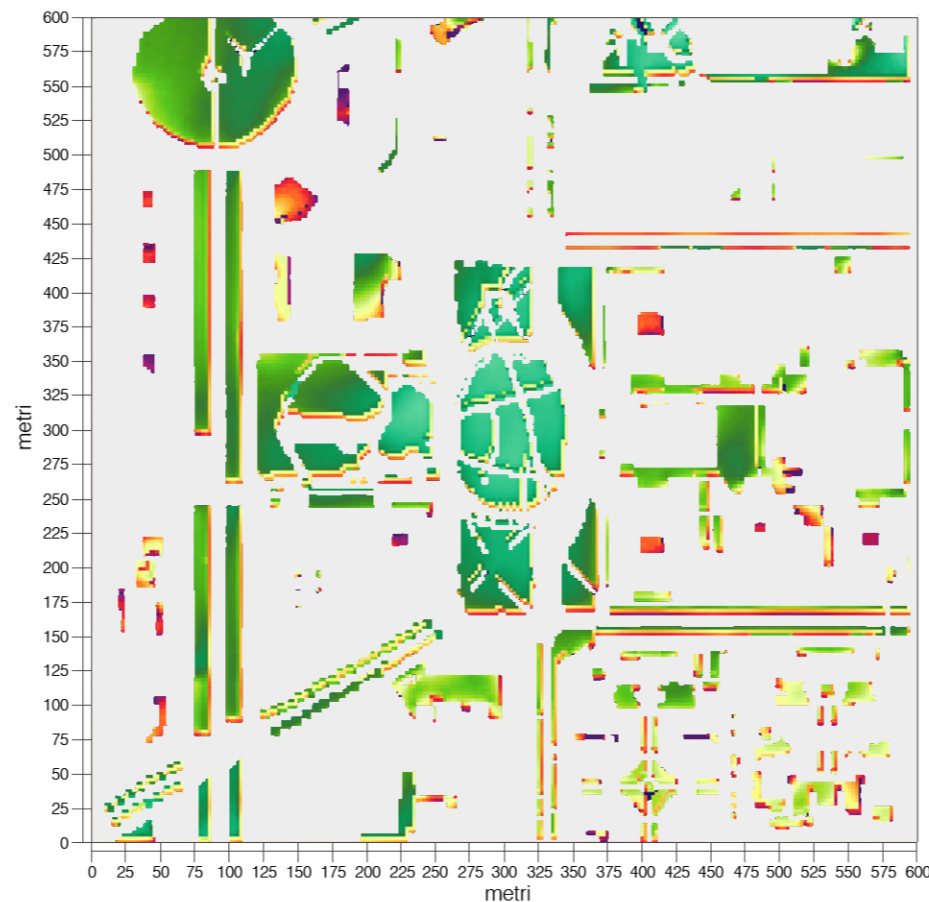
Come è stato visto in precedenza, durante le ore notturne la superficie a prato raggiunge temperature più basse rispetto alla stessa ricoperta da alberi ma non innesca il fenomeno della formazione della brezza fresca. La superficie coperta da alberi, al contrario, si raffredda più lentamente perchè la chioma non permette lo spostamento verticale dell'aria che quindi si espande orizzontalmente andando a lambire le adiacenti superfici più calde e abbassandone quindi la temperatura.

Nei dettagli A, B e C è possibile osservare il fenomeno del rilascio di calore da parte degli edifici nelle ore notturne. Già solo da un punto di vista cromatico generale è possibile osservare come nello scenario rappresentate l'ipotesi di progetto i colori predominanti tendano verso il blu, più scuro rispetto alla situazione attuale. Nello specifico invece si può vedere come l'aver posto gli alberi a ridosso delle facciate degli edifici blocca, o quanto meno riduce, il rilascio di calore da parte delle superfici opache, abbassando così la temperatura dell'aria.

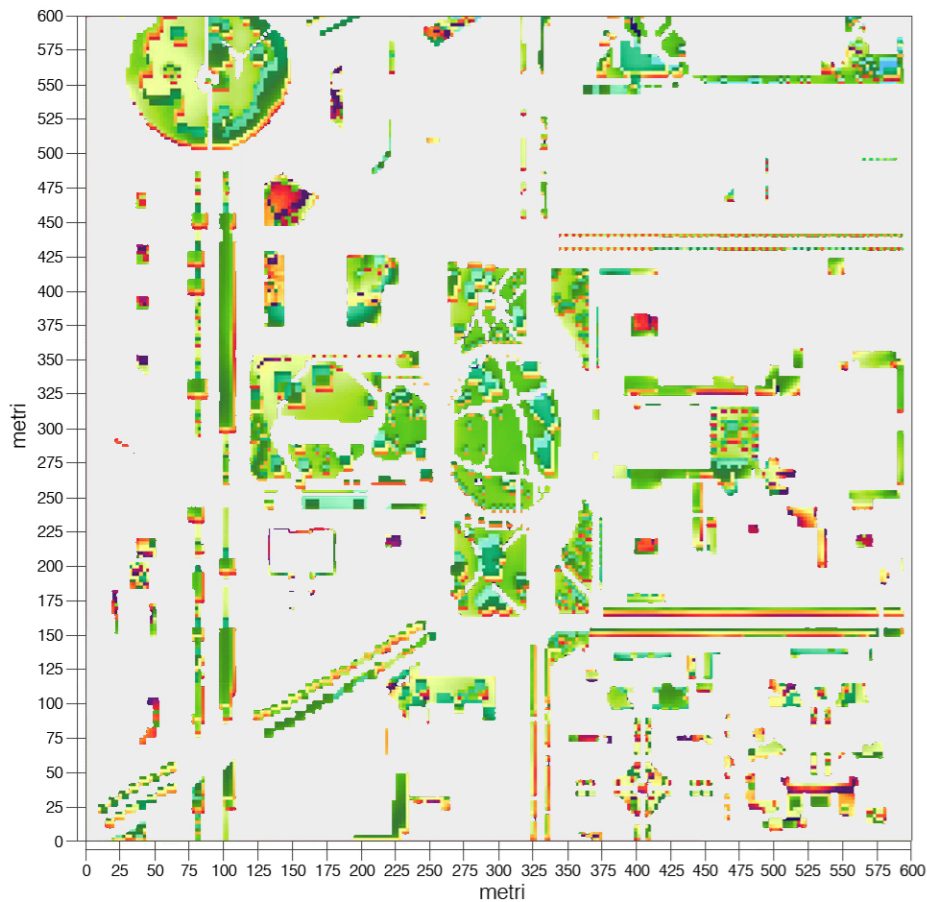
PRATO



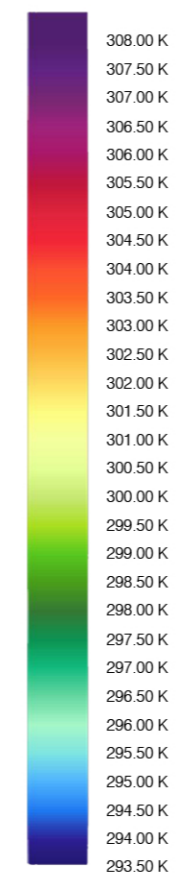
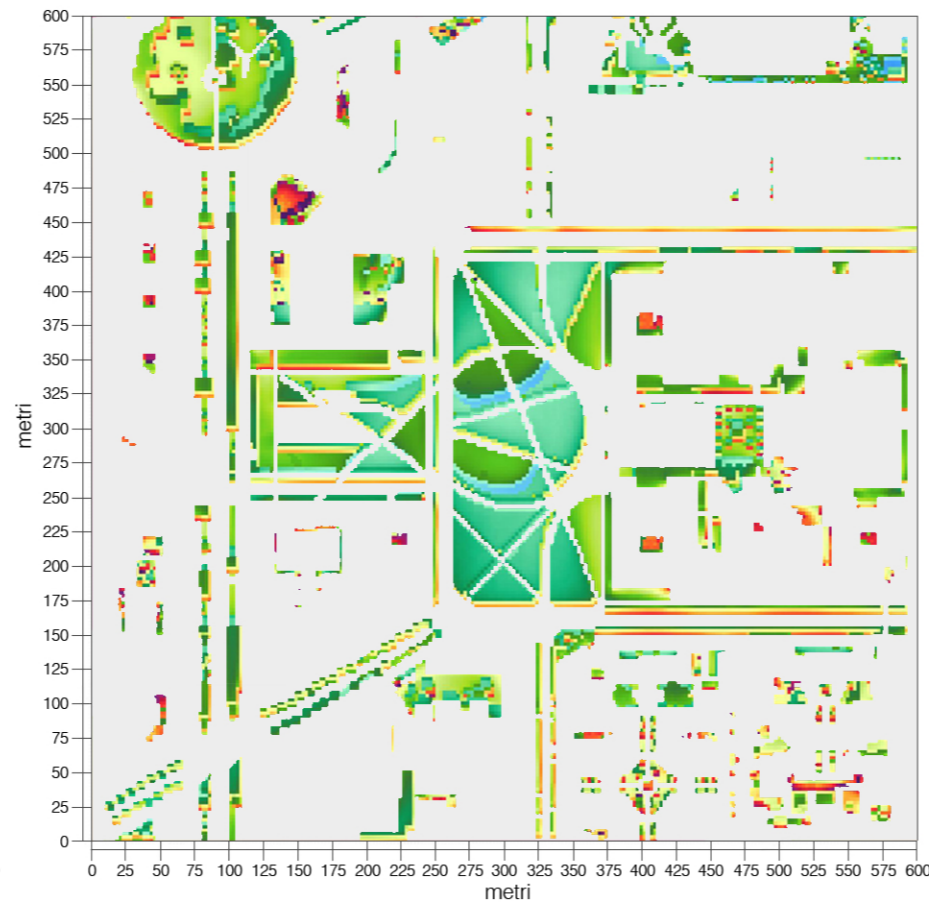
ALBERI



STATO DI FATTO



PROGETTO



TEMPERATURA SUPERFICIE FOGLIARE

11 LUGLIO 2011

ORE 12:00

Le simulazioni vengono effettuate solamente nelle ore diurne (ore 12:00) perchè il software non prevede il calcolo della temperatura superficiale di foglia durante le ore notturne.

La conoscenza della TEMPERATURA SUPERFICIALE DI FOGLIA, oltre ad essere un importante indicatore per la scelta della vegetazione, è necessaria per calcolare lo scambio termico tra la vegetazione e l'ambiente circostante. Il vento che agisce sul verde, lambisce le foglie, ed è in parte influenzato anche dalla loro temperatura superficiale.

# BIBLIOGRAFIA

---

Dessi, V. (2007), *Progettare il comfort urbano*, Napoli, Sistemi Editoriali

Honjo, T. and Takakura, T. (1990-1991), "Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas", *Energy and Buildings*, 15, pp. 443-446

Spronken-Smith, R. A. (1994), *Energetics and cooling in urban parks*, Thesis, The University of British Columbia, Vancouver

[www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)

## 8. CONCLUSIONI

---

Con il presente elaborato si sono voluti studiare gli effetti del verde sulla mitigazione dell'isola di calore urbana.

Iniziando con il definire cos'è l'isola di calore, ne vengono analizzate la formazione, le cause e gli effetti; allo stesso modo viene studiato il ruolo del verde all'interno di una struttura urbana e le capacità, microclimatiche e non, della vegetazione.

Una volta definito un quadro generale dell'argomento, grazie al software di simulazione ENVI-met si effettuano degli studi preliminari che permettono di determinare in che modo e in che misura la vegetazione influisce sulla diminuzione dell'effetto dell'isola di calore.

Grazie ai risultati ottenuti, si propone una sistemazione del verde di piazza Leonardo da Vinci a Milano con lo scopo di migliorare le capacità di mitigazione del microclima da parte delle superfici verdi presenti nell'area di studio.

Dai risultati ottenuti si possono estrapolare alcune linee guida per la progettazione del verde ai fini di mitigare l'isola di calore:

- un'area ricoperta da alberi ha più influenza sulla diminuzione dell'isola di calore rispetto alla stessa area ricoperta da prato che però, a sua volta, risulta sicuramente più vantaggiosa rispetto ad una pavimentazione;
- gli alberi con la loro ombra, se collocati vicino agli edifici o alle pavimentazioni scure, possono proteggere le superfici e fare in modo che assorbano meno calore durante il giorno e quindi ne rilascino meno durante la notte diminuendo così le temperature dell'aria;
- gli effetti della brezza fresca si propagano nella struttura urbana per una profondità corrispondente alla larghezza dell'area ricoperta dalla vegetazione;
- non sono necessarie grandi estensioni di vegetazione per avere effetti sulla mitigazione dell'isola di calore ma sono efficienti anche piccole aree verdi collocate alla giusta distanza tra loro, in modo che gli effetti si "tocchino" e si crei continuità per il fenomeno della riduzione della temperatura.

L'elaborato non ha la presunzione di formulare delle vere e proprie regole per la progettazione del verde ma solo di dimostrare come la vegetazione, se "usata" nella maniera corretta può essere uno strumento fondamentale per migliorare il comfort delle città e di conseguenza aumentare il livello di benessere della popolazione.

Come per gli edifici, anche la "costruzione" del verde deve essere studiata, progettata e analizzata fin nei dettagli e si deve passare da una visione della vegetazione come semplice strumento decorativo, ad una visione del verde come vero e proprio strumento funzionale soprattutto per quel che concerne la mitigazione del microclima.



## 9. BIBLIOGRAFIA GENERALE

---

Ahmad, S. A. (1992), *Some effects of urban parks on air temperature variations in Kuala Lumpur, Malaysia*, Paper presented at the 2<sup>nd</sup> Tohwa University International Symposium, Fukuoka, Japan

Arnfield, A. J. (2003) "Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island", *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1-26

Bellomo, A. (1997), *Il verde urbano come strumento di controllo degli spazi antropizzati*, tesi di laurea, Milano, Politecnico di Milano

Berdahl, P. and Bretz, S. (1997), "Preliminary Survey of the Solar Reflectance of Cool Roofing Materials", *Energy and Buildings*, 25, 2, pp. 149-158

Bisson, M. (2009) *Simulazione del microclima urbano di Milano mediante il software Envi-met*, Tesi, Politecnico di Milano

Brad, B. (2002), *Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure*, Urban Heat Island Summit, Toronto

Brundl, W. et al (1986), "The influence of vegetation and buildings on the climate and air quality in Bavaria", Chair of Bioclimatology and applied meteorology of the university of Munich, Germany

Ca, V. T. et al (1998), "Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park", *Energy and Buildings*, 29, pp. 83-92

Cerizza, D. (2011) *L'influenza della vegetazione sul microclima degli ambienti esterni – un caso studio*, Tesi, Politecnico di Milano

Chandler T.J. (1965), *The climate of London. Meteorological office temperature data for London (1931-1960)*, Londra, Hutchinson

Chen, Yu (2005) "Thermal benefits of city parks", *Energy and Buildings*, 38, pp. 105-120

Cocci Grifoni, R. (2012) "In search of new paradigms to interpret and design the contemporary city", *Transactions on Ecology and the Environment*, 155

Comune di Forlì, Settore ambiente, *Progetto di fattibilità di un sistema del verde di mitigazione da*

*inquinamento*

Dal Co, F. (1973), *Dai parchi alla regione*, in Ciucci et al (1973), *La città americana dalla guerra civile al New Deal*, Bari, Laterza Editore

Dessi, V. (2007), *Progettare il comfort urbano*, Napoli, Sistemi Editoriali

Fabbri, P. e Della Valle, M. F. (2010), *Il verde urbano. Struttura e funzione*, Maggioli editore

Grosso, M. (1997), *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Rimini, Maggioli

Guccione, B. e Paolinelli, G. (2001), *Piani del verde & piani del paesaggio*, Firenze, Alinea editrice

Haub, C. (2007), "The 2007 World Population Data Sheet", *Population Reference Bureau*

Honjo, T. and Takakura, T. (1990-1991), "Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas", *Energy and Buildings*, 15, pp. 443-446

Howard L. (1820), *The climate of London*, Londra, Harvard university library

Jauregui, E. (1990-1991), "Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city", *Energy and Buildings*, 15, pp. 457-463

Kawashima, S. (1990-1991), "Effect of vegetation on surface temperature in urban and suburban areas in winter", *Energy and Buildings*, 15, pp. 465-469

Lindberg, F. et al (2008), "SOLWEIG 1.0 - Modelling spatial variations of 3D radiant fluxes and mean radiant temperature in complex urban settings", *International Journal of Biometeorology*, 52, pp. 697-713

Lindberg, F. e Grimmond, C. S. B. (2011), "The influence of vegetation and building morphology on shadow patterns and mean radiant temperatures in urban areas: model development and evaluation", *Theoretical Applied Climatology*, 105, pp. 311-323

Matzarakis, A. et al (2006), *Modelling the thermal bioclimate in urban areas with the RayMan*, PLEA2006 - The 23<sup>rd</sup> Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland

Matzarakis, A. et al (2007), "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - application of the RayMan model", *International Journal of Biometeorology*, 51, pp. 323-334

- Matzarakis, A. et al (2010), "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model", *International Journal of Biometeorology*, 54, pp. 131-139
- McHarg, I. (1969), *Design with nature*, New York, Doubleday & company
- Oke, T.R. (1982), "The energetic basis of the urban heat island", *Quarterly journal of the royal meteorological society*, 108, 455, pp. 1-24
- Oke, T.R. (1987), *Boundary Layer Climates*, New York, Routledge
- Oke, T. R. (1989), "The micrometeorology of urban forest", *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, B324, pp. 335-349
- Oke, T.R. (1997), "Urban Climates and Global Environmental Change", *Applied Climatology: Principles & Practices*, pp. 273-287
- Paoletti, E. (2011), "Air quality impact of an urban park over time", *Procedia Environmental Sciences*, 4, pp. 10-16
- Pettina, G. (1996), *Olmsted. L'origine del parco urbano e del parco naturale contemporaneo*, Firenze, CentroDi
- Rapporto Apat (2007), *Cambiamenti climatici ed eventi estremi, rischi per la salute*, Roma
- Rapporto Legambiente (2007), *Città: il clima è già cambiato*, Roma
- Saito, I. et al (1990-1991), "Study of the effect of green areas on the thermal environment in an urban area", *Energy and Buildings*, 15, pp. 493-498
- Santamouris, M. et al. (2001), "On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings", *Solar Energy*, 70, 3, pp. 201-216
- Scudo, G. (1995), *Le stanze verdi nella città di pietra*, dal sito internet [www.resident.it](http://www.resident.it)
- Scudo, G. e Ochoa de la Torre, J. M. (2003), *Spazi verdi urbani*, Napoli, Sistemi Editoriali
- Semenzato, P. (2003), *Un piano per il verde. Pianificare e gestire la foresta urbana*, Padova, Signum
- Sicurella, A. (2010), *Progettare il verde. Tecniche e soluzioni*, Sistemi Editoriali

Spronken-Smith, R. A. (1994), *Energetics and cooling in urban parks*, Thesis, The University of British Columbia, Vancouver

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2006), *World Urbanization Prospects: The 2005 Revision*

Upmanis, H. et al (1998), "The influence of green areas on nocturnal temperatures in a high latitude city (Goteborg, Sweden)", *International journal of climatology*, 18, pp. 681-700

Voogt, J.A. and Oke, T.R. (2003), "Thermal Remote Sensing of Urban Areas", *Remote Sensing of Environment*, 86, pp. 370-384

Watkins R. et al. (2002), "The London heat island: results from summertime monitoring", *Building Services Engineering Research & Technology*, 23, 2, pp. 97-106

[www.envi-met.com](http://www.envi-met.com)