

# ISOLE DI CALORE URBANE

*Studio delle cause e degli effetti del  
fenomeno e analisi delle misure adottate  
o adottabili per fronteggiare il problema*

*Giulia Ravaioli*

Relatrice: *Silvia Barbero*

Laurea Triennale in  
*Design e Comunicazione*

A.A. 2021/2022



**Politecnico  
di Torino**

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Triennale in  
Design e Comunicazione



TESI DI LAUREA TRIENNALE

a.a. 2021-2022

Isole di calore urbane: studio delle cause e degli  
effetti del fenomeno e analisi delle misure adottate o  
adottabili per fronteggiare il problema

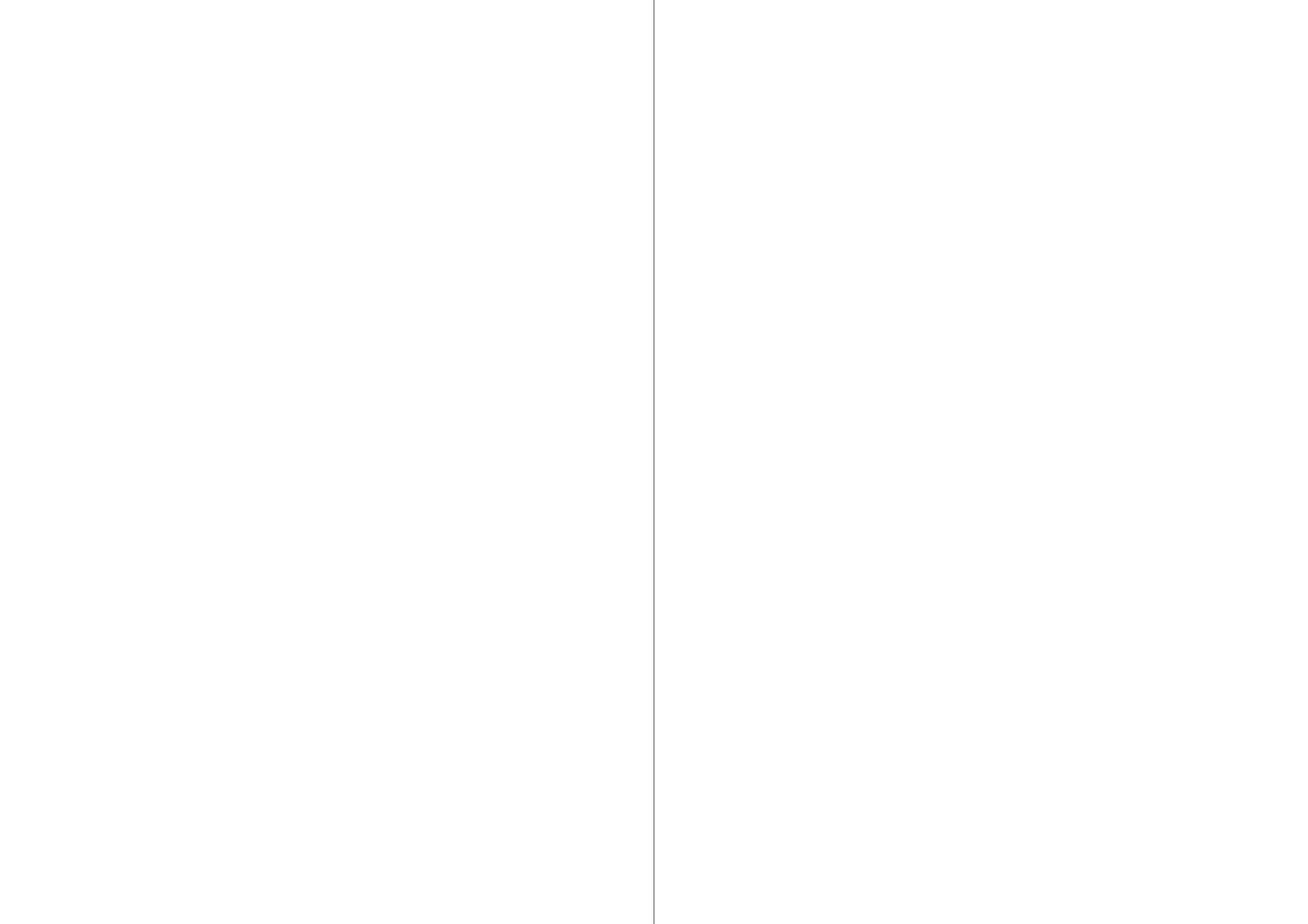
RELATRICE

Prof.ssa Silvia Barbero

CANDIDATA

Giulia Ravaioli

s271057



Abstract ITA  
Abstract ENG

Capitolo 01 pag 17  
CAUSE DELLE ISOLE DI CALORE URBANE

Premessa: definizione del fenomeno

- 1.1. Cause
  - 1.1.1. Materiali
  - 1.1.2. Pavimentazione
  - 1.1.3. Geometria della città
  - 1.1.4. Attività antropica

Capitolo 02 pag 25  
EFFETTI DELLE ISOLE DI CALORE URBANE

- 2.1. Effetti sull'ambiente
  - 2.1.1. Gas climalteranti e GWP
  - 2.1.2. Carbon Footprint
- 2.2. Effetti sulla salute umana
  - 2.2.1. Colpo di calore
  - 2.2.2. Disidratazione
  - 2.2.3. Congestione

- 2.2.4. Crampi
- 2.2.5. Edema
- 2.2.6. Variazioni della pressione arteriosa
- 2.2.7. Svenimento
- 2.2.8. Aumento delle malattie infettive
- 2.2.9. Aggravamento delle malattie preesistenti

## Capitolo 03 pag 41

### CATEGORIE PIÙ A RISCHIO

- 3.1. Categorie più a rischio
  - 3.1.1. Soggetti anziani
  - 3.1.2. Bambini e neonati
  - 3.1.3. Donne in gravidanza
  - 3.1.4. Malati cronici
  - 3.1.5. Persone affette da disturbi psichici
  - 3.1.6. Persone non autosufficienti o con ridotta mobilità
  - 3.1.7. Persone che assumono farmaci
  - 3.1.8. Persone che fanno uso di alcol e droghe
  - 3.1.9. Persone con condizioni socioeconomiche disagiate

## Capitolo 04 pag 47

### CASO STUDIO FENOMENO

- 4.1. Casistudio fenomeno
  - 4.1.1. USA
  - 4.1.2. Italia

## Capitolo 05 pag 55

### STRATEGIE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO

- 5.1. Strategie di mitigazione e adattamento
  - 5.1.1. Mobilità sostenibile
  - 5.1.2. Utilizzo di energia da fonti rinnovabili
    - 5.1.2.1. Energia solare
    - 5.1.2.2. Energia eolica
    - 5.1.2.3. Energia idroelettrica
    - 5.1.2.4. Energia geotermica
    - 5.1.2.5. Energia cinetica
  - 5.1.3. Cool Materials
  - 5.1.4. Aumento del verde urbano

## Capitolo 06 pag 135

### ANALISI DEL PROBLEMA E DELLE SOLUZIONI ADOTTABILI

- 6.1. Obiettivo
- 6.2. Analisi del problema
- 6.3. Sistemi di raffrescamento e refrigerazione
  - 6.3.1. Componenti
  - 6.3.2. Ciclo termodinamico
  - 6.3.3. Fluido refrigerante
- 6.4. Tipologie
  - 6.4.1. Dispositivi monoblocco portatili
  - 6.4.2. Dispositivi fissi
- 6.5. Enunciato di Clausius
- 6.6. Soluzioni passive
  - 6.6.1. Utilizzo di colori chiari
  - 6.6.2. Impiego di materiali naturali nell'edilizia
  - 6.6.3. Ventilazione naturale
  - 6.6.4. Muratura massiva
  - 6.6.5. Aumento del verde urbano

Capitolo 07  
LINEE GUIDA

pag 159

7.1. Linee guida  
7.1.1. Mobilità  
7.1.2. Energia  
7.1.3. Edilizia

Capitolo 08  
CONCLUSIONI

pag 171

8.1. Conclusioni

Bibliografia

pag 175

Sitografia

pag 176

Iconografia

pag 182

Ringraziamenti

pag 186

## ABSTRACT ITA

È ormai noto che il pianeta si sta sempre più surriscaldando e nonostante siano stati elaborati numerosi terribili scenari, le misure finora adottate per far fronte a questa problematica non risultano essere sufficienti. L'elaborato si concentra sul fenomeno dell'isola di calore urbana, ovvero l'aumento di temperatura che si verifica all'interno delle città, in particolare nel periodo estivo, rispetto alle zone rurali limitrofe, analizzandone le cause scatenanti e gli effetti sulla salute dell'uomo e sul pianeta.

Si individuano quattro macro categorie entro le quali è possibile agire, proponendo strategie di mitigazione e adattamento al fenomeno, e si riportano numerosi esempi di

interventi già in atto in tutto il mondo. In particolare, ci si domanda se sia possibile raffrescare un ambiente interno senza immettere contemporaneamente aria calda all'esterno, contribuendo alla creazione delle isole di calore nelle città. Per il secondo principio della termodinamica non è possibile evitarlo in quanto l'utilizzo di sistemi di climatizzazione richiedono la spesa di una certa quantità di energia per poter funzionare. Questo viene confermato dall'analisi svolta sui sistemi di condizionamento attualmente presenti sul mercato.

Tuttavia, esistono soluzioni di tipo passivo che non richiedono l'utilizzo di energia per

poter funzionare, anche se non sempre sufficienti alla climatizzazione degli ambienti interni senza l'integrazione di un vero e proprio impianto, ma a seconda delle diverse esigenze dell'utente potrebbero rivelarsi strategiche e talvolta esaustive, purché venga fatta a monte un'accurata progettazione capace di sfruttare al meglio le condizioni al contorno.

Sono riportate infine alcune linee guida che ciascuno di noi può adottare al fine di ridurre il proprio impatto sul pianeta e, nello specifico, sulle isole di calore urbane. Ci si trova davanti ad una problematica molto complessa nella quale sono coinvolti decine o centinaia di fattori e non esiste una

soluzione semplice, unica o lineare per "contrastare" il problema. Risulta chiara la necessità di trovare soluzioni sistemiche di più ampio raggio e di favorire la collaborazione tra governi, autonomie locali, industrie e cittadini per promuovere e attuare provvedimenti e buone pratiche che riescano a far fronte al problema, oramai non più sottovalutabile.

## ABSTRACT ENG

It is now known that the planet is increasingly overheating and, despite the fact that many terrible scenarios have been developed, the measures already taken to tackle this problem are not sufficient. The thesis aims to focus on the urban heat island phenomenon, which consist of the increasing of the temperature in the cities, especially during the summer, compared to neighboring rural areas, analysing the causes of the phenomenon and the effects it has on human health and planet. Four macro categories have been identified within which it is possible to act, proposing mitigation and adaptation strategies to the phenomenon, and numerous examples of worldwide

practiced interventions have been reported. In particular, one wonders whether it is possible to cool an internal environment without simultaneously injecting hot air outside, contributing to the creation of heat islands in cities. According to the second principle of thermodynamics, it is impossible to avoid it because the use of air conditioning systems require the expenditure of a certain amount of energy to operate. This is confirmed by the analysis carried out on air conditioning systems currently on the market. However, there are passive solutions that do not require the use of energy to operate, although not always sufficient for the air conditioning of indoor environments without

the integration of a real system, but depending on the different user's needs could prove to be strategic and sometimes exhaustive as long as a careful design capable of exploit the boundary conditions is made upstream.

Finally, there are some guidelines that each of us can immediately adopt in order to reduce its impact on the planet and specifically on the urban heat islands. We are facing a very complex problem in which dozens or hundreds of factors are involved, and there is no simple, unique or linear solution to "counteract" the problem. It's clear that wider systemic solutions need to be found and that governments, local authorities, industry and citizens need to work

together to promote and implement measures and good practices to tackle the problem now no longer underrated.

# 01

## Capitolo 01

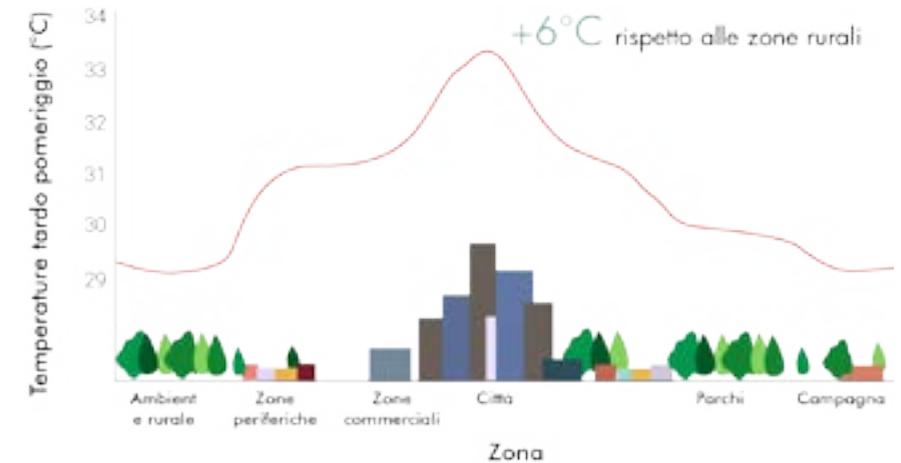
Cause delle isole di calore

# ISOLA DI CALORE URBANA

Per “**isola di calore urbana**” (UHI: “Urban Heat Island”) si intende l’aumento di temperatura che si verifica spostandosi dalle zone rurali, o limitrofe alla città, al centro urbano. È possibile che vi sia un innalzamento della temperatura del microclima con differenze anche fino a 6°C rispetto alle zone circostanti. Il fenomeno dell’UHI si genera soprattutto quando, all’interno della città, viene a mancare sempre più il verde urbano (parchi, viali, ...) a favore di suoli impermeabilizzati che non consentono un’adeguata traspirazione del terreno e di edifici, come scuole, negozi, supermercati e condomini, i cui materiali hanno la caratteristica di assorbire molto calore. Attualmente più del 50% della popolazione umana vive all’interno delle città rispetto al 30% di cinquanta anni fa, e si prevede che entro il 2030 circa il 60% della popolazione globale, stimata a 8,3 miliardi, vivrà nelle città, amplificando il fenomeno e la vulnerabilità delle popolazioni ai decessi dovuti al caldo. L’UHI è maggiormente percepita durante la stagione estiva, dove vi è un grande immagazzinamento di calore durante le ore diurne e un successivo rilascio nelle ore notturne, con conseguente aumento della temperatura media e lo scatenarsi di una serie di disagi psicofisici alla popolazione che vi abita.

*(Wiley Online Library, 2020, Effetti dell’isola di calore nella valutazione del ciclo di vita urbano)*

*(Luber George, Prudent Natasha, NLM, Cambiamenti climatici e salute umana)*



01.  
Rappresentazione dell’isola di calore urbana, elaborazione dell’autore

## 1.1. CAUSE

Il maggior accumulo di calore, all’interno delle città, è dovuto ad una serie di concause, di cui le quattro principali sono: le proprietà termiche dei materiali utilizzati all’interno della città, la pavimentazione, spesso impermeabile, la geometria della città stessa ed infine il calore e l’inquinamento prodotto dalle attività antropiche.

*(Iconaclima, 2020, Isola di calore urbana, perché in città fa più caldo? Le cause del fenomeno)*

### 1.1.1. Materiali

I materiali principalmente utilizzati per la costruzione delle città, come asfalti, cementi, malte e calcestruzzi, hanno un'elevata capacità termica, ovvero di assorbire e trattenere il calore, che influisce considerevolmente e negativamente sull'aumento delle temperature soprattutto nella stagione estiva. Un elemento da tenere in considerazione, inoltre, è il colore dei materiali utilizzati, tipicamente scuri, in grado di assorbire più radiazione solare (e quindi calore). Per misurare questa caratteristica è stato introdotto il concetto di albedo che indica in percentuale e per ogni corpo, la sua capacità di assorbire o riflettere la radiazione solare; è espresso con il coefficiente  $\alpha$ , variabile tra 0 e 1. I corpi chiari hanno maggior capacità di riflessione, per cui avranno un  $\alpha$  alto (es. 0.9, cioè il 90% della radiazione è riflessa e solo il 10% assorbita), mentre i corpi scuri sono maggiormente in grado di trattenere le radiazioni e di conseguenza avranno un  $\alpha$  basso (es. 0.2, cioè riflettono il 20% della radiazione, assorbendone l'80%). È stato stimato che l'albedo complessivo della Terra è pari a 0.35 (quindi vengono assorbite il 65% delle radiazioni).



02. Materiali per l'edilizia, da freepik.com



03. Pavimentazione, da meteo.expert

### 1.1.2. Pavimentazione

Le città, prevalentemente nei quartieri centrali dove vi è un'elevata densità abitativa e il tessuto edilizio è più fitto, sono caratterizzate dalla mancanza di vegetazione a favore di vaste superfici impermeabili, come strade e piazze, per la circolazione di mezzi di trasporto e persone, o per la costruzione di nuovi edifici. Questo comporta, ancora una volta, l'innalzamento delle temperature sopra la media, dovuto al grande assorbimento di calore, e la manifestazione di numerosi disagi psicofisici nell'uomo. L'importanza di riservare suoli liberi e permeabili, con una folta vegetazione, è cruciale per poter garantire un maggiore livello di comfort nelle grandi città. La vegetazione, oltre ad offrire ombra, riesce ad assicurare superfici più fresche grazie alla sua capacità di evapotraspirazione, con la quale sfrutta l'energia solare per l'evaporazione dell'acqua contenuta nel suolo e nelle foglie. In questo modo riesce ad assorbire il calore presente nell'aria e nel suolo e ad utilizzarlo come energia per far consentire il cambio di fase all'acqua, abbassando conseguentemente le temperature.

### 1.1.3. Geometria della città

Per geometria della città si intende la disposizione degli edifici e degli spazi verdi all'interno del centro abitato. Si parla anche di rugosità della città, facendo riferimento alle altezze e al posizionamento degli edifici costruiti, che rischiano di creare un ostacolo alla circolazione dei venti. Più gli edifici sono alti e vicini gli uni agli altri (città molto rugosa), più il vento farà fatica a circolare tra essi, aumentando la sensazione di disagio e la temperatura percepita. È molto importante durante la progettazione di un nuovo centro abitativo tenere in considerazione tutti gli aspetti legati a questo fenomeno, garantendo zone di verde urbano e possibili spazi con laghetti o ruscelli per favorire il raffrescamento dell'ambiente e la circolazione dei venti.



04. Geometria città, da freepik.com

05. Attività antropica, da freepik.com



### 1.1.4. Attività antropica

Numerose sono le attività antropiche che, soprattutto all'interno delle grandi città, contribuiscono ad amplificare il fenomeno dell'isola di calore urbana. Tra queste si collocano: il traffico (spostamento delle persone e delle merci con mezzi di trasporto privati o pubblici, come automobili, autocarri, motociclette, autobus, ecc.), il calore prodotto dagli stabilimenti industriali, l'utilizzo sempre più diffuso di sistemi di condizionamento (che espellono aria calda nell'ambiente esterno agli edifici per diverse ore al giorno) e tutte le situazioni di inquinamento (con elevate emissioni di CO<sub>2</sub> ed altri gas climalteranti) che favoriscono ed amplificano l'effetto serra, rallentando così la dispersione del calore verso l'atmosfera.

(Wiley Online Library, 2020, Effetti dell'isola di calore nella valutazione del ciclo di vita urbano)  
(Iconaclima, 2020, Isola di calore urbana, perché in città fa più caldo? Le cause del fenomeno)

# 02

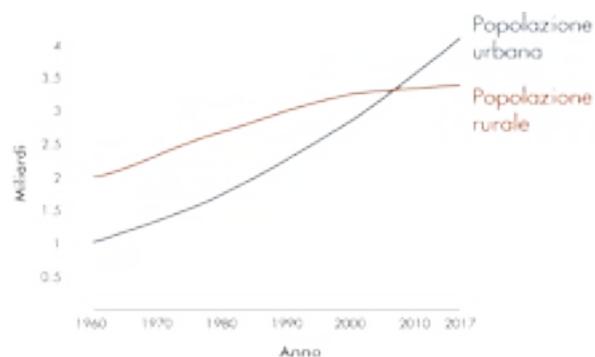
## Capitolo 02

Effetti delle isole di calore

## 2.1. EFFETTI SULL'AMBIENTE

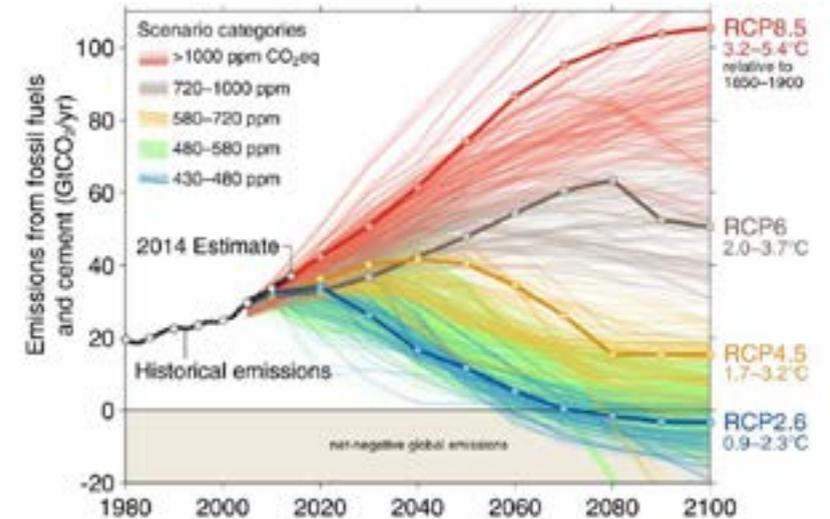
Le UHI sono strettamente correlate ai cambiamenti climatici e sono fenomeni che, senza tempestivi interventi, tenderanno ad aggravarsi a causa dell'innalzamento delle temperature terrestri e della presenza sempre maggiore di gas climalteranti all'interno delle grandi città, quali CO<sub>2</sub> (biossido di carbonio o anidride carbonica), CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (protossido d'azoto) e gas fluorurati come HFC (idrofluorocarburi). Soprattutto negli ultimi decenni si è assistito ad un aumento costante in frequenza ed intensità delle ondate di calore estive e in base a previsioni future (scenari RCP\*) sembrerebbe che queste non siano destinate a decrescere. Il continuo aumento delle temperature medie tenderà a far aumentare il consumo di energia per la climatizzazione degli ambienti e, di conseguenza, le emissioni inquinanti. Attualmente più della metà della popolazione mondiale vive in centri urbani (in Italia circa il 70%) e si prevede che questi dati aumenteranno nel breve futuro (ragione per cui si attende un peggioramento dell'effetto dell'isola di calore urbana come conseguenza del surriscaldamento globale). Di seguito è riportata un'analisi dei fattori che sono coinvolti nel fenomeno e delle principali cause che lo legano ai cambiamenti climatici.

(Ritchie Hanna, 27/09/2018, Our World in Data , Quanto è urbano il mondo?)  
(Infobuildenergia, 04/08/2022, Isola di calore)



06. Popolazione urbana e rurale al 2100, rielaborazione grafica, da Our World in Data

07. RCP, da  
CDIAC/GCP/IPCC/  
Fuss et al 2014



### \* Scenari RCP

I principali scenari RCP (Representative Concentration Pathways) sono quattro e descrivono, in termini di concentrazione di gas climalteranti nell'atmosfera, i possibili scenari futuri verso cui il sistema climatico complessivo potrebbe convergere. Sono delle traiettorie introdotte dall'IPCC<sup>1</sup> utilizzate per la modellazione climatica e la ricerca per il quinto rapporto di valutazione (AR5<sup>2</sup>) del 2014. Ciò che cambia nei vari scenari sono le condizioni al contorno che dipendono a loro volta dall'andamento delle emissioni umane e dalle strategie di mitigazione del cambiamento climatico messe in atto dai vari paesi. L'RCP 2.6 deriva dalla policy dei 2°C, in cui si cerca di mantenere l'aumento della temperatura globale sotto i 2°C rispetto all'epoca preindustriale. L'RCP 4.5 si riferisce all'applicazione parziale degli obblighi previsti dal Protocollo di Kyoto (1997), che impone ai singoli paesi dei vincoli in termini di emissioni di CO<sub>2</sub> equivalenti. L'RCP 6 si riferisce a uno scenario in cui vengono implementate solo alcune misure a livello nazionale, ma non globale, mentre lo scenario peggiore, l'RCP 8.5, non prevede alcuna forma di riduzione o contenimento del cambiamento climatico.

<sup>1</sup>Intergovernmental Panel of Climate Change, ente scientifico formato nel 1988 dall'Organizzazione meteorologica mondiale e il Programma delle Nazioni Unite per l'Ambiente allo scopo di studiare il riscaldamento globale  
<sup>2</sup> Assessment Report, fornisce una panoramica dello stato delle conoscenze riguardanti la scienza del cambiamento climatico, sottolineando i nuovi risultati dalla pubblicazione del IPCC Fourth Assessment Report (AR4) nel 2007.  
(National Center for Climate Service, Cosa sono gli scenari di emissione?)

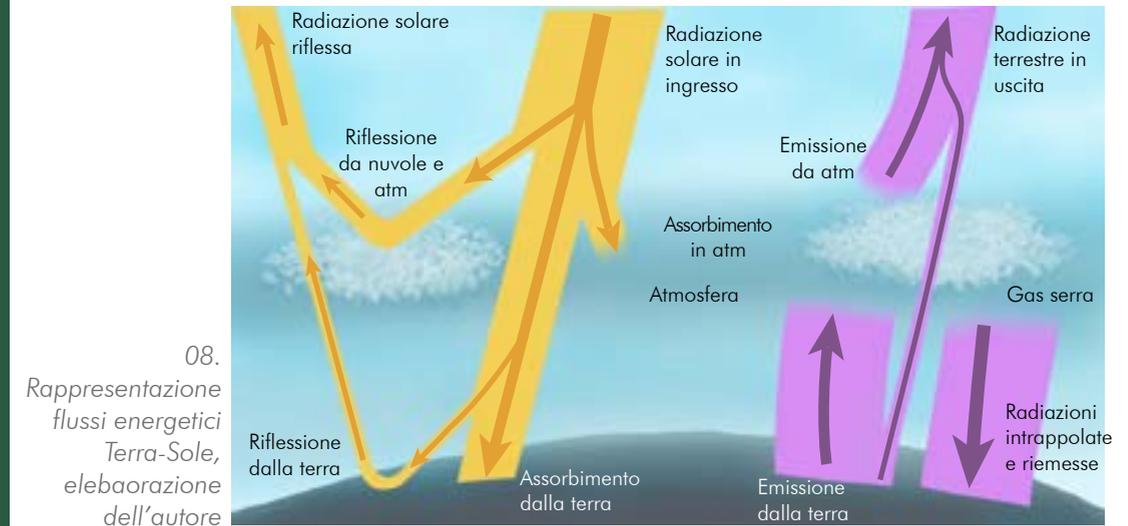
## 2.1.1. Gas climalteranti e GWP

Climalterante è considerata una sostanza che produce l'alterazione del clima terrestre e il protocollo di Kyoto considera gas climalteranti esplicitamente: anidride carbonica, metano, protossido di azoto e due famiglie di gas, idrofluorocarburi e perfluorocarburi.

Il contributo di un gas climalterante all'incremento dell'effetto serra è determinato dalla forzante radiativa del gas, dalla sua concentrazione e dal suo tempo di permanenza nell'atmosfera. Le emissioni rappresentano un flusso, mentre le concentrazioni sono una misura dello stock in atmosfera.

Come fanno i gas climalteranti a produrre gas serra? Perché sono così dannosi specialmente nelle città?

È necessario fare una breve introduzione sul funzionamento di questo fenomeno. I corpi caldi, come il Sole, emettono radiazioni a onde corte, mentre i corpi freddi, come la Terra, emettono radiazioni a onde lunghe. I gas presenti nell'atmosfera (la maggior parte è collocata nella troposfera, il primo strato dell'atmosfera) sono in grado di filtrare le radiazioni a onde corte provenienti dal Sole permettendo loro di colpire la superficie terrestre che, assorbendole, si riscalda. Essendo un corpo "freddo", la Terra, riemette le radiazioni assorbite sotto forma di calore a onde lunghe, di cui una buona parte non riesce più ad uscire dall'atmosfera, rimanendo intrappolate al suo interno. È un meccanismo molto importante perché consente di mantenere un equilibrio naturale delle temperature all'interno dell'atmosfera, che altrimenti sarebbe invivibile per l'essere umano. Le molecole dei gas serra assorbono la radiazione infrarossa delle radiazioni a onde lunghe e la riemettono in tutte le direzioni. È un processo svolto per due terzi dal vapore acqueo (gas serra più presente e importante).



Il fenomeno ha iniziato ad aggravarsi quando l'uomo, con le proprie attività antropiche, ha intensificato l'emissione di molti più gas serra di quelli che il sistema, molto sensibile, riuscisse a sopportare per il mantenimento dell'equilibrio. Le concentrazioni in atmosfera di  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e molti altri gas climalteranti sono aumentate sempre più e la conseguenza diretta è stata l'innalzamento delle temperature su tutto il pianeta, con scioglimento dei ghiacciai, ondate di calore e periodi di siccità, nonché l'aumento in intensità e frequenza di fenomeni naturali estremi come alluvioni, uragani, tempeste e incendi.

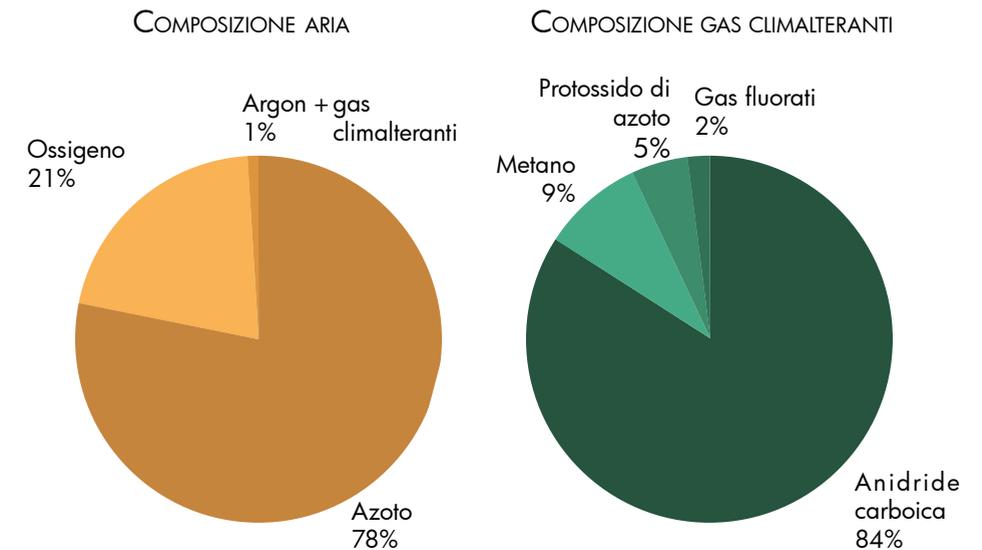
Oltre alle cause già citate nel capitolo 01, *Cause delle isole di calore*, l'elevata concentrazione di gas climalteranti in queste ultime non può che gravare ulteriormente. È stretto il collegamento che unisce le UHI alle UPI (urban pollution islands/ isole di inquinamento urbane) in quanto questi due fenomeni si alimentano a vicenda in un vortice sempre più grande. Anche le UPI sono riconducibili alle attività antropiche svolte nei centri urbani che riversano nell'ambiente elementi inquinanti e fonti di calore. Le elevate temperature cittadine accelerano inoltre alcuni cicli chimici atmosferici generando maggiori emissioni di VOC (composti organici volatili).



09. Inquinamento nella città di Torino, da agi.it

È stato istituito un indice, il **GWP** (Global Warming Potential) in grado di esprimere il contributo di un gas climalterante all'incremento dell'effetto serra, ovvero la capacità di produrre riscaldamento da parte di una molecola di gas serra di ogni specie gassosa. Si misura in CO<sub>2</sub> equivalenti, comparato a 1 kg di CO<sub>2</sub> emessa in un determinato intervallo di tempo. Si paragona il gas climalterante all'anidride carbonica perché quest'ultima è la più presente nell'atmosfera, circa l'84%, ma non perché sia la più inquinante. (È la più presente oltre al vapore acqueo, il quale costituisce i due terzi dell'effetto serra naturale, ma importantissimo per il valore di feedback positivo e necessario ai fini del mantenimento dell'equilibrio della temperatura sulla terra). Una sola molecola di CH<sub>4</sub> assorbe le radiazioni 25 volte di più di una molecola di CO<sub>2</sub>, quindi basta una sola molecola di CH<sub>4</sub> per inquinare quanto 25 di CO<sub>2</sub>. Un altro esempio è l'ossido di diazoto, N<sub>2</sub>O, con un rapporto di 1:298. Una sola molecola di N<sub>2</sub>O equivale a 298 molecole di CO<sub>2</sub>. Questo tipo di gas avrebbe un'incidenza elevatissima, ma fortunatamente è presente in bassissime quantità. Tramite le attività antropiche e il loro inquinamento (traffico, industrie, climatizzazione, ...), la percentuale di CO<sub>2</sub> all'interno delle città sta aumentando sempre più andando ad amplificare il processo di surriscaldamento delle città e rendendo sempre più difficile il processo di dissipazione del calore, anche nelle ore notturne. Per stimare l'impatto che l'attività umana ha sull'aumento della

temperatura nelle città, è stato introdotto un indicatore, chiamato "carbon footprint" che restituisce l'impronta rilasciata da un individuo (o attività) sull'ambiente circostante.



10. Rappresentazione composizione dell'aria e percentuale gas serra, Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino, 2021

(Laio, F., 2021, Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino)

(Wikipedia, 2022, Gas climalteranti)

(Climalteranti, Domande più frequenti – CO<sub>2</sub> e gas serra)

(Ulpiani Giulia, 18/08/2020. PubMed Central, On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework)

## 2.1.2. Carbon footprint

Si definisce carbon footprint (impronta di carbonio) la somma delle emissioni causate da un individuo, un evento, un'organizzazione o un prodotto in un determinato periodo di tempo. Generalmente l'unità di misura utilizzata per la carbon footprint è la tonnellata di CO<sub>2</sub> equivalente; in questo modo vengono presi in considerazione, oltre all'anidride carbonica, anche gli altri gas climalteranti emessi, i quali vengono poi convertiti in CO<sub>2</sub> equivalente.

Nel calcolo dell'impronta di carbonio si tiene conto di tutti i possibili fattori di emissione legati ad un certo prodotto o attività, come ad esempio la generazione di energia elettrica, i trasporti, le abitudini alimentari, l'uso del suolo agricolo, l'allevamento ... Si determinano quali sono le quantità, espresse ad esempio in unità o in km percorsi, e si moltiplicano per il loro fattore di emissione.

È pertanto possibile risalire alle emissioni totali di un individuo (individual carbon footprint) tenendo conto delle sue abitudini alimentari, spostamenti, consumi di energia, ... ed ai relativi fattori di emissione.

Più dettagli si forniscono e più questi sono precisi, maggiore è la possibilità di avvicinarsi alla reale carbon footprint di un individuo. Esistono alcuni siti che permettono di eseguire in autonomia un calcolo approssimativo dell'impronta di carbonio di ognuno di noi come, ad esempio, "green planner carbon footprint calculator", attraverso semplici domande.

*Esempio: si vuole valutare l'impatto di uno studente universitario in un arco temporale prestabilito. Devono essere presi in considerazione moltissimi fattori tra cui: gli spostamenti medi che effettua, i km percorsi, con quale mezzo e come questo viene alimentato, se vive da solo, quante volte si reca a fare la spesa al supermercato, quali sono le sue abitudini alimentari (se vegetariano*

*o vegano l'impatto è minore poiché non vengono calcolate tutte le emissioni legate all'industria della carne e dei derivati, come l'utilizzo di acqua, suolo, macchinari per la lavorazione, mangimi, ecc...). Si tiene in considerazione quanti voli aerei sono stati presi, quanta elettricità è stata consumata in media per la carica di tutti i dispositivi elettronici, il consumo di luce e gas, ecc...*

*(Laio, F. Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino, 2021)*

*(Regione Piemonte, Carbon Footprint - L'Impronta di Carbonio)*

In conclusione, la conseguenza diretta dell'effetto dell'isola di calore urbana sull'ambiente è l'innalzamento delle temperature, sia in estate sia in inverno, che causa a sua volta l'incremento del consumo di acqua ed elettricità, disagi nella gestione dei rifiuti, disagi negli spostamenti e abbassamento del confort abitativo.



11. Carbon footprint, da freepik.com

## 2.2. EFFETTI SULLA SALUTE UMANA

Gli effetti negativi dell'isola di calore urbana sulla salute umana si possono maggiormente osservare durante il periodo estivo, poiché vi è una maggiore possibilità di esposizione a temperature elevate e sopra la media, sia diurne sia notturne, per lunghi periodi di tempo (ore, giornate o settimane). Questa condizione affatica molto il corpo poiché richiede grossi quantitativi di energie per riuscire ad adattarsi alle variazioni di temperatura. A risentirne maggiormente sono le persone deboli, con un sistema di regolazione della temperatura corporea inefficiente. Sono numerose le conseguenze negative che le ondate di calore possono causare sulla salute umana, e tra queste si elencano: colpo di calore, disidratazione, edema, congestione, crampi, aggravamento delle malattie preesistenti e aumento delle malattie infettive.

### 2.2.1. Colpo di calore

Il colpo di calore, o ipertermia, è una condizione che si verifica dopo una prolungata ed eccessiva esposizione al sole (e ai raggi solari), in modo diretto, quando le temperature esterne sono molto elevate ed è presente una grande quantità di umidità nell'aria, accompagnata da assenza di ventilazione. Vi è un rapido aumento della temperatura corporea, e i primi sintomi che si avvertono sono: surriscaldamento cutaneo e corporeo, mal di testa, spossatezza, agitazione, sudore e vertigini.

In caso di mancato intervento la situazione potrebbe aggravarsi portando a stati di agitazione, confusione e perdita di conoscenza. Nei casi più estremi il rapido aumento di temperatura può andare ad intaccare gli organi interni causando danni permanenti o, talvolta, la morte. Il colpo di calore si differenzia dall'insolazione in quanto quest'ultima si verifica quando il tasso di umidità nell'aria è basso. I principali sintomi sono: aumento di calore superficiale, mal di testa, vertigini, ustioni e svenimenti.

### 2.2.2. Disidratazione

Tipica della stagione estiva durante le giornate di caldo estremo, la disidratazione è una condizione per cui la quantità di liquidi che si assume è inferiore a quella che si espelle tramite la sudorazione, meccanismo con il quale il corpo umano riesce a regolare la propria temperatura. Si giunge ad un punto di disidratazione quando, ad esempio, si pratica dello sport all'aperto, senza reintegrare i liquidi e i sali persi con la sudorazione.

La disidratazione si ha anche quando lo stimolo della sete viene a mancare (persone anziane o bambini), o quando in seguito a colpo di calore dovesse insorgere febbre, nausea o vomito. I sintomi principali della disidratazione sono: sete, debolezza, vertigini, ansia, palpitazioni, crampi e abbassamento della pressione arteriosa.

### 2.2.3. Congestione

La congestione avviene quando, in un corpo surriscaldato, vi è la brusca introduzione di bevande ghiacciate durante i pasti o durante la digestione. In questo caso viene richiesto, da parte dell'organismo, un grande afflusso di sangue all'addome, che potrebbe interrompere i processi digestivi. Si manifesta con malessere, sudorazione, tremori, nausea, vomito, crampi allo stomaco e forte dolore toracico.

### 2.2.4. Crampi

Contrariamente a quanto si pensi, l'assunzione di un'elevata quantità di liquidi, potrebbe causare, nelle giornate estive più calde, crampi da calore. Questo avviene perché l'eccesso di liquidi introdotti andrebbe a diluire troppo i sali presenti

all'interno del nostro corpo (di cui una buona parte viene persa tramite la sudorazione), producendo quindi delle forti contrazioni involontarie ai muscoli (soprattutto di cosce, polpacci e piedi). Il muscolo risulta duro e teso, provocando una sensazione di dolore (a volte lieve, a volte molto intenso) che può persistere anche per alcune ore.

### 2.2.5. Edema

Si definisce edema da calore il fenomeno per il quale si ha un gonfiore (localizzato, come su un solo arto, o esteso, su tutto il corpo) dovuto alle elevate temperature. Quando le temperature sono estreme provocano la dilatazione dei vasi sanguigni e l'indebolimento del sistema che regola l'afflusso del sangue al cuore. Il malfunzionamento della circolazione causa inoltre ritenzione idrica, e di conseguenza i liquidi corporei rimangono intrappolati negli spazi interstiziali dell'organismo, provocando gonfiore e dolore.

### 2.2.6. Variazioni della pressione arteriosa

Il caldo funge da vasodilatatore per il nostro corpo, di conseguenza la pressione tende ad abbassarsi e il cuore a lavorare più freneticamente per pompare più sangue nelle zone periferiche del nostro corpo. Gli abbassamenti bruschi della pressione arteriosa possono causare diversi tipi di malessere, come nausea, tremori, sudorazione, debolezza, giramento di testa e svenimento. A risentire maggiormente di questo fenomeno sono le persone anziane e coloro che soffrono di ipertensione o altri disturbi del sistema cardiovascolare.

### 2.2.7. Svenimento

Lo svenimento, con il termine specifico "lipotimia", è caratterizzato da un'improvvisa perdita di coscienza. Quando la causa è il caldo e vi è un immediato calo di pressione, il sangue che si trova nelle zone periferiche del corpo non riesce a circolare correttamente e il cervello non riceve abbastanza ossigeno, quindi per proteggersi, genera lo svenimento dell'individuo.

### 2.2.8. Aumento delle malattie infettive

L'aumento delle temperature porta ad una maggiore incidenza delle infezioni cutanee, tra cui infezioni batteriche, virali e fungine. Il calore favorisce la crescita e la diffusione di patogeni e virus aiutando alcuni tipi di batteri a colonizzare intere popolazioni. A seguito dei cambiamenti climatici e delle estati sempre più calde, molte malattie infettive sono trasmesse da vettori come zanzare, pappataci, zecche e pulci, i quali riescono ad adattarsi in nuove aree geografiche rispetto a quelle native, diventate ormai favorevoli alla loro riproduzione. Malattie un tempo rare diventano così più comuni.

*(Centrostudi Gised, Clima e malattie della pelle - Infezioni e malattie da vettori)*

### 2.2.9. Aggravamento delle malattie preesistenti

Quando le giornate di caldo estremo e con elevato tasso di umidità, si susseguono per un considerevole numero di giorni, possono incidere molto negativamente sui soggetti

già affetti da altre patologie, aggravandole. In alcuni casi non vi è la necessità di ricorrere a professionisti, ma con qualche accortezza si riesce a mantenere la situazione sotto controllo, in altri invece è opportuno recarsi in apposite strutture per essere tenuti sotto sorveglianza (o ricoverati) fino a miglioramento. Nei casi peggiori il calore può aggravare drasticamente le patologie preesistenti fino a portare, in caso di mancato intervento, al decesso. Quando, in determinati periodi dell'anno, si registra un'impennata delle temperature medie, seguita, a distanza di 1-3 giorni, da un'impennata di decessi, si desume che questi ultimi siano direttamente correlati alle ondate di calore. La situazione è aggravata, soprattutto nei soggetti più fragili, quando tali impennate si verificano all'inizio del periodo estivo, quando il loro corpo non si è ancora adattato al cambiamento. I soggetti più a rischio sono quelli che presentano malattie croniche come disturbi cardio e cerebrovascolari, malattie polmonari, del sistema nervoso, del fegato, dei reni, metaboliche (come il diabete), la sclerodermia (che blocca la sudorazione e la possibilità di termoregolare il corpo) e la fibrosi cistica, in cui la sudorazione è eccessiva e vi è il rischio di disidratazione.

Come riporta il sito "Centro di medicina" nell'articolo pubblicato il 26 luglio 2019 "[...] il caldo contribuisce ad aumentare del 35% la mortalità per malattie respiratorie, del 22% per malattie respiratorie croniche, del 15% quella per ischemia cardiaca, del 20% per ictus e del 25% per malattie del sistema circolatorio. "

*(Ministero della Salute, 2021 Rischi per la salute)*

*(Ceteco, 19/09/2019 Quali sono le principali malattie degli anziani?)*

# 03

## Capitolo 03

Categorie più a rischio

## 3.1. CATEGORIE PIÙ A RISCHIO

Le ondate di calore rappresentano un pericolo soprattutto per quelle categorie di persone la cui capacità di termoregolare la propria temperatura corporea non risulta essere ottimale. I seguenti paragrafi trattano, nell'ordine in cui sono maggiormente colpite, le categorie a rischio.

### 3.1.1. Soggetti anziani

Le persone anziane sono particolarmente sensibili al calore in quanto, data la loro età, la loro capacità di regolazione della temperatura corporea è gradualmente diventata inefficiente, e nei soggetti con malattie croniche (cardiovascolari, respiratorie, come asma e bronchite, persone diabetiche, ...) le ondate di calore possono rappresentare un vero e proprio pericolo, specialmente se vivono sole.

### 3.1.2. Bambini e neonati

Essendo così piccoli, i bambini e i neonati, spesso non sono in grado di esprimere i loro disagi dovuti al calore, oppure non hanno ancora sviluppato un sistema di termoregolazione adeguato e in grado di adattarsi rapidamente all'ambiente circostante, con il conseguente rischio di innalzamento della temperatura corporea, e nei casi peggiori, complicanze sul sistema cardiocircolatorio e respiratorio (episodi di broncospasmo).

### 3.1.3. Donne in gravidanza

Le donne in gravidanza, durante tutto il percorso, subiscono continui cambiamenti che richiedono un grande consumo di energia, soprattutto con l'aumento di peso e di volume della pancia negli ultimi mesi. Il caldo estremo può provocare in questi soggetti una forte disidratazione dovuta a sudorazione, e conseguente perdita di sali minerali molto utili al bambino. Inoltre, le donne in gravidanza con malattie croniche, a causa delle ondate di calore, sono soggette a rischio più elevato di parto prematuro.

### 3.1.4. Malati cronici

Soggetti cardiopatici, diabetici con ipertensione o insufficienza renale, oltre a seguire una cura costante e giornaliera per la loro patologia, devono prestare molta attenzione agli effetti che le ondate di calore possono causare sul loro corpo. Vi è un elevato rischio di disidratazione, abbassamento della pressione ed eventuale perdita di coscienza.

### 3.1.5. Persone affette da disturbi psichici

Sia per l'utilizzo di farmaci, di cui il caldo può amplificarne e aggravarne gli effetti, sia perché spesso sono persone con un minor grado di consapevolezza rispetto al mondo che le circonda, questa categoria è considerata ad alto rischio in quanto, i soggetti che ne fanno parte, potrebbero assumere comportamenti inadeguati, con eccessiva agitazione (non capendo quello che sta succedendo) e talvolta comportamenti pericolosi verso sé stessi.

### 3.1.6. Persone non autosufficienti o con ridotta mobilità

Queste persone, non essendo totalmente indipendenti ed autosufficienti, devono fare affidamento su altri soggetti (tutori, badanti, ...) che hanno il compito di regolare la temperatura e l'aerazione dell'ambiente in cui si trovano e l'assunzione di liquidi per un'adeguata idratazione. Se, le persone alle quali questi soggetti sono affidati non sono pienamente all'altezza del loro compito, gli effetti negativi del calore possono essere amplificati.

### 3.1.7. Persone che assumono farmaci

Talvolta i farmaci influiscono momentaneamente sulla capacità di termoregolazione dell'individuo. Se questo accade durante una forte esposizione al calore, e si dovesse riscontrare una situazione di malessere, è bene contattare immediatamente il proprio medico di riferimento per valutare la situazione, prima che questa possa aggravarsi ulteriormente.

I farmaci più comuni sono quelli assunti per: malattie respiratorie, disturbi della tiroide, disturbi psichiatrici, malattie neurologiche e cardiovascolari, ipertensione e disturbi della coagulazione.

### 3.1.8. Persone che fanno uso di alcol e droghe

Alcol e droghe provocano, all'interno dell'organismo, la vasodilatazione cutanea e l'abbassamento della temperatura corporea dovuta alla sudorazione e alla perdita di liquidi e sali minerali, con conseguente disidratazione. Le persone che assumono questo tipo di sostanze potrebbero trovarsi in uno stato di euforia o prive di coscienza e, senza accorgersi della gravità della loro situazione, incorrere in pericoli di vario genere.

### 3.1.9. Persone con condizioni socioeconomiche disagiate

Spesso le persone che si trovano in una condizione economicamente o socialmente disagiata sono più a rischio di altre poiché, causa inconsapevolezza o incapacità fisica di chiedere aiuto, sono esposte a maggiori rischi legati alla salute.

*(Ministero della Salute, Chi rischia di più, 24/05/2022)*

*(Ceteco, Quali sono le principali malattie degli anziani? 9/09/2019)*

04

Capitolo 04

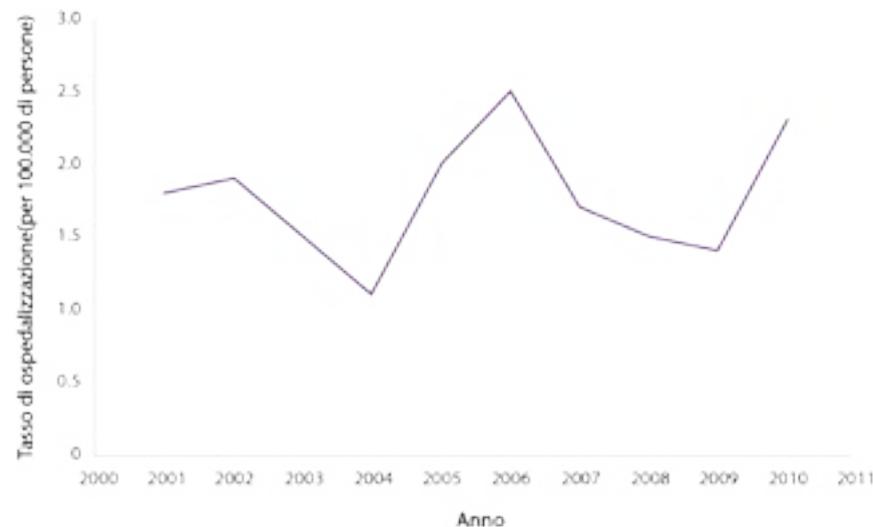
Casi studio USA e Italia

## 4.1. CASI STUDIO FENOMENO

Di seguito si riportano alcuni studi effettuati sul tasso di mortalità avente le ondate di calore come causa. Gli studi riportati sono stati effettuati negli USA e in Italia.

### 4.1.1. USA

#### Ricoveri legati a stress da calore in 20 stati degli USA dal 2001 al 2010



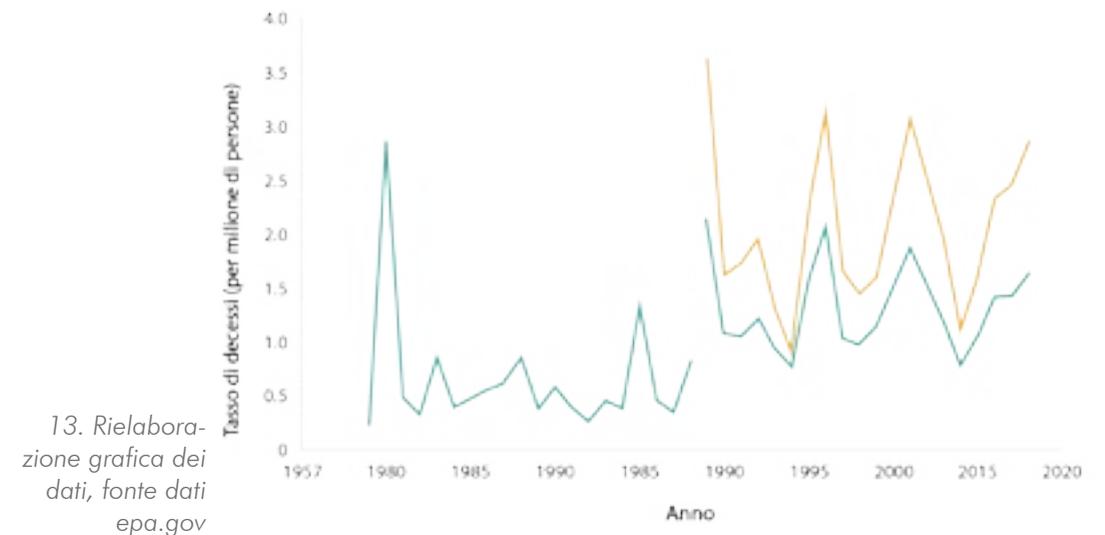
12. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati epa.gov

Il monitoraggio eseguito per questo studio è stato effettuato dal sistema Tracking Network, che raccoglie dati su rischi ambientali, effetti sulla salute, esposizioni e popolazione. Il grafico mostra i ricoveri in ospedale legati al calore per più di 23 h con diagnosi certificata da specialista, in 20 stati degli USA. Il tasso di ricoveri si basa sui registri delle dimissioni ospedaliere dal 1° maggio al 30 settembre di ogni anno, dal 2001 al 2010.

Nell'arco di tempo trascorso si sono registrati 28.133 ricoveri dovuti a stress da calore, di cui la percentuale dei casi di sesso maschile era del 69%, e la restante femminile del 31%. La maggioranza, il 42,3% dei ricoveri, era di persone di età maggiore o pari a 65 anni. Si nota che nel 2006 vi è stato il picco più alto di ricoveri. Il tasso medio è di 1.8 casi ogni 100.000 persone in 10 anni. È riportato che in stati come Kansas, Missouri, Carolina del sud, Tennessee e Louisiana i tassi sono tra i più elevati.

(EPA, 2/08/2022, Indicatori del cambiamento climatico: malattie legate al caldo)

#### Decessi correlati al caldo negli USA tra il 1979 e il 2018



13. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati epa.gov

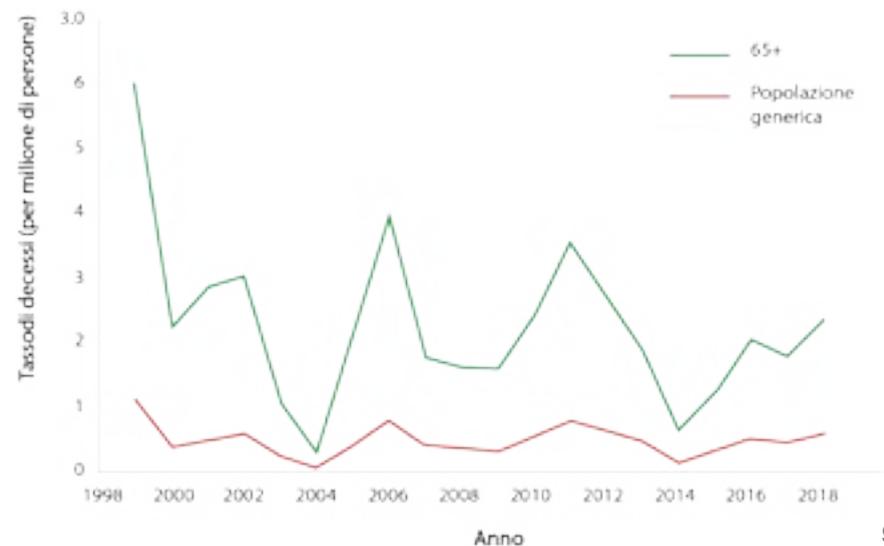
Il grafico riporta le curve con gli andamenti dei decessi correlati al caldo in 50 stati e nel distretto di Columbia. La curva arancione indica i decessi aventi il calore come causa aggravante rispetto ad altre patologie preesistenti, mentre la linea blu indica i decessi per i quali il calore è stato imputato come causa principale. Come è riportato sul sito ufficiale del governo degli Stati Uniti

EPA, "Tra il 1998 e il 1999, l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha rivisto i codici internazionali utilizzati per classificare le cause di morte. Di conseguenza, i dati precedenti al 1999 non possono essere facilmente confrontati con i dati del 1999 e successivi". Questo spiega il motivo per il quale la curva blu appare spezzata tra il 1998 e il 1999.

Nei quasi 40 anni trascorsi dall'inizio dello studio nel 1979, sono state circa 11.000 le persone dichiarate aver perso la vita per cause strettamente legate alle ondate di calore, mentre il tasso di mortalità è sempre oscillato tra 0.5 e 2 casi per milione di persone. Si è riscontrato che, dal 1999, il caldo estremo ha decretato, come aggravante, circa un quarto dei decessi nelle persone affette da malattie cardiovascolari.

(EPA, 2/08/2022, Indicatori del cambiamento climatico: decessi correlati al calore,)

### Morti estive dovute al caldo e alle malattie cardiovascolari negli Stati Uniti tra il 1999 e il 2018



14. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati epa.gov

Il grafico riporta l'andamento dei decessi ufficialmente dichiarati essere correlati a malattie cardiovascolari già preesistenti e le ondate di calore in 50 stati e nel distretto Columbia. Il periodo di riferimento è compreso tra i mesi di maggio e settembre, negli anni tra il 1999 e il 2018.

Confrontando l'andamento delle curve nel grafico "Ricoveri legati a stress da calore in 20 stati degli USA dal 2001 al 2010" e quelle nel grafico "Morti estive dovute al caldo e alle malattie cardiovascolari negli Stati Uniti tra il 1999 e il 2018" si nota come esse seguano gli stessi andamenti ed abbiano gli stessi picchi. Nel grafico "Morti estive dovute al caldo e alle malattie cardiovascolari negli Stati Uniti tra il 1999 e il 2018" è ben visibile come la curva verde, che indica i decessi della popolazione 65+, si distacchi molto da quella rossa della popolazione generica. Il sesso e l'età sono i principali parametri del rischio di ricovero dovuto a stress da calore.

È importante sottolineare che queste analisi potrebbero aver trascurato centinaia di morti in più rispetto a quelle ufficialmente dichiarate, in quanto la raccolta di questi dati è estremamente difficoltosa.

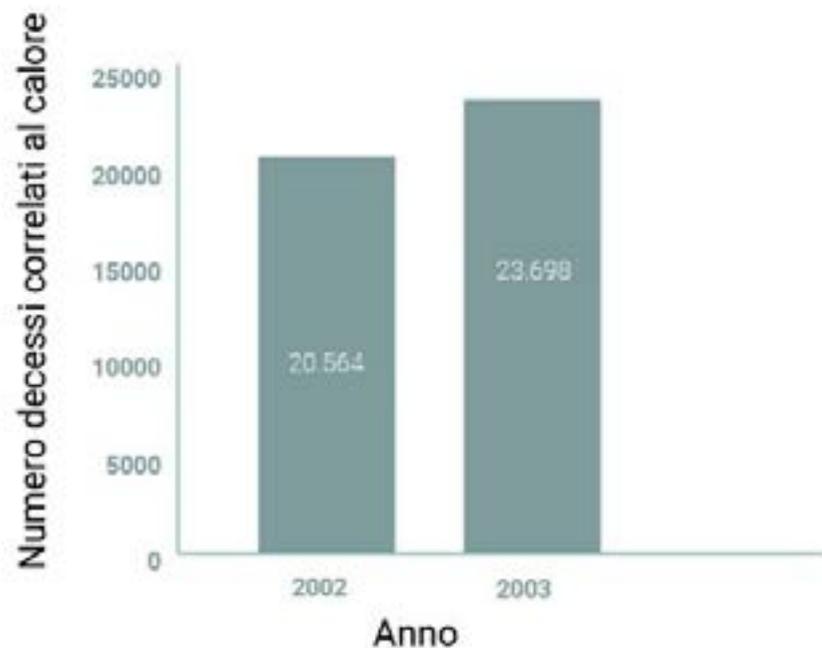
(EPA, 2/08/2022, Indicatori del cambiamento climatico: decessi correlati al calore)

(CDC, 2014, Ricoveri per malattie da stress termico - Programma di monitoraggio della salute pubblica ambientale, 20 Stati, 2001-2010, Ekta Choudhary)

## 4.1.2. ITALIA

### Studio epidemiologico della mortalità durante l'ondata di caldo dell'estate 2003 in Italia

Lo studio è stato svolto in 21 capoluoghi italiani nei mesi di giugno, luglio e agosto del 2003 e i dati ottenuti sono stati confrontati con quelli raccolti nei medesimi mesi dell'anno precedente negli uffici comunali.



15. Elaborazione grafica dei dati, fonte dati [pubmed.gov](http://pubmed.gov)

I risultati della comparazione mostrano che rispetto al 2002 vi è stato un aumento dei decessi di 3.134 casi, raggiungendo la soglia di 23.698 (dai 20.564 del 2002).

Come è stato riportato su PubMed.gov il maggior numero di decessi (92%) è stato registrato tra la popolazione anziana, con un ammontare di 2.876 casi di età pari o superiore a 75 anni, (l'aumento è di oltre un quinto, circa il 21,3%, passando da 13.517 a 16.393 casi). Gli incrementi maggiori sono stati osservati nelle città nord-occidentali come: Torino (44,9%), Trento (35,2%), Milano (30,6%) e Genova (22,2%). Da segnalare anche gli incrementi osservati in due città meridionali, L'Aquila (24,7%) e Potenza (25,4%).

*(Pubmed, 2004, Studio epidemiologico della mortalità durante l'ondata di caldo dell'estate 2003 in Italia)*

05

# Capitolo 05

Strategie di mitigazione e  
adattamento

## 5.1. STRATEGIE DI MITIGAZIONE E ADATTAMENTO

È importante fare una distinzione tra i termini “mitigazione” e “adattamento” in quanto essi spesso vengono associati allo stesso significato, ma in realtà vogliono esprimere due concetti molto differenti.

Il termine “**mitigazione**” fa riferimento al futuro e a come l’uomo possa intervenire ora, nel presente, per agire su eventi che dovranno accadere in futuro. Mitigare significa agire in partenza, senza lasciare che un determinato evento accada. Un esempio può essere quello di tenere in considerazione determinati fattori all’interno della città e come questi possano influire, in un arco temporale prestabilito, sull’ambiente e sulla popolazione. La mobilità sostenibile, che prevede tra i molti punti la diminuzione del numero di veicoli privati circolanti, gli incentivi per la climatizzazione tramite energia pulita e rinnovabile, la diminuzione della domanda di energia elettrica (soprattutto quella derivante da combustibili fossili a favore di quella da energie rinnovabili), ecc. sono tutti esempi di mitigazione.

Il termine “**adattamento**”, invece, fa riferimento a tutte le situazioni disagianti già presenti alle quali ci si deve adattare perché non si è agito d’anticipo. Esempi di questo tipo sono l’introduzione della vegetazione all’interno della città, il rivestimento di edifici già presenti con materiali riflettenti che riescano a respingere le radiazioni solari, ecc.

Sono già state messe in atto numerose soluzioni di mitigazione e adattamento per questa problematica, ma è fondamentale sottolineare che solamente un approccio progettuale urbanistico consapevole potrebbe risolvere l’effetto dell’isola di calore alla

radice attraverso uno studio microclimatico del territorio, al fine di poter progettare al meglio il posizionamento di edifici e spazi verdi, volto anche a favorire la circolazione dei venti e la conseguente ventilazione naturale della città.

L’obiettivo delle strategie di mitigazione e adattamento, unite a quelle di una buona progettazione urbanistica, è quello di una sempre minore richiesta di acqua ed energia (soprattutto da fonti non rinnovabili) e minori emissioni di gas climalteranti. Bisogna dunque pensare a nuove soluzioni che riescano a contenere le temperature nelle città, specialmente durante la stagione estiva, al maggior utilizzo della vegetazione, spesso sottovalutata, all’aumento della riflettività dei materiali, nuove soluzioni per la gestione delle acque meteoriche e per la riqualificazione di spazi altamente inquinati o abbandonati.

Nelle pagine seguenti vengono trattate le principali quattro macro categorie di intervento e per ognuna delle quali sono stati analizzati e riportati dei casi studio.

*(Laio, F., 2021, Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino)*

### 5.1.1. Mobilità sostenibile

Il concetto di mobilità spesso viene inteso solo come lo spostamento delle persone e delle merci dal punto di partenza a quello di destinazione. In realtà questa è solo una piccola variabile all'interno di un sistema molto più grande. Nella mobilità sostenibile sicuramente rientrano tutte le modalità di spostamento attraverso l'utilizzo di mezzi di trasporto sostenibile, ma anche tutte le infrastrutture che lo permettono e i servizi accessori, come parcheggi, marciapiedi, piste ciclabili, ecc., in grado di ridurre il più possibile l'impatto ambientale, sociale ed economico. Sono incluse tutte quelle tecnologie che non fanno uso di combustibili fossili oppure che non producono gas climalteranti (come, ad esempio, lo spostamento a piedi, con la bicicletta, con il monopattino elettrico, ...). Anche la scelta di una macchina ibrida, elettrica o lo spostamento su mezzi di trasporto pubblico e privato condiviso (car pooling o car sharing) rientrano nell'elenco. Nei casi studio di seguito riportati si possono osservare alcuni esempi di mobilità sostenibile che spaziano dal trasporto di persone al trasporto intelligente e compatto di merci (ad esempio sfruttando un solo viaggio per distribuire più prodotti) oppure ancora la scelta di prodotti a km 0 o lo sfruttamento di energie rinnovabili.



16. immagine  
di riferimento  
mobilità  
sostenibile da  
[hr-link.it](http://hr-link.it)



17. Monopattino e bici Pony, immagine da getapony.com

## PONY

Obiettivo	Utilizzo di mezzi sostenibili per la micromobilità interna alla città
Autore	PONY
Luogo e anno	Angers, Francia, 2017
Pregio	Il progetto pone particolare attenzione alla sostenibilità ambientale a 360°, dalla produzione alla manutenzione

### Descrizione

Pony è una società francese di noleggio self-service di biciclette e monopattini elettrici. Opera sulla micromobilità condivisa con veicoli adottabili dai cittadini.

### Come funziona

Ricerca un veicolo nelle vicinanze tramite l'app, scansionare il codice QR presente sul veicolo per sbloccarlo e scattare una foto per bloccarlo quando il viaggio è terminato.

(Pony, Getapony)



Riciclo batterie



Energia verde per la ricarica



Alta qualità dei materiali (progetto e materiali locali)



Modulare, componenti intercambiabili



Dispiegamento verde



Telaio in alluminio (riciclabile), dadi e viti in acciaio antimacchia

### TIPOLOGIE DI VEICOLI

#### OKAY



#### WOLF



#### DOPPIO PONY



18. Pony, rielaborazione immagini da getapony.com



19. The Last Mile, immagine da getf.org

## THE LAST MILE

Obiettivo	Distribuire farmaci salvavita nei paesi più poveri sfruttando la catena di distribuzione della Coca-Cola
Autore	The Coca-Cola Company e il Fondo Globale per la lotta contro l'AIDS, la Tubercolosi e la Malaria
Luogo e anno	Tanzania, Ghana e Mozambico, dal 2010
Pregio	Ottimizzazione degli spazi per il trasporto di merci

Descrizione

Campagna volta a migliorare l'accesso ai farmaci per il trattamento delle malattie nei paesi più poveri, come in Tanzania, Ghana e Mozambico. Il punto di forza del progetto consiste nello sfruttare la distribuzione globale della bevanda, inserendo i medicinali nelle casse della Coca-Cola (fig 20). In questo modo la spedizione del farmaco avviene insieme a quella della Coca-Cola.

Risultati

Sono state raggiunte quasi 20 milioni di persone

Tempi di consegna dei farmaci ridotti fino a 25 giorni

Miglioramento del 20-30% della disponibilità di farmaci essenziali negli ambulatori

*(Coca-Cola Company, 25/09/2012, The Coca-Cola Company e il Fondo Globale insieme per distribuire farmaci nelle aree più remote del mondo)*



Ottimizzazione spazi



Risparmio di carburante



Riduzione emissioni CO<sub>2</sub>



20. Coca-Cola e farmaci, immagine da theindexproject.org



21. uBike e uBus nell'EcoTechnoPark, da ust.inc

## FUNIVIA 2.0

Obiettivo	Spostamento di persone e merci, a impatto zero, attraverso un sistema di funivia sospeso
Autore	Unitsky String Technologies
Luogo e anno	Bielorussia, 2015
Pregio	Sistema con alimentazione elettrica a zero emissioni di CO <sub>2</sub> dalla produzione alla manutenzione.

### Descrizione

Si sta sperimentando un nuovo modello di trasporto, la funivia eco-friendly — per persone e merci — con alimentazione elettrica a zero emissioni di CO<sub>2</sub>. Grazie a questa tecnologia non è più necessario sottrarre spazi verdi e terreno fertile all'industria agricola per la realizzazione di infrastrutture stradali.

### Applicazioni

È possibile collegare una città con le sue periferie (fino a 150 km/h), evitando gli ingorghi in città, oppure per collegare aeroporti, porti marittimi e stazioni ferroviarie qualora si trovassero lontano dalla città.

### Risultati

Riduzione al minimo del rischio di ingorghi stradali

Riduzione ritardi

Bassi costi di realizzazione e manutenzione rispetto ai tradizionali mezzi di trasporto

Livelli di rumore minino

Utilizzo minimo del suolo

*(UST, Trasporto passeggeri urbano e interurbano)*



Economico



Energia da fonte rinnovabile



Riduzione emissioni CO<sub>2</sub>



Sostenibile



22. HelloFresh, da brand-news.it

## HELLOFRESH

Obiettivo	Ridurre gli sprechi alimentari, cucinando cibo di qualità proveniente da territori locali
Autore	HelloFresh
Luogo e anno	Germania, 2011
Pregio	Cibo porzionato e pronto all'uso, imballaggio in cartone (ove possibile) e filiera corta.

### Descrizione

Sistema di produzione e consegna a domicilio di cibo sano per la preparazione di pietanze. I kit pasto HelloFresh viaggiano nel modo più efficiente possibile e consentono di ridurre fino al 21% i rifiuti alimentari rispetto a chi acquista al supermercato. Vengono spediti in lotti su percorsi di consegna pianificati per le massime prestazioni e il minimo consumo di carburante. Si predilige sempre una filiera corta, che parte da produttori locali.

Lo spreco alimentare è causa di circa l'8-11% delle emissioni globali di gas serra.

### CO<sub>2</sub> neutral

HelloFresh si impegna a compensare tutte le emissioni dirette di CO<sub>2</sub> generate (imballaggio, trasporto e consegne) investendo in iniziative ecologiche di compensazione di carbonio.

(HelloFresh, Hellofresh)



Compensazione emissioni CO<sub>2</sub>



Riduzione sprechi



Packaging sostenibile ed essenziale



Filiera corta

23. HelloFresh, da hellofresh.it





24. SkySails, da [connaissancedesenergies.org](http://connaissancedesenergies.org)

## SKYSAILS

Obiettivo	Utilizzare l'energia eolica come ausilio per la navigazione, riducendo il consumo di carburante
Autore	SkySails
Luogo e anno	Germania, 2004-2012
Pregio	Utilizzo di energia eolica rinnovabile per la mobilità

### Descrizione

Acquilone da traino, che viene lanciato e recuperato da un albero o braccio animato (che lo gonfia e sgonfia) e gestito da un sistema di controllo per il funzionamento automatizzato. Gli aquiloni SkySails volano ad altitudini fino a 400 metri e possono così sfruttare il forte e costante vento d'alta quota, grazie al quale è possibile consumare meno carburante e la nave ha due metodi di propulsione, che la rendono un tipo di veicolo ibrido.

### Risultati

Fino a 2.000 kW di potenza di propulsione

Risparmio fino a dieci tonnellate di petrolio al giorno

> 30 tonnellate di risparmio di emissioni di CO<sub>2</sub> al giorno

*(ShipTechnology SkySails, 2013, Riportare il vento nella propulsione delle navi)*  
*(Skysails-marine, The pioneer of kite-based propulsion systems)*



Compensazione emissioni CO<sub>2</sub>



Energia da fonte rinnovabile



Risparmio economico (meno carburante usato)

25. Aquilone, da [skysails-group.com](http://skysails-group.com)





26. Pista ciclabile Copenaghen, da pinterest.it

## COPENAGHEN

Obiettivo	Essere la prima capitale a emissioni zero al mondo entro il 2025
Dove	Danimarca
Premio	European Green Capital 2014

### Descrizione

Una città a misura di bici, ogni giorno viene percorso oltre 1 milione di km in bicicletta da residenti e turisti sulle numerose piste ciclabili progettate nella città.

### Risultati

Il traffico di bici è aumentato del 68% negli ultimi 20 anni

Circa 113 milioni di euro sono stati investiti in infrastrutture ciclabili

Nel 2016 il numero di bici (265.700) ha superato quello delle automobili (252.600)

*(Vergari Federico, Green, Copenaghen, una città a misura di bici)*

### BUS ELETTRICI



CityBus 11A, un autobus elettrico che fa il giro delle principali attrazioni turistiche

### FREE CITY BIKES



Biciclette messe a disposizione gratuitamente per lo spostamento in città



Risparmio economico (meno carburante usato)



Riduzione emissioni CO<sub>2</sub>

27. Pista ciclabile, da visitcopenhagen.it





28. Vista sulla città di Tallin, da lonelyplanet.it

TALLIN

Obiettivo	Diventare climate neutral entro il 2050
Dove	Estonia
Premio	Capitale Verde Europea 2023

Descrizione

La città di Tallin ha reso gratuito l'accesso ai trasporti pubblici per i residenti dal 2013. Parchi, giardini e riserve naturali tentano di rimanere selvaggi per favorire l'impollinazione degli insetti, soprattutto nell' "autostrada impollinatrice", lunga 13 km, che incoraggia i cittadini ad abbandonare i veicoli privati.

Obiettivi

Riduzione del 40% delle emissioni entro il 2030  
 11% dei viaggi in bicicletta entro il 2027

*(Horton Ben Anthony, Euronews, 06/01/2022. La città più verde d'Europa ha trasporti pubblici gratuiti e autostrade per le api)*



Concetto di città a 15 minuti



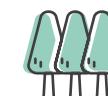
Piste ciclabili



Mezzi pubblici elettrici



Trasporto su rotaia



Parcheggi dedicati alle bici

FINEST LINK

Studio di fattibilità (2016-2018) del collegamento fisso Helsinki-Tallinn tramite tunnel ferroviario, con un impatto significativo sulla riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>

*(Angela Pinto, FinEst Link Project" - Collegamento di trasporto estone finlandese, ec.europa.eu, 20/04/2020)*

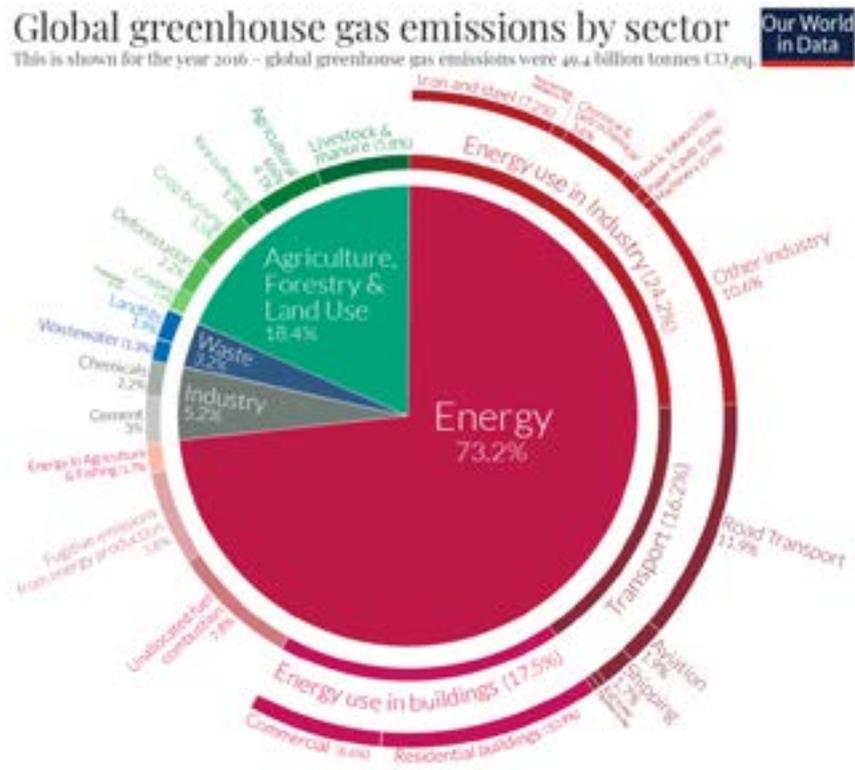
NSB CORE

Migliorare il trasporto di merci e passeggeri nella regione nord-orientale del Mar Baltico

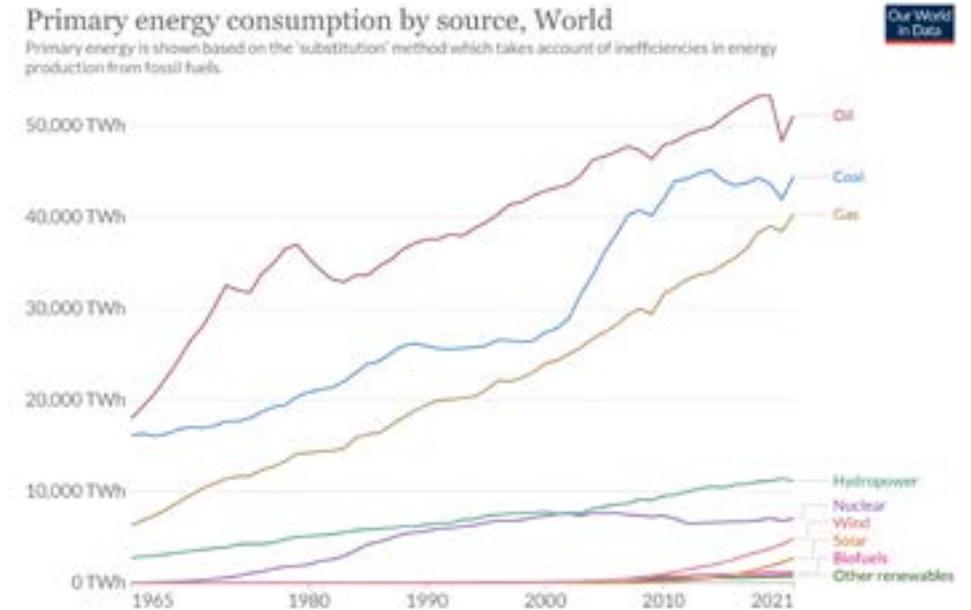
*(NSB CORE, interreg-baltic.eu)*

## 5.1.2. Utilizzo di energia da fonti rinnovabili

È stato ritenuto di comune accordo dalla stragrande maggioranza degli scienziati, ambientalisti, ricercatori, ecc., che le risorse fossili sono la causa principale delle emissioni di anidride carbonica e del GWP, date dall'attività antropica e dall'aumento dello stock in atmosfera dei gas climalteranti. La sola produzione di energia occupa il 73% del totale delle emissioni.



29a. Emissioni di gas serra per settore, da Our World in Data



29b. Consumo di energia per fonte, da Our World in Data

Osservando il grafico è impressionante vedere come il consumo di energia da petrolio, carbone e gas sia ancora nettamente superiore a quella di tutte le altre fonti.

Le energie da fonti rinnovabili sono tutte quelle che attingono da risorse naturali che hanno la capacità di rinnovarsi nel tempo in quantità maggiore o uguale alla quantità utilizzata, quindi considerate inesauribili. Tra le principali risorse rinnovabili si elencano quella solare, eolica, idrica, geotermica e cinetica.

### 5.1.2.1. Energia solare

Si definisce energia solare l'energia associata alla radiazione solare. È fondamentale per la vita sulla terra, soprattutto per quegli organismi che ne sono dipendenti (ad esempio per la termoregolazione corporea, negli animali a sangue freddo), oppure per le piante, grazie alla quale riescono ad effettuare la fotosintesi e a produrre ossigeno. Attualmente i tre principali metodi per catturare ed utilizzare l'energia solare sono il pannello solare termico (per la produzione di energia termica), il pannello fotovoltaico (per la produzione di energia elettrica) e il pannello solare termodinamico.

#### Pannello solare termico

Il pannello solare termico sfrutta l'energia solare per scaldare un liquido, detto fluido termovettore, contenuto al suo interno, il quale successivamente cederà il calore accumulato all'acqua contenuta in un serbatoio di accumulo tramite uno scambiatore di calore, alleggerendo i picchi di richiesta di acqua calda sanitaria istantanea.



30. Pannello solare termico, da infobuildenergia

#### Pannello fotovoltaico

All'interno del pannello fotovoltaico sono posizionate una serie di celle fotovoltaiche nelle quali è presente un materiale semiconduttore (il silicio) che, grazie alla luce solare, riesce a produrre energia elettrica attraverso il movimento di elettroni contenuti al suo interno. È necessario che vengano posizionati in maniera che la radiazione solare li colpisca perpendicolarmente alla loro superficie al fine di massimizzarne l'efficienza: ecco perchè normalmente si tende a posizionarli su falde esposte a sud e, in caso di tetti piani, è opportuno conferire ai pannelli la corretta inclinazione.



31. Pannello fotovoltaico, da freepik.com



32. Pannello solare termidnamico, da [energiealternative-ac.com](http://energiealternative-ac.com)

### Pannello solare termodinamico

Un impianto solare termodinamico prevede l'integrazione di un impianto solare termico e una pompa di calore. Questo permette all'impianto di funzionare tutto l'anno e durante l'arco dell'intera giornata grazie alla presenza della pompa di calore che interviene quando l'energia solare non è disponibile e il clima non è dei migliori.

*(Sorgenia, 2/05/2022, Energia solare)*

### 5.1.2.2. Energia eolica

È l'energia generata dallo spostamento di masse d'aria in movimento tra zone di alta pressione e bassa pressione. Originariamente venivano utilizzati i mulini a vento per macinare la farina, muovere macchinari e per pompare l'acqua di mare da cui estrarre il sale. Verso la fine del ventesimo secolo furono progettate le prime turbine eoliche a grande scala, dando inizio a uno studio sempre più minuzioso di queste tecnologie, arrivando a quelle ora presenti nei grandi parchi eolici.

Il vento, grazie alla sua potenza, riesce a far girare delle pale, che attraverso un moltiplicatore di giri aziona un generatore elettrico. Il range di velocità del vento utilizzabile per far funzionare le pale eoliche va da 10 a 90 km/h. Le pale eoliche sono in grado di far ruotare la navicella (parte superiore) a seconda della direzione del vento.

*(Sorgenia, 2/09/2022, Energia eolica)*



33. Pale eoliche, da [freepik.com](http://freepik.com)



34. Energia idroelettrica, da [artingegneria.com](http://artingegneria.com)

### 5.1.2.3. Energia idroelettrica

L'energia idroelettrica è considerata una fonte di energia rinnovabile che, tramite una turbina ed un alternatore, sfrutta l'energia potenziale gravitazionale di una o più masse d'acqua presenti ad una determinata quota (lago, diga) per produrre energia elettrica. L'acqua ad alta quota viene incanalata a valle, trasformando la sua energia potenziale in energia cinetica. Il flusso d'acqua colpisce le pale della turbina, situata a valle, facendole girare. L'alternatore, collegato alla turbina, produce energia elettrica che viene poi immessa nella rete. In alcuni casi è possibile stoccare l'energia prodotta in eccesso ed utilizzarla all'occorrenza (nelle centrali di pompaggio).

(Sorgenia, 2/09/2022, Energia idroelettrica)

### 5.1.2.4. Energia geotermica

L'energia geotermica è un tipo di energia che proviene direttamente da fonti di calore situate nel sottosuolo terrestre. Viene utilizzata sfruttando il calore naturale del nostro pianeta in seguito a processi di decadimento nucleare degli elementi radioattivi. Viene utilizzata sia come fonte di calore, per il riscaldamento, sia come fonte di energia elettrica. Attualmente occupa solamente circa l'1% della produzione mondiale di energia, ma uno studio del MIT ha affermato che la quantità potenziale di energia geotermica contenuta nel nostro pianeta sarebbe in grado di soddisfare il fabbisogno energetico dell'intero pianeta per i prossimi quattromila anni.

(Wikipedia, 22/11/2022, Energia geotermica)  
(Geothermal.inel, MIT - The Future of Geothermal Energy)



35. Energia geotermica, da RSPRC



36. Energia  
cinetica, da  
Adobe Stock

#### 5.1.2.5. Energia cinetica

L'energia cinetica è una delle energie rinnovabili più interessanti poiché è l'energia che un corpo possiede in virtù della sua velocità. Essa equivale al lavoro richiesto per accelerare un corpo fino ad una determinata velocità partendo da fermo.

Un corpo di massa  $M$  che si muove con velocità  $V$  possiede un'energia cinetica  $E_c$  data dalla relazione:

$$E_c = 1/2 * M * V^2$$

(Wikipedia, 6/04/2022, Energia cinetica)



37. Pista ciclabile luminescente, da lifegate.it

## PISTA CICLABILE LUMINESCENTE

Obiettivo	Illuminare la pista ciclabile durante le ore notturne senza l'utilizzo di elettricità
Autore	Lucedentro
Luogo e anno	Oasi naturale laghi di Nabi, Campania 2019
Pregio	Sfruttare le proprietà dei materiali per evitare il consumo di energia

### Descrizione

Pista ciclabile di 1,5 km che illumina l'Oasi Naturale Laghi Nabi, in provincia di Caserta, grazie a sassolini di vetro borosilicato luminescenti, in grado di assorbire la luce del sole, restituendola al buio in modo naturale, per almeno otto ore.

Il materiale utilizzato è di recupero e riciclato poichè deriva da un progetto di economia circolare per l'illuminazione autosufficiente, il risparmio energetico e il rispetto del territorio.

*(Lifegate, 2019, È italiana la pista ciclabile luminescente più lunga del mondo e riempie di magia i laghi di Nabi)*



No energia elettrica



Ecosostenibile



Riciclo materiali

38. Pista ciclabile luminescente, immagine da blog.planbee.bz





39. Lumiwave, da pianetadesign.it

## LUMIWAVE

**Obiettivo** Ombreggiare durante il giorno e illuminare durante la notte senza utilizzo di energia elettrica

**Autore** Anai Green- Lumiweave

**Luogo e anno** Israele, 2022

**Pregio** Sfruttare in maniera intelligente le risorse naturali senza impattare sull'ambiente

### Descrizione

Tessuto per la raccolta dell'energia solare; foglio leggero e flessibile completamente verde che fornisce ombra durante il giorno e luce led durante la notte.

Pannelli LED sottili flessibili da 10 watt

Tessuto schermante solare flessibile e durevole

Raccolta del sole di 190 W per mq

*(Lumiweave, 2022, Lumiwave)*

### ADATTO PER

Casa



Ombrelloni per ombreggiare gli spazi esterni

Pubblico



Per pensiline di mezzi pubblici, o piazze

Commerciale



Per ombreggiare dehor



No emissioni di CO2



Riciclo batteria



Non è collegato alla rete elettrica



Schermatura solare

40. Tessuto fotovoltaico, da pianetadesign.it





41. carrello della gobba, da aipioppi.com

## AI PIOPPI

Obiettivo	Evitare l'utilizzo di energia elettrica per il divertimento
Autore	Bruno Ferrin
Luogo e anno	Treviso, 1969
Pregio	Giostre adatte a tutte le età ed ambientalmente sostenibili

### Descrizione

Parco divertimenti nel bosco, ispirato a Disneyland, le cui attrazioni funzionano grazie alla forza motrice dei visitatori, eliminando completamente l'utilizzo di energia elettrica.

Il parco giochi è costruito completamente a mano, sono disponibili 37 attrazioni distinte per fasce di età ed è di accesso gratuito, purchè si consumi un pasto all'osteria presente in loco.

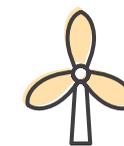
(Aipioppi, Ai Pioppi)



42. mappa del parco, da aipioppi.com



Nessuna emissione di CO<sub>2</sub>



Energia da fonte rinnovabile



Ecosostenibile



No energia elettrica

43. Pendolo, da aipioppi.com





44. TGO Green Heart, da newatlas.com

## TGO GREEN HEART

Obiettivo	Conversione dello sforzo muscolare in energia elettrica
Autore	Great Outdoor Gym Company
Luogo e anno	Hull, Londra, 2012
Pregio	Riuscire a produrre energia elettrica da un'attività di pratica comune

## Descrizione

Mentre gli utenti bruciano le calorie sui macchinari la tecnologia converte lo sforzo fisico in elettricità utilizzabile. La palestra ha già fornito alla rete elettrica 40.000 kW solo dalla forza muscolare umana.

## Modalità

Cardio Charge: mentre si fa esercizio fisico si caricano dispositivi elettronici.

Glow: l'energia è impiegata per illuminare l'area in cui sorge la palestra nelle ore notturne.

Flow: power display che permette di controllare l'energia prodotta, che viene raccolta e immessa nella rete elettrica nazionale per alimentare un edificio o altri contesti.

*(Corica Giuliana, 2014, Globusmagazine, Green Heart: la nuova "palestra a forma di cuore" che converte le calorie bruciate in energia pulita)*

*(Rossi, Elisabetta, fotovoltaicosulweb Green Heart: allenarsi per produrre energia pulita)*



No energia elettrica dalla rete nazionale



Generazione di energia da fonte rinnovabile



Risparmio economico



Nessuna emissione di CO<sub>2</sub>

45. Palestra TGO, da fotovoltaicosulweb.it





46. Mattonella green, da veranu.eu

## VERANU - LA MATTONELLA SMART

Obiettivo	Produzione di energia pulita dal movimento del corpo umano
Autore	Veranu
Luogo e anno	Sardegna, 2016
Pregio	Se posizionate in posti affollati la produzione di energia green aumenta notevolmente

## Descrizione

Mattonelle che grazie alla pressione generano energia pulita e totalmente rinnovabile sfruttando l'energia cinetica prodotta dalla camminata dei pedoni o dai bimbi che saltano e giocano. Queste mattonelle funzionano attraverso l'utilizzo di materiale piezoelettrico, che genera una differenza di potenziale con produzione di energia elettrica, che viene accumulata in batterie al fine di essere utilizzata in un secondo momento.

## Dati

5 ore di passi in una strada affollata sono sufficienti ad illuminare una fermata dell'autobus per più di 12 ore

2,1 watt all'ora (media di un passo ogni 4 -10 sec)

Adattabile a qualsiasi contesto (storico/moderno)

*(Eppela, Veranu - la mattonella che produce energia)  
(Crea Alessandro, 2019, Tomshw, Veranu, la mattonella sarda che produce energia e abbatte le emissioni di CO<sub>2</sub>)  
(Franconeri Ugo, 02/2018, Passioninside, piastrelle smart)*



Risparmio economico



Riduzione emissioni di CO<sub>2</sub>

47. Mattonella smart, da antropocene.it





48. Burlington, da stock.adobe.com

## BURLINGTON

Obiettivo

Riuscire ad utilizzare risorse totalmente da fonti rinnovabili

Luogo

Vermont, USA

Descrizione

Burlington è stata una delle prime città degli Stati Uniti a fornire il 100% della sua elettricità da fonti rinnovabili.

*(CDP, Burlington: città con elettricità rinnovabile al 100%)*

### DA DOVE



Biomassa: il legno locale sostenibile



Eolico: quattro grandi turbine eoliche su Georgia Mountain



Acqua: centrale idroelettrica sul fiume Winooski



Solare: pannelli solari fotovoltaici sul tetto dell'aeroporto, della scuola e del dipartimento elettrico di Burlington

### PER IL FUTURO A 0 CO<sub>2</sub>



Veicoli elettrici



Vapore dall'impianto a biomasse per riscaldare le case del centro



Piantumazione di centinaia di alberi



49. Vista sulla città di Reykjavik, da tourscanner.com

## REYKJAVIK

Obiettivo

Continuare ad essere autosufficiente dal punto di vista energetico

Luogo

Islanda

Descrizione

L'Islanda oggi genera il 100% della sua elettricità con fonti rinnovabili.

Fonti

75% da idroelettrico

25% da geotermico

87% da energia geotermica per acqua calda e calore

Complessivamente le fonti idroelettriche e geotermiche soddisfano l'81% del fabbisogno di energia primaria dell'Islanda per elettricità, calore e trasporti.

*(Gipe Paolo, 11/2012, Reneweconomy, Islanda: un esempio di fonti rinnovabili al 100% nell'era moderna)*



Concetto di città a 15 minuti

### IDROELETTRICO



L'Islanda è al primo posto al mondo per la produzione di elettricità pro-capite. L'80% della produzione di elettricità islandese è consumata da industrie che utilizzano elevate quantità di elettricità (alluminio 71%)

### GEOTERMICO



Produzione di calore naturale della Terra, i cui vapori provenienti dal sottosuolo vengono convogliati verso apposite turbine adibite alla produzione di energia elettrica. Il vapore acqueo viene riutilizzato per il riscaldamento urbano, le coltivazioni in serra e il termalismo.

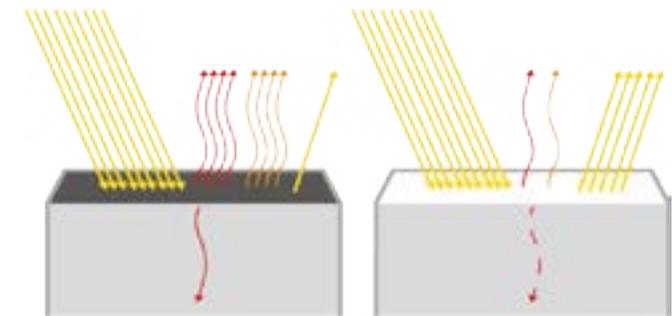
### 5.1.3. Cool Materials

L'utilizzo di materiali "freddi" è fondamentale all'interno delle città per limitare la comparsa di una serie di fenomeni con ripercussioni negative. È bene utilizzare dei materiali "intelligenti", in grado di riflettere la maggior parte delle radiazioni solari in ingresso, accumulando il minor quantitativo di calore possibile. I **"Cool materials"** sono materiali con elevato indice di riflettanza solare SRI (Solar Reflectance Index) aventi un'ottima capacità di respingere le radiazioni in ingresso. Maggiore è l'SRI, maggiore è la capacità dei materiali di rimanere "freddi". Molto spesso le coperture degli edifici presentano colori scuri e poco riflettenti: in questi casi il tasso di assorbimento delle radiazioni è molto più elevato ed internamente all'edificio è percepito un maggior livello di calore. Conseguentemente, realizzare tetti, o più in generale superfici, "fredde" permette la diminuzione della domanda di energia per la climatizzazione, dato il minore il quantitativo di calore che permea all'interno di un ambiente attraverso le superfici che lo delimitano. I principali accorgimenti che si possono adottare al fine di ridurre l'effetto delle isole di calore, si collocano nelle scelte progettuali e urbanistiche effettuate; ad esempio il maggior impiego di materiali naturali (preferire il legno al cemento), colori e pigmenti chiari, membrane e pannelli riflettenti, vetri specchianti, ecc... Sono prevalentemente diffuse due tipologie di applicazione degli smart materials e sono denominate **"Cool Roof"** (tetti freddi) e **"Cool Pavements"** (pavimentazioni fredde).

I cool roof sono considerati tali se soddisfano due requisiti:

1. alta riflettanza (data dal colore della superficie, più è chiara più il valore è alto)
2. elevata emissività termica (capacità di riflettere fino all'80% della radiazione solare)

50.  
Rappresentazione  
cool roof,  
elaborazione  
dell'autore



Esistono diverse soluzioni di cool materials presenti sul mercato, alcune naturali, come la vegetazione, altre artificiali, come le membrane e le pellicole di rivestimento (es. Derbibrite, Polysint Sun Reflect, ...).

Allo stesso modo dei cool roof, anche i cool pavements ("pavimentazioni fredde") svolgono un importante ruolo nel raffrescamento della città. Come per i "tetti freddi", anche in questo caso viene preso in considerazione il valore di SRI di ogni pavimentazione. Esistono bitumi, pitture, aggregati e pigmenti specifici in grado di alzare questo valore.

Infine, interventi di **depaving** sono fondamentali all'interno della città per mitigare il problema. Prevedono la sostituzione di superfici impermeabili (parcheggi o piazzali), con superfici permeabili o traspiranti (spazi verdi o superfici dai materiali traspiranti e permeabili). Con questo tipo di intervento vi è anche un'agevolazione nella gestione del flusso dell'acqua piovana che, anziché accumularsi e scorrere lungo le strade alla ricerca di tombini in cui riversarsi, riesce ad essere filtrata da questi materiali e passare direttamente nel suolo sottostante.

*(Laio, F., 2021, Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino)*



51. Deposito Boijmans Van Beuningen, da mvrdiv.nl

## DEPOSITO BOIJMANS VAN BEUNINGEN

Obiettivo	Ridurre il consumo di energia e acqua per il funzionamento e l'utilizzo dell'edificio
Autore	MVRDV
Luogo e anno	Rotterdam, Olanda, 2020
Pregio	Sfruttamento intelligente delle proprietà dei pannelli specchianti, evitando l'utilizzo di condizionatori

### Descrizione

Archivio pubblico di collezioni d'arte, la cui facciata riflettente è composta da 6.609 m<sup>2</sup> di vetro suddivisi in 1.664 pannelli specchianti che permettono un adeguato controllo del clima interno sia in inverno sia in estate, riducendo l'effetto abbagliamento garantendo ottimi livelli di luminosità interna e comfort visivo. L'intero edificio è totalmente autosufficiente grazie ai pannelli solari posizionati sul tetto e al sistema di gestione dell'acqua piovana.

*(Di Gregorio Rosa, 03/2022, edilportale, Vetri riflettenti o a controllo solare per costruzioni sostenibili)*

*(mvrdiv, DEPOSITO BOIJMANS VAN BEUNINGEN)*



Acqua piovana per l'irrigazione e per i servizi igienici



Generazione di energia da fonte rinnovabile



Illuminazione a LED



Tetto verde



Pannelli solari

52. Tetto dell'edificio, immagine da mvrdiv.nl





53. Watermirror, da [morethangreen.es](http://morethangreen.es)

## WATER MIRROR

Obiettivo	Offrire un luogo di incontro e di rinfrescamento naturale in città
Autore	Michel Corajoud
Luogo e anno	Bordeaux, Francia, 2009
Pregio	Possibilità di rinfrescarsi grazie all'acqua, che può mutare passando da uno stato liquido a uno semi gassoso (nebbia)

### Descrizione

Water Mirror è uno specchio d'acqua rettangolare di 3.450 metri quadrati. L'effetto specchio del sottile velo d'acqua può essere interrotto improvvisamente dalla comparsa di una nebbia artificiale che supera i due metri di altezza. Così, la combinazione di acqua liquida e vaporizzata offre refrigerio ai cittadini nelle giornate più calde.

*(Morethangreen, Watermirror, Un posto per rinfrescarsi a Bordeaux)*



Fonte rinnovabile



Temperature più basse



Risparmio economico



Riduzione emissioni di CO<sub>2</sub>

54. Watermirror, da [morethangreen.es](http://morethangreen.es)





55. Derbigum, DERBIBRITE NT, da edilportale.com

### DERBIBRITE NT

Obiettivo	Abbassare il quantitativo di calore emesso dalle superfici
Autore	Derbigum
Luogo e anno	Bologna, 2011
Pregio	Grazie al colore chiaro e alle sue proprietà la membrana riflette gran parte delle radiazioni solari evitando che le superfici si riscaldino eccessivamente, riducendo l'utilizzo di condizionatori

#### Descrizione

Membrana prefabbricata bituminosa. Vanta elevatissimi valori di riflettività (81%), emissività (81%) ed SRI (Solar Reflectance Index, pari a 100). Se la temperatura sul tetto è inferiore lo è anche quella all'interno dell'edificio, infatti la membrana Derbibrite riesce a garantire un maggior livello di comfort all'interno delle abitazioni anche non climatizzate, riducendo le temperature interne fino a 5°C. Un tetto realizzato con questa membrana permette di ridurre di 19 volte le emissioni di CO<sub>2</sub> necessarie per produrlo.

(Derbigum, edilportale, DERBIBRITE NT, membrana prefabbricata bituminosa)



pH neutro,  
no contaminazione  
dell'acqua piovana



T < 40-45° C



Risparmio economico



Totalmente riciclabile



Riduzione emissioni  
di CO<sub>2</sub>



56. Derbigum, DERBIBRITE NT, da edilportale.com



57. i.idro.DRAIN, rielaborazione, da stradeautostrade.it

## i.idro DRAIN

Obiettivo	Diminuire l'effetto dell'isola di calore urbano tramite una pavimentazione intelligente
Autore	Italcementi
Luogo	Italia
Pregio	Diminuzione della sensazione di calore eccessivo e afa

### Descrizione

Idro Drain è un'innovativa formulazione di calcestruzzo per pavimentazioni che consente un'importante riduzione della sensazione di calore avvertito dai pedoni nel periodo estivo rispetto a una pavimentazione in asfalto. Oltre a possedere un elevato SRI, è un materiale dalla capacità drenante 100 volte superiore a quella di un terreno comune e permette di rispettare il ciclo naturale dell'acqua. Ha una capacità drenante di oltre 200 litri/m<sup>2</sup>/minuto. La temperatura al suolo può diminuire di anche 30°C.

(Italcementi, i.idro DRAIN)



Drenaggio naturale



Riduzione dei costi di manutenzione



Aumento della riflettanza solare



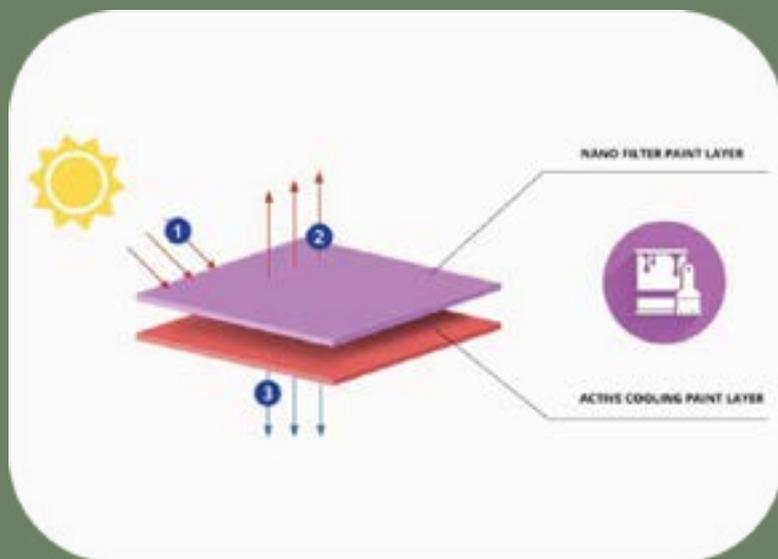
Durabilità



Valori di SRI > 29



Gestione delle acque meteoriche



58. Funzionamento SolCold, da hubxygen.com

## SOLCOLD

Obiettivo	Sfruttare la luce solare per raffrescare gli ambienti
Autore	Yaron Shenhav - Solcold
Luogo e anno	Israele, 2021
Pregio	Utilizzare le fonti naturali e rinnovabili per creare comfort, sfruttando la luce del sole come "condizionatore"

### Descrizione

Vernice o pellicola capace di generare un effetto di raffreddamento quando la luce solare colpisce il materiale, innescando una reazione di raffreddamento che converte il calore accumulato in radiazione luminosa e rilasciandolo in un processo chiamato fluorescenza anti-Stokes. Un edificio è rivestito con questa particolare pellicola riesce ad accumulare meno calore sulle facciate esterne, rendendo conseguentemente gli ambienti interni più freschi.

(Solcold, SolCold)



Temperature più basse



- 60% del consumo energetico

### POSSIBILI APPLICAZIONI



Contenitori per alimenti



Edifici



Vestiti



Automobili



Aerei



59. Strati di SolCold, da solcold.co



60. Materiale auxetico, da dezeen.com

## ACTIVE AUXETIC

**Obiettivo** Riscaldare o raffreddare il corpo in base alla temperatura corporea

**Autore** MIT

**Luogo e anno** USA, 2017

**Pregio** Materiale che si espande e si contrae se esposto a temperature diverse

### Descrizione

I materiali auxetici termoattivi dimostrano prestazioni autonome rispondendo ad uno stimolo. Sono in grado di espandersi o restringersi in tutte le direzioni per ottenere una perfetta termoregolazione corporea. Si pensa possano essere impiegati nel campo nella moda riuscendo a fabbricare capi dalla capacità di adattamento alla temperatura corporea. In questo modo grazie all'indumento indossato si può ricorrere meno all'utilizzo di dispositivi per la climatizzazione in ambienti interni, e può essere di aiuto in tutte quelle situazione dove vi è una lunga esposizione al calore nelle ore più calde della giornata.

*(Morbi Alice, 02/2017, Dezeen, I ricercatori del MIT sviluppano un materiale che si restringe quando fa freddo per mantenere il calore)*



Ventilazione corporea



Termoregolazione naturale



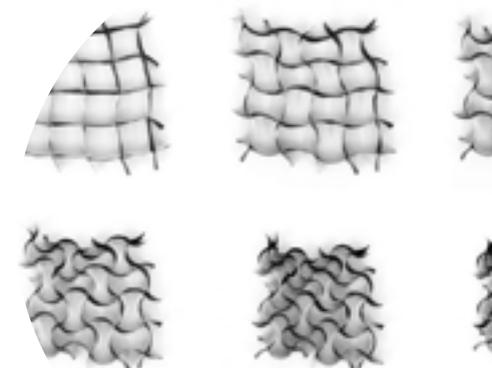
Risparmio economico



Benessere psico fisico



Riduzione emissioni di CO<sub>2</sub>



61. Proprietà auxetiche, da dezeen.com



62. Strada verniciata con CoolSeal, da linkiesta.it

## LOS ANGELES

Obiettivo

Raffrescare le strade tramite l'impiego di rivestimenti chiari

Dove

USA

Descrizione

Applicazione, su tratti di strada, di un rivestimento denominato CoolSeal, di colorazione chiara al fine di aumentare l'albedo della superficie e la diminuzione delle temperature al suolo. Tuttavia per ora si stanno solo sperimentando i benefici su piccole porzioni di città in quanto il costo di questo pigmento ammonta a circa 22.000 € al km.

Risultati

Riduzione temperature in città

Riflessione del 33% dei raggi solari

*(Longo Luca, 2019, Linkiesta Riscaldamento globale: a Los Angeles si combatte dipingendo le strade di bianco)*



Aumento albedo



Minor accumulo di calore



Minor assorbimento delle radiazioni

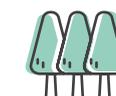


Elevato indice di riflettanza solare (limita l'accumulo di calore)

## ALTRE STRATEGIE DA METTERE IN ATTO



Adozione tetti riflettenti



Aumento vegetazione



63. Tolosa, da [cosavederein1giorno.it](http://cosavederein1giorno.it)

## TOLOSA

Obiettivo

Raffrescare le strade tramite l'utilizzo di materiali rinfrescanti

Dove

Francia

Descrizione

Investimento su innovativo marciapiede in grado di rinfrescare l'aria sfruttando l'evaporazione dell'acqua. I primi test hanno dimostrato un abbassamento di 5°C della temperatura

Funzionamento

Raccolta dell'acqua piovana sotto al marciapiede

Trattamento dell'acqua e risalita in superficie tramite capillarità

Azionamento quando la temperatura sale sopra un certo valore

*(Barolini Andrea, 06/2019, Lifegate, A Tolosa un marciapiede rinfrescante per lottare contro il caldo)*



Minor accumulo di calore



Minor assorbimento delle radiazioni



Riduzione delle temperature sulle strade di circa 5°C



Mantenimento delle superfici più fredde



Riutilizzo acqua piovana

## 5.1.4. Aumento del verde urbano

L'implementazione della vegetazione come elemento di mitigazione all'interno della città per abbassare e regolare le temperature e favorire un maggior comfort abitativo soprattutto durante i mesi caldi, è una delle più semplici ed efficaci soluzioni che si possano adottare. Posizionare la vegetazione accanto agli edifici contribuisce positivamente a regolarne la temperatura. L'efficacia degli alberi e delle masse vegetative nel raffrescamento è determinata dalla somma di due effetti principali: l'evapotraspirazione e l'ombreggiamento. Studi effettuati hanno dimostrato che la presenza di specie arboree attorno agli edifici riesce a ridurre il consumo energetico fino al 25% annuo. I benefici delle piante all'interno del centro urbano sono numerosissimi e tra i principali si riportano:

- Abbassamento delle temperature
- Aumento dell'umidità relativa
- Riduzione del livello di CO<sub>2</sub>
- Controllo della circolazione dei venti
- Controllo del rumore
- Purificazione dell'aria
- Produzione di ossigeno
- Benessere psicofisico della popolazione

L'**ombreggiamento** svolge un importante ruolo nell'abbassamento delle temperature poiché le ampie fronde degli alberi o le pareti ricoperte da vegetazione, riducono drasticamente la quantità di superficie direttamente colpita dal Sole, abbassando di conseguenza il loro assorbimento di calore. Esistono numerosissime specie vegetative, pertanto nella

progettazione degli spazi verdi bisogna tenere in considerazione che ogni specie ha diversi parametri legati all'assorbimento degli inquinanti, alla produzione di ossigeno e anche alla quantità di ombra che riesce a procurare, strettamente dipendente dalla densità del fogliame.



64. Vertical Living Gallery, da [jebiga.com](http://jebiga.com)

L'**evapotraspirazione** è un processo naturale attraverso il quale la vegetazione riesce a sottrarre calore all'ambiente. È la quantità d'acqua che dal terreno passa nell'aria attraverso l'evaporazione diretta dal suolo e la traspirazione attraverso le piante. L'acqua, assorbita dalle radici, viene convertita in vapore acqueo emesso in atmosfera grazie all'energia delle radiazioni solari. In questo modo gran parte dell'energia solare in ingresso (circa il 65%) viene utilizzata per attuare il passaggio di stato, determinando un abbassamento generale delle temperature.



65. Evapotraspirazione  
elaborazione  
dell'autore

La vegetazione è inoltre in grado di diminuire le concentrazioni di gas inquinanti nell'atmosfera, soprattutto di CO<sub>2</sub>, rendendo l'aria più pulita e aumentandone la qualità. L'inserimento del verde urbano favorisce inoltre la circolazione e il controllo del vento e protegge la biodiversità tipica del luogo, offrendo riparo alle migliaia di specie animali che popolano le nostre città.

Oltre a tutti i benefici sull'ambiente è stato inoltre dimostrato che la vegetazione riesce a incrementare il benessere psicofisico delle persone, migliorandone la qualità della vita, riducendo il rischio di malattie croniche, il numero di ricoveri, il tempo di recupero dopo un intervento chirurgico e in generale contribuendo a un miglioramento della salute mentale.

*(Federica Lusiardi, Perché le città sognano gli alberi. Il verde urbano per contrastare le isole di calore, www.inexhibit.com, 18/08/2022)*



66. Parco ducale di Parma, di Cristina Guaetta da wikipedia.org

## PARCO DUCALE DI PARMA

Obiettivo	Valutazione del comfort di un clima locale circa l'organizzazione urbanistica
Autore	CNR-IBIMET
Luogo e anno	Parco Ducale di Parma, 2015
Pregio	Dimostrazione matematica dei benefici che le piante apportano all'interno delle città

### Descrizione

Il Parco Ducale di Parma subì un drastico taglio delle alberature durante la guerra del ducato, e in seguito venne piantumato nuovamente. Lo studio dimostra come la permeabilità di una città meno compatta faccia sì che i flussi drenanti penetrino molto più in profondità con una conseguente migliore azione mitigante e un miglior comfort per gli abitanti.

(Georgiadis Teodoro, 04/2015, ISOLA DI CALORE URBANA E PROGETTAZIONE DEL COMFORT, REBUS® REnovation of public Building and Urban Spaces)



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno



Ventilazione corporea



Temperature più basse

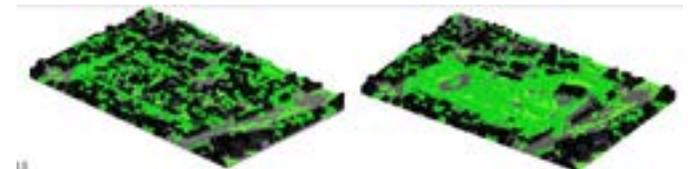


Benessere psico fisico

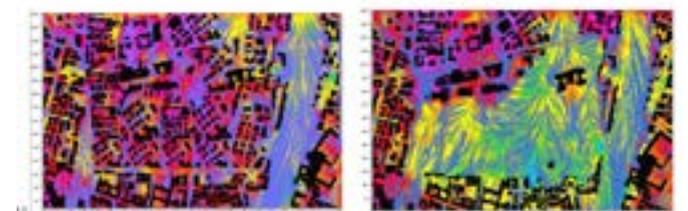


Ombreggiatura

67. Le simulazioni ENVI-MET di Parma senza parco (a sinistra) e con parco (a destra)



68. Flussi di drenaggio senza parco (a sinistra) e con parco (a destra)



elaborazioni da CNR IBIMET



69. Edificio Check Point a Tel Aviv, di Ilan Sfir, da calcalistech.com

## VERTICALFIELD - Check Point Software Technologies

Obiettivo	Costruire, irrigare e mantenere un muro vivente verticale di 12 piani, riducendo al minimo l'esposizione al sole dell'edificio.
Autore	VERTICALFIELD
Luogo e anno	Tel Aviv, Israele, 2018
Pregio	Apportare maggior comfort negli uffici senza l'utilizzo del condizionatore

### Descrizione

Foresta verticale di 2.500 metri quadrati sulle facciate sud e est dell'edificio, installando vasi che consentono di piantare cespugli, arbusti e piccoli alberi in un piccolo contenitore. I vasi installati danno alle piante l'impressione di trovarsi in un contenitore cinque volte più grande della dimensione effettiva, il che consente loro di crescere cinque volte di più. Usando questo metodo, è stato possibile realizzare una foresta verticale.

(Verticalfield, Check Point)



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno



Riscaldamento e raffreddamento naturali



Manutenzione minima



Miglioramento del benessere psicofisico



Purificazione dell'aria



Ombreggiatura



Riduzione consumo di energia

70. Parete verde del Check Point a Tel Aviv, da verticalfield.com





71. High Line, da wikipedia.org

## HIGH-LINE

Obiettivo	Riqualificazione della ferrovia sopraelevata in disuso
Autore	Diller Scofidio Renfro e James Corner Field Operations
Luogo e anno	New York, 2009
Pregio	Generazione di un polmone verde recuperando uno spazio abbandonato

### Descrizione

Parco pubblico lineare realizzato su una sezione in disuso di 2,3 km della ferrovia sopraelevata chiamata West Side Line, facente parte della più ampia New York Central Railroad. È a tutti gli effetti un polmone verde per la città ed offre un punto di incontro per le persone in uno spazio immerso nella natura.

*(TheHighLine, HIGHLINE)*



Riqualifica



Miglioramento qualità dell'aria



Riutilizzo di spazi abbandonati



Benessere psico fisico



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno

72. High Line, di Timothy Schenck da elblogdelatabla.com





73. Ape impollinatrice, da momentocasa.it

## LIFE4POLLINATORS

Obiettivo	Proporre azioni e buone pratiche per rendere il territorio più accogliente per gli impollinatori, dai campi agli orti urbani ai balconi di casa
Autore	Università di Bologna
Luogo e anno	Bologna, 2021
Pregio	Sensibilizzazione e coinvolgimento di tutti i cittadini

### Descrizione

Migliorare la salvaguardia degli insetti impollinatori e delle piante entomofile. Le città possono creare corridoi verdi e luoghi rifugio per la fauna e la flora, in cui gli impollinatori possono trovare fonti di cibo, ma anche luoghi dove nidificare.

### Dati

L'84% delle colture nei paesi dell'Unione Europea dipende dall'azione degli impollinatori

Il 37% delle specie di api e il 31% delle specie di farfalle ha visto un calo nel numero di individui

*(Violato Anna, Chiara.eco, 05/2021. I nostri balconi saranno i futuri "punti ristoro" per gli impollinatori?)*



Riqualifica



Temperature più basse



Riutilizzo di spazi abbandonati



Benessere psico fisico



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno

74. Bee hotel, di Marta Galloni da chiara.eco





75. Capsula Mundi, da capsulamundi.it

## CAPSULA MUNDI

Obiettivo	Diminuire l'impatto dei sistemi tradizionali per la sepoltura dei defunti
Autore	Anna Citelli, Raoul Bretzel
Luogo	Italia
Pregio	Il cimitero assume un nuovo aspetto, non più composto da grigie lapidi di pietra ma da alberi vivi a formare un "bosco sacro"

### Descrizione

Capsula Mundi è un'urna biodegradabile a forma di uovo. Le ceneri del defunto vengono inserite attraverso un foro richiudibile posto sulla superficie. L'uovo viene sotterrato nella terra sopra il quale viene piantato un albero, scelto in vita dal defunto, che verrà curato da familiari e amici, come un'eredità per il futuro del pianeta. Il progetto vuole andare contro i tradizionali metodi di sepoltura che prevedono la realizzazione di bare con l'abbattimento di alberi poichè queste hanno un ciclo di vita brevissimo (qualche giorno) sino al loro stoccaggio. In questo modo quelle che ora sono distese di lapidi grigie potrebbero diventare nuovi polmoni verdi, attribuendo inoltre un nuovo significato della morte.

*(Capsulamundi, Capsula Mundi. Una morte piena di vita)*



Piantumazione di alberi



Cura dell'ambiente



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno



76. Cimitero-bosco, da capsulamundi.it



77. Vista di Vienna, da lanuovaeuropa.it

## VIENNA

Obiettivo

Mantenere alta la qualità della vita attraverso l'utilizzo del verde, una rete di trasporti e di raccolta rifiuti molto efficiente

Premio

La città più verde al mondo 2020

Descrizione

Vi sono circa 990 parchi comunali. Grazie al Bosco Viennese e alle pianure alluvionali del Danubio, quasi la metà della superficie totale di Vienna è costituita da prati.

Risultati

95.000 lungo viali e strade

188.400 alberi che arredano il verde pubblico

1.900 alberi crescono su aree industriali

200.000 alberi che costituiscono un patrimonio forestale, come quello del Prater di Vienna

Circa 800 fattorie, dove vastissima è la raccolta di cetrioli, melanzane, prezzemolo, pomodori e peperoni.

*(Austria.info, Vienna - La città più verde al mondo)*

*(Gambraro Cristina, 05/2017, La nuova europa, IL CUORE VERDE DI VIENNA)*

*(Wien.info, Vienna, La città delle api)*

### PARCHI



- Standpark
- Giardini del Belvedere
- L'Augarten
- Castello di Schonbrunn
- Volksgarten
- Giardino Botanico dell'Università di Vienna

### CITTÀ DELLE API



- + 6.000 colonie di api
- + 700 apicoltori urbani

Miele biologico da arnie situate sui tetti degli edifici come: Università, municipio, musei, cimiteri...

### MOBILITÀ LEGGERA



- 162 linee di trasporto pubblico

#### RECARSI A LAVORO

- 73% con mezzi pubblici
- 44% a piedi
- 13% in bicicletta
- 33% in auto



78. Liuzhou Forest City, da stefano boeri architetti.net

## LIUZHOU

**Obiettivo** Riportare il verde in una città sempre più inospitale e inquinata

**Autore** Stefano Boeri Architetti

**Luogo e anno** Liuzhou, Pechino 2017-2020

**Pregio** Sensibilizzazione e coinvolgimento di tutti i cittadini

Descrizione

Forest City Program è un programma di riqualificazione di una città sempre più inquinata, Liuzhou Forest City, che ospiterà zone residenziali di diversa natura, spazi commerciali e di svago e diverse strutture di servizio pubblico, tra cui due scuole e un ospedale.

Risultati

+ 40.000 alberi che ricoprono gli edifici

+ 1.000.000 piante sui viali

Assorbimento di 10mila tonnellate di CO<sub>2</sub>

Installazione diffusa sui tetti di pannelli solari

Produzione di 900 tonnellate di ossigeno

Insedimento urbano pienamente autosufficiente dal punto di vista energetico

*(Stefano Boeri Architetti, 2016, Liuzhou Forest City)  
(Ilgiornale, 11/2019, Svolta a Pechino. La città-foresta aiuta l'ambiente)*



Riqualifica



Impiego energie rinnovabili



Nuove piantumazioni



Benessere psico fisico



Assorbimento CO<sub>2</sub> e produzione di ossigeno



Generazione verde urbano

# 06

## Capitolo 06

Analisi del problema e  
delle soluzioni adottabili

## 6.1. OBIETTIVO

L'obiettivo della presente tesi è quello di analizzare quali sono le cause che scatenano maggiormente le isole di calore urbane e cercare di agire su una di esse in modo che il fenomeno non venga aggravato ulteriormente. Ho deciso di concentrarmi sull'impatto antropico, ed in particolare, sui sistemi di raffrescamento degli ambienti interni. La proposta è quella di valutare la possibilità di raffrescare senza emettere aria calda nell'ambiente esterno, azione che va ad amplificare il fenomeno.

## 6.2. ANALISI DEL PROBLEMA

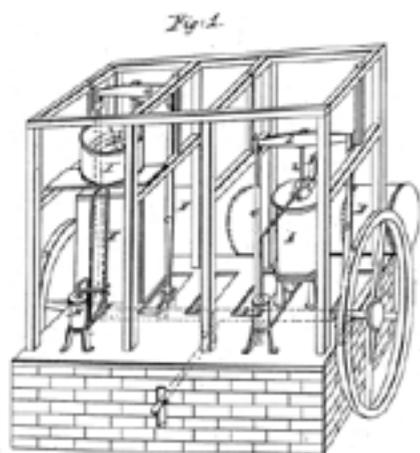
Come possiamo raffrescarci durante la stagione estiva, senza però gravare sul fenomeno delle isole di calore? È la domanda che mi sono posta all'inizio di questo percorso. Certamente è di fondamentale importanza specificare che di fronte ad una problematica molto complessa, come in questo caso, dove sono coinvolte decine o centinaia di variabili, non esiste una soluzione semplice, unica o lineare per "contrastare" il problema, ma è necessario e fondamentale trovare molteplici soluzioni sistemiche di più ampio raggio.

Il corpo umano è un organismo che, in condizioni normali ed ottimali, presenta una temperatura interna di 37°C. Grazie alla capacità di termoregolazione della temperatura corporea, il nostro organismo riesce, attraverso la traspirazione cutanea, a disperdere esternamente l'aumento di temperatura che andrebbe ad accumularsi al suo interno, qualora le temperature dell'ambiente in cui è immerso dovessero alzarsi al di sopra di una certa soglia. La sensazione di caldo ha origine quando la temperatura dell'ambiente sale considerevolmente sopra i 18°C e il corpo umano, come difesa all'insufficiente dissipazione del calore interno, aumenta la temperatura dell'epidermide e la traspirazione cutanea (sudorazione). (*Carlo Gabri, Impianti di aria condizionata e di ventilazione nelle abitazioni e nelle industrie, p. 9*). Fenomeni naturali di termoregolazione corporea, come la traspirazione di liquidi, consumano energia e causano una condizione disagiata nell'uomo, il quale, come risposta, cerca di alterare le condizioni di temperatura dell'ambiente in cui si trova. Come è già stato analizzato in precedenza (*Capitolo 02, Effetti delle isole di calore*), sono numerosi i rischi per la salute umana a cui si è esposti quando le temperature iniziano ad alzarsi sopra la media, in particolar modo per le categorie più

fragili. Centinaia di anni fa sono state scoperte alcune soluzioni di tipo passivo (come la torre del vento, la muratura massiva, ecc.) che permettevano di abbassare le temperature all'interno delle abitazioni di qualche grado, apportando maggior sollievo. Iniziarono a formularsi le prime ipotesi sulla possibilità di poter regolare la temperatura dell'aria a proprio piacimento, fino ad arrivare a quella che oggi è comunemente conosciuta come aria condizionata, presente in molte abitazioni e in quasi tutti gli uffici.

La tecnologia del freddo ha cambiato il mondo, il modo in cui il cibo e i medicinali venivano trasportati e stoccati, e salvato migliaia di vite a discapito di un non trascurabile contributo al surriscaldamento globale.

La prima "macchina" per la produzione di aria fresca fu inventata dal medico John Gorrie verso la metà dell'Ottocento, convinto che per curare i suoi pazienti affetti da malaria fosse necessario ridurre le temperature degli ambienti in cui essi si trovavano. Progettò un macchinario che permetteva all'aria di raffreddarsi passando su una lastra di ghiaccio. Nonostante le diverse problematiche legate alla rudimentale tecnologia, l'idea di poter alterare la temperatura dell'aria a "proprio piacimento" prese piede.



79. Schema della macchina del ghiaccio di Gorrie, da wikipedia.org

L'ingegnere Willis Carrier, nei primissimi anni del Novecento, venne incaricato di risolvere il problema del controllo dell'eccessiva umidità dell'aria in una tipografia di Brooklyn: a lui è attribuita l'invenzione dell'aria condizionata. L'umidità rendeva la carta inutilizzabile facendola raggrinzire e gli operatori dovevano fermare il loro lavoro in continuazione. La sola ventilazione dell'ambiente non bastò e la necessità di riduzione del tasso di umidità fece sì che Carrier, nel 1902, ideò un impianto a circuito chiuso per il condizionamento dell'aria negli ambienti interni, molto simile a quello che tutt'ora viene utilizzato nei dispositivi moderni. Inizialmente questa tecnologia, essendo molto costosa, veniva adottata solamente nei luoghi pubblici, o da aziende private che avevano la necessità di mantenere in fresco i propri prodotti. Le ricerche sul miglioramento del dispositivo proseguirono per la Carrier Engineering Corporation, fondata nel 1915, e l'utilizzo dell'aria condizionata si diffuse sempre più in Nord America, Asia, Europa, Medio Oriente, America Centrale e America del Sud ([carrier.com](http://carrier.com)).



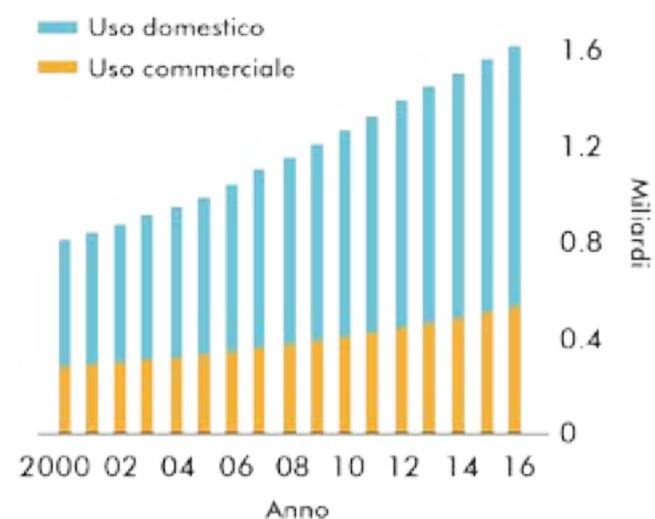
80. Carrier davanti al primo condizionatore, da focus.it

Nella seconda metà del Novecento negli Stati Uniti si intensificò la costruzione dei grattacieli: uno dei problemi riscontrabili in questo tipo di costruzioni era l'impossibilità, soprattutto ai piani alti, di aprire le finestre per favorire il raffrescamento mediante la ventilazione naturale, poiché si sarebbero generati problemi legati alla diversa pressione dell'aria tra i piani alti e quelli bassi su un edificio allungato dalla sezione stretta. L'unica soluzione, dunque, era la ventilazione forzata e l'utilizzo di climatizzatori. Dopo numerosi anni di utilizzo dei dispositivi di climatizzazione si resero evidenti i primi effetti negativi da essi provocati nelle città e più in generale nell'ambiente. Sono numerosi e indiscutibili i benefici della climatizzazione degli ambienti, come la riduzione della comparsa di malattie o il loro aggravamento, un maggior rendimento lavorativo e un maggior benessere psicofisico, ma è innegabile che questa gravi sull'ecosistema in due modi, uno diretto e uno indiretto. Quello diretto è dovuto al fatto che un climatizzatore per poter ridurre la temperatura di un ambiente interno deve necessariamente riversare all'esterno una quantità di calore pari a quello sottratto all'interno, aumentato dell'energia necessaria per realizzare tale trasferimento. Il secondo modo, quello indiretto, è dovuto al fatto che i condizionatori, per spingere il calore all'esterno, utilizzano grandi quantitativi di energia elettrica, la cui fonte, nella maggior parte dei casi, deriva da combustibili fossili che contribuiscono ad aggravare il problema delle UHI con la liberazione di sostanze nocive che a loro volta amplificano il fenomeno. Il raffrescamento degli edifici rappresenta attualmente una frazione considerevole del consumo energetico totale nel mondo (2,9%-6,7%). Come è riportato su *The Economist*, secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia, attualmente "occorrono circa 2.000 TWh (terawattora) di elettricità per far funzionare in un anno tutte le macchine frigorifere del mondo, producendo 4 miliardi di tonnellate di CO<sub>2</sub>, ovvero il 12% del totale. Senza drastici miglioramenti nell'efficienza dei condizionatori d'aria, secondo l'AIE, bruceranno 6.000 TWh entro il 2050". (*The Economist*, 25/08/2018, *I condizionatori d'aria fanno molto bene, ma a un alto*

*costo ambientale*).

È allarmante la previsione effettuata dall'IEA, la quale afferma che nei prossimi dieci anni, a causa della sempre maggiore urbanizzazione, verrà installato globalmente 1 miliardo di condizionatori d'aria, aumentando così il numero dei dispositivi di due terzi rispetto agli 1,6 miliardi presenti nel 2016. Attualmente la Cina tiene il primato dello stock mondiale dei dispositivi di raffrescamento (35%), seguita dagli Stati Uniti (23%).

81 Unità di  
dispositivi di  
climatizzazione,  
rielaborazione  
grafica dati da  
IEA



Il cambiamento climatico, l'aumento della popolazione e la crescita del reddito aumenteranno considerevolmente la domanda di raffreddamento nel settore residenziale, incrementando la richiesta globale di consumo fino al 34% nel 2050 e al 61% nel 2100, mentre per edifici commerciali nel 2050, aumenteranno rispettivamente fino al 750% e al 275%.

(Santamouris Mat, Sciencedirect, *Cooling the buildings – past, present and future*)

(*The Economist*, 08/2018, *I condizionatori d'aria fanno molto bene, ma a un alto costo ambientale*)

## 6.3. SISTEMI DI RAFFRESCAMENTO E REFRIGERAZIONE

Un climatizzatore funziona esattamente come una macchina frigorifera, che attraverso un ciclo termodinamico esegue una serie ciclica di trasformazioni su un fluido refrigerante. Il fluido refrigerante ha il compito di spostare il calore da una sorgente a bassa temperatura ad un'altra a temperatura più elevata. Tali scambi di calore avvengono durante i cambi di fase del fluido refrigerante, evaporazione dal lato della sorgente a bassa temperatura, condensazione dal lato della sorgente ad alta temperatura.

### Condizionatore e climatizzatore

A questo punto è necessaria una precisazione sulla distinzione tra un climatizzatore e un condizionatore. Entrambi sono dispositivi di raffrescamento che per funzionare utilizzano un fluido refrigerante ed hanno caratteristiche molto simili, ma la differenza principale consiste nel fatto che un condizionatore non permette di impostare una temperatura precisa dell'aria e non possiede la capacità di funzionare come dispositivo di riscaldamento. Un climatizzatore, invece, dispone di inverter che permette di lavorare "in continuo" al minimo sforzo per il mantenimento di un certo livello di confort nell'ambiente grazie ad alcuni sensori e offre la possibilità di riscaldamento nella stagione invernale.

Tuttavia, ai fini della tesi, questa distinzione non è di fondamentale importanza per cui di seguito verrà utilizzato il termine "dispositivo di climatizzazione" per far riferimento ad entrambe le tecnologie.

### 6.3.1. Componenti

Un dispositivo di climatizzazione standard per poter funzionare deve disporre dei seguenti quattro componenti fondamentali:

#### **Condensatore**

Il condensatore ha lo scopo di far condensare il fluido refrigerante che si trova in fase gassosa ad alta temperatura e pressione proveniente dal compressore. Questo cambio di fase avviene con cessione di calore all'ambiente esterno.

#### **Valvola di espansione/organo di laminazione**

È una strozzatura posta tra il condensatore e l'evaporatore ed ha il compito di far diminuire la pressione e la temperatura del liquido refrigerante. La dimensione della strozzatura può essere fissa o variabile (valvola di laminazione).

#### **Evaporatore**

L'evaporatore ha lo scopo di far evaporare il fluido refrigerante uscito dalla valvola di espansione. Il calore necessario all'evaporazione è quello sottratto all'aria che si trova nell'ambiente da raffrescare.

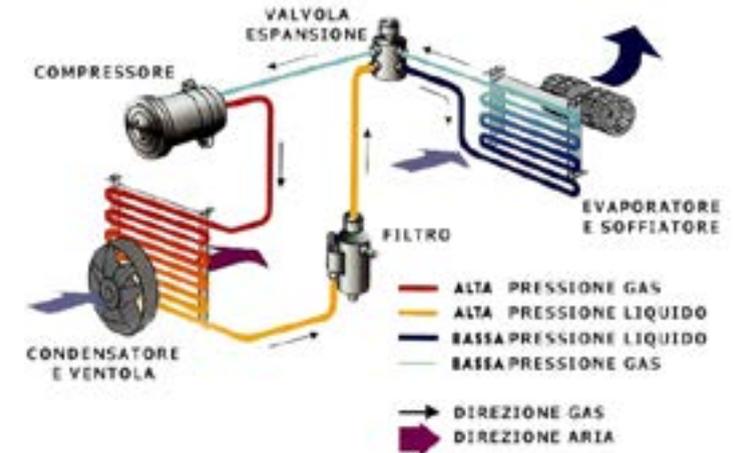
#### **Compressore**

Il compressore è l'organo che fa circolare il refrigerante nell'impianto, aumentandone la pressione e la temperatura fino al valore che deve avere all'ingresso del condensatore.

### 6.3.2. Ciclo termodinamico

Un dispositivo di climatizzazione è solitamente composto da due unità, una collocata all'interno dell'ambiente da refrigerare, l'altra nell'ambiente esterno, collegate tramite tubazioni all'interno delle quali scorre il fluido refrigerante, che esegue continui cicli di condensazione ed evaporazione. Nell'unità esterna sono presenti il compressore e il condensatore, in quella interna la valvola di laminazione e l'evaporatore. Il fluido refrigerante entra nel compressore sotto forma di vapore saturo e viene compresso, con il conseguente aumento della pressione e della temperatura a un valore superiore a quello dell'ambiente esterno. Successivamente il refrigerante entra nel condensatore, dove condensa, passando da uno stato di vapore surriscaldato a quello di liquido saturo. A questo punto si ha un gas liquefatto ad alta pressione che viene trasportato nell'unità interna dove la pressione viene abbassata drasticamente attraverso nella valvola di laminazione. La temperatura scende al di sotto della temperatura dell'ambiente da climatizzare (quello interno). Il refrigerante giunge poi nell'evaporatore come miscela saturo di liquido e vapore, dove torna nuovamente ad uno stato gassoso saturo grazie all'assorbimento di calore dall'ambiente interno. Con il nuovo ingresso nel compressore riparte il ciclo, che si ripete indefinitamente. L'aria presente nell'ambiente esterno viene convogliata attraverso un ventilatore sulla serpentina del condensazione, dove assorbe il calore che il fluido rilascia durante il cambio di fase. L'aria dell'ambiente interno viene aspirata e fatta passare intorno all'evaporatore, dove cede calore al refrigerante, e torna nell'ambiente interno ad una temperatura più bassa.

(Çengel Yunus A., *Termodinamica e trasmissione del calore*, McGraw-Hill, *Il ciclo inverso a compressione di vapore*, pag.229, 2005)



82. Schema del funzionamento di un dispositivo di climatizzazione, da [alclimatizzazione.it](http://alclimatizzazione.it)

### 6.3.3. Fluido refrigerante

Affinché si possa vantare di disporre di un sistema funzionale ed efficiente, è necessario che siano rispettate alcune condizioni per la scelta del gas refrigerante. Tra queste si riscontra la necessità di avere un gas che: possa essere liquido a temperatura ambiente e con pressione non esageratamente elevata, possa evaporare anche a temperature molto basse (sotto 0°C), non sia tossico per l'uomo e per l'ambiente e che possibilmente non sia infiammabile. A partire dagli anni Cinquanta vennero impiegati i gas CFC (clorofluorocarburi) sia per i dispositivi di raffreddamento, sia per le macchine frigorifere, le cui caratteristiche erano l'atossicità per l'uomo e il fatto che non fossero infiammabili. Successivamente però venne scoperto che questi gas erano causa dell'assottigliamento dello strato di ozono (buco nell'ozono) e furono vietati come dal Protocollo di Montreal, firmato da quasi 200 paesi nel 1987. Vennero poi introdotti ed utilizzati gli idroclorofluorocarburi, HCFC, come l'R22, ma vietati anch'essi dal 2015 a causa del loro elevatissimo GWP (aumento dell'effetto serra e del surriscaldamento climatico). La ricerca si concentrò su gas a bassissimo effetto serra, non tossici e poco infiammabili, giungendo negli ultimi anni a miscele di quarta generazione, come l'R410A, molto più performanti ed efficienti. La quarta generazione di gas refrigeranti si chiama HydroFluoroOlefine, HFO, considerati più innovativi e meno impattanti.

(Cavuto Maria Chiara, 11/2020, *Energycue*, *Effetto serra e ozono: i refrigeranti per ridurre l'impatto*)

## 6.4. TIPOLOGIE

Sono numerose le tipologie di dispositivi di climatizzazione odierne e si differenziano principalmente in base alle diverse esigenze di utilizzo.

Generalmente un dispositivo di climatizzatore si compone di due unità, una posizionata all'esterno dell'abitazione, tipicamente sui balconi e spesso visibile dalla strada, e una all'interno, per consentire il refrigeramento. Con il termine "SPLIT" si fa riferimento all'unità interna, per cui quando si parla di "monosplit" ci si riferisce al fatto che ad una unità esterna vi è collegata solamente una unità interna, mentre con il termine "multisplit" si vuole indicare che ad un'unità esterna vi sono collegate più unità interne.

### 6.4.1. Dispositivi monoblocco portatili

La tipologia monoblocco portatile racchiude tutti gli elementi caratteristici di un impianto di climatizzazione d'aria all'interno di un unico blocco, trasportabile all'esigenza da una stanza all'altra, purché vi sia sempre la possibilità di scarico all'esterno. Non è però detto che sia sempre facile spostare un condizionatore monoblocco: spesso infatti queste macchine sono molto pesanti, anche se dotate di ruote, inoltre devono essere svuotate manualmente dell'acqua di condensa che viene raccolta in una vaschetta. In caso di mancato svuotamento il condizionatore si spegnerà automaticamente.

(mondosplit.com)

Sono dispositivi predisposti per raffreddare unicamente un ambiente alla volta e non sono progettati per raffreddare aree di grandi dimensioni.

### 6.4.2. Dispositivi fissi

#### **A parete**

Soprattutto nell'ambito domestico i condizionatori a parete sono quelli più diffusi. Vengono generalmente posizionati nella parte superiore della parete, a pochi centimetri dal soffitto.

#### **A cassetta**

A differenza dei condizionatori a parete, quelli a cassetta vengono installati sul soffitto in una controsoffittatura ed hanno una destinazione d'uso differente. Nati per esigenze commerciali e di business, sono più grandi dei climatizzatori domestici e sono impiegati nei luoghi pubblici. Vi sono alcuni modelli che sono stati adattati anche per le abitazioni, anche se l'installazione spesso è possibile solamente nelle case più moderne.

#### **A pavimento**

I condizionatori a pavimento sono molto simili a quelli a parete per il loro funzionamento e destinazione d'uso, la sola differenza è che sono posizionati o sulla parete a pochi centimetri dal pavimento, o appoggiati direttamente a quest'ultimo. Spesso sono dotati della possibilità di soffiare l'aria sia dalla parte superiore del dispositivo, sia da quella inferiore. Presentano alcuni vantaggi, come

la facile manutenzione e pulizia per motivi di praticità e possono essere installati anche in stanze con soffitti bassi come le mansarde.

### Canalizzabile

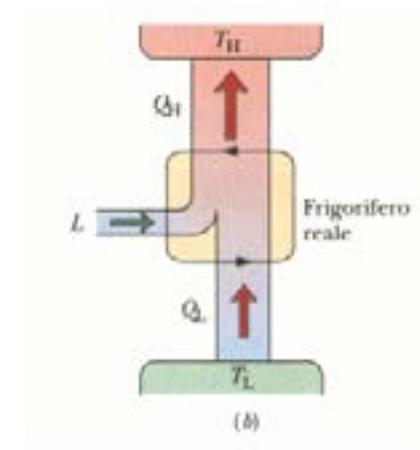
Canalizzabile, o sistema canalizzato, è quello più indicato quando si vuole raffrescare (o riscaldare), una casa con ambienti molto grandi e difficilmente raffrescabili (o riscaldabili) con il solo uso di un condizionatore a parete. È costituito da una o più unità esterne collegate a delle tubazioni posizionate all'interno di controsoffittature che consentono all'aria fresca di essere trasportata attraverso dei canali in tutta la casa fuoriuscendo da apposite aperture posizionate nelle stanze.

### Senza unità esterna

Sono definiti senza unità esterna i dispositivi di climatizzazione configurati per funzionare in un unico blocco posizionato all'interno dell'abitazione. Questa tipologia è stata progettata per quelle situazioni in cui non vi è la possibilità di affissione dell'unità esterna per diversi motivi quali: estetica del palazzo, regole condominiali o restrizioni dovute a vincoli storici e architettonici. In questo caso il dispositivo è posizionato come quello a parete, necessariamente su un muro comunicante con l'esterno perché vi è la necessità di praticare due fori sulla parete esterna che consentono lo scambio termico.

*(Complementiclimatici, Quanti e quali tipi di climatizzatori esistono)*

83. Flussi energetici in una macchina frigorifera, da pcfarina.it



## 6.5. ENUNCIATO DI CLAUSIUS

L'enunciato di Clausius, del **secondo principio della termodinamica**, afferma che "è impossibile realizzare una macchina con funzionamento ciclico il cui unico effetto sia il trasferimento di una quantità di calore da un corpo a bassa temperatura a un'altro a temperatura più alta." Questo implica che il trasferimento di calore da un corpo più freddo a uno più caldo, che non può avvenire spontaneamente, deve essere realizzato impiegando una macchina termica (macchina frigorifera o pompa di calore). L'enunciato di Clausius non nega la possibilità di costruire una tale macchina, ma afferma che oltre al trasferimento del calore questa macchina dovrà avere altri effetti come, per esempio, l'assorbimento di energia (quella fornita al compressore da un motore) che inevitabilmente lascia tracce nell'ambiente.

In conclusione, si può facilmente desumere che è impossibile asportare calore da un ambiente senza cederlo ad un altro, sia pure ampio come quello esterno. Infatti, come si vede dalla figura 83, il calore  $Q_H$  ceduto all'ambiente esterno è pari alla somma del calore  $Q_L$  sottratto all'ambiente interno e del lavoro  $L$  speso per azionare il compressore.

*(Çengel Yunus A., 2005, Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, Macchine frigorifere e pompe di calore, pag. 122-123)*

## 6.6. SOLUZIONI PASSIVE

Per soluzione passiva si intende un accorgimento tecnologico caratterizzato dall'assenza di energia per funzionare. Progettare edifici che non necessitano di essere raffrescati mediante un impianto di climatizzazione potrebbe essere una delle soluzioni al problema. Di seguito sono riportati alcuni degli esempi più significativi.

### 6.6.1. Utilizzo di colori chiari

Come già evidenziato nel Capitolo 02, tra le cause che generano l'UHI vi è l'impiego di materiali edilizi di colore scuro, caratterizzati dalla capacità di assorbire maggiormente le radiazioni solari. Prediligere materiali di rivestimento delle facciate e dei tetti con pigmenti di colore chiaro aiuta a diminuire la domanda di raffrescamento all'interno degli edifici, in quanto i colori chiari aumentano l'albedo e dunque la riflessione delle radiazioni solari, diminuendo la componente di radiazione assorbita sotto forma di calore. In alcuni quartieri di Cape Town, le lamiera ondulate che rivestono le case sono state dipinte di colori chiari per evitare l'eccessivo surriscaldamento del materiale e l'effetto "forno" tipico delle giornate di caldo estremo: il risultato di questa soluzione passiva è stata la riduzione delle temperature interne di 2-5°C.

*(The Economist, youtube, How to keep cool while the world gets hotter)*

### 6.6.2. Impiego di materiali naturali nell'edilizia

La scelta di materiali naturali nell'edilizia può contribuire positivamente sia ad un raffrescamento naturale dell'intera

abitazione sia a gravare meno sul pianeta in cui viviamo grazie ai minori impatti ambientali derivanti dai cicli di produzione. I principali isolanti naturali maggiormente impiegati in ambito edilizio sono:

#### **Fibra di legno**

Il legno naturale, di cui si compongono i pannelli isolanti in fibra di legno, oltre ad essere un materiale biodegradabile ed ecosostenibile, offre un ottimo isolamento termico delle abitazioni. Questo materiale viene prodotto dagli scarti non trattati del legname, i quali vengono sottoposti a trattamenti termici per ottenere le prestazioni richieste. È un materiale molto indicato per gli isolamenti a cappotto degli edifici.

#### **Sughero**

È un materiale molto sfruttato nella bioedilizia per le sue proprietà atossiche e di resilienza a sostanze chimiche e naturali. I pannelli isolanti in sughero sono fabbricati dalla scorza della quercia da sughero e possono essere riciclati e riutilizzati. Hanno anche ottime proprietà di isolamento acustico e offrono il vantaggio della traspirabilità. I pannelli di sughero vengono impiegati nell'isolamento di pareti, coperture e solai e sotto forma di granulare, il sughero può anche essere impiegato nella formazione di sottofondi alleggeriti dalle ottime prestazioni termiche.

#### **Fibra di canapa**

Scoperta recentemente come isolante termico, la fibra di canapa sta spiccando per essere la nuova risorsa del futuro. Totalmente green per essere riciclata e ricavata dagli scarti della lavorazione dell'industria tessile delle fibre della Cannabis (pianta che non richiede particolari

cure per essere coltivata), la canapa offre ottime proprietà isolanti, non solo termiche, ma anche acustiche. Non è soggetta all'attacco di muffe e insetti e possiede ottime capacità igroscopiche (di assorbire l'umidità nell'aria).

### **Fibra di cellulosa**

I pannelli in fibre di cellulosa vengono ricavati dagli scarti di produzione dei giornali ai quali vengono aggiunti dei sali minerali e polvere di boro per rendere il materiale non infiammabile. Come per le fibre di canapa, anche quelle di cellulosa offrono ottime proprietà di isolamento acustico oltre a quello termico, sia per la stagione invernale sia per quella estiva.

## **6.6.3. Ventilazione naturale**

È possibile ottenere il raffrescamento passivo degli edifici grazie allo sfruttamento della ventilazione naturale, soprattutto nella stagione estiva. La ventilazione è favorita dal fatto che all'interno delle abitazioni si creano differenze di temperatura e pressione tra l'interno e l'esterno. È una soluzione naturale che non prevede l'utilizzo di energia elettrica, e fornisce inoltre un maggior ricambio dell'aria. Per optare a una soluzione di questo tipo però bisogna tenere in considerazione alcuni parametri che influiscono sulle caratteristiche dell'abitazione, quali: l'ambiente naturale, ossia la posizione geografica e le conseguenti caratteristiche microclimatiche, la vicinanza con fiumi o mari, la presenza di verde urbano, la posizione altimetrica, il regime dei venti ... Di seguito vengono elencati i principali sistemi di raffrescamento passivo:

### **Effetto camino**

Quando si parla di ventilazione dell'aria con effetto camino si fa riferimento al caso in cui vi è una variazione della densità e della pressione dell'aria tra due ambienti separati (interno ed esterno), generando uno spostamento di aria dalla zona a più alta densità verso l'altra. Questo è tanto più accentuato quanto più sono differenti i due parametri nelle due zone. Tendenzialmente i piani più bassi delle abitazioni sono più freschi rispetto a quelli superiori perché l'aria calda, essendo più leggera, tende a salire verso l'alto dando origine ai moti convettivi, e creando di conseguenza una zona di depressione nei piani bassi e una di sovra-pressione in quelli alti. L'effetto camino sfrutta le differenze di altezza delle aperture delle abitazioni per far circolare l'aria al proprio interno e in presenza di elementi come vani scala, camini di ventilazione e aperture che si sviluppano nel senso verticale dell'abitazione, l'effetto è maggiormente amplificato.

### **Raffrescamento ventilativo**

Il vento, quando colpisce un edificio, crea una sovra pressione sulla parete che colpisce direttamente, e una depressione su quella opposta. Se vengono correttamente posizionate due finestre su queste pareti, è possibile sfruttare il fenomeno prima citato per creare ventilazione naturale all'interno dell'edificio. Sulla parete direttamente impattata dal vento l'apertura deve avere dimensioni e altezza inferiori rispetto a quella posizionata sulla parete opposta. L'aria entra dall'apertura posta nella parete ad alta pressione e raggiunge il lato opposto a bassa pressione, sfruttando l'effetto Venturi, secondo cui quando un fluido si muove in modo stazionario, la sua velocità e la sua pressione variano al variare della

sezione di passaggio. L'efficacia di questa soluzione dipende dalla portata d'aria, che è determinata dalla differenza di pressione tra i due ambienti. Questo parametro dipende da alcuni fattori come ostacoli nel percorso del vento, densità delle abitazioni circostanti (è consigliato mantenere distanze minime tra gli edifici), forma dell'edificio e posizione dell'edificio rispetto alla direzione del vento.

### **Convogliamento del vento (torre del vento)**

La torre del vento è uno dei più antichi metodi utilizzati per il raffrescamento passivo degli edifici, che viene ancora realizzato oggi nei climi molto caldi ed aridi nord africani e mediterranei. Come se fosse un vero e proprio camino, il funzionamento di questo sistema è molto semplice: il vento viene catturato dall'estremità alta della torre, incanalato e portato verso i locali inferiori da raffreddare, dove sono posizionate delle aperture strategiche per creare una corretta differenza di pressione e lasciar fuoriuscire la massa d'aria. L'interno della torre è umido e fresco, pertanto la temperatura dell'aria durante il passaggio si abbassa. Questo causa un aumento della sua densità che favorisce la discesa verso il basso dove ci sono i locali da raffrescare.

### **Raffrescamento evaporativo**

Il raffrescamento evaporativo riesce ad abbassare di qualche grado la temperatura all'interno di un ambiente perché sfrutta il fenomeno dell'evaporazione, attraverso la sottrazione di calore da un ambiente per far evaporare un liquido (acqua). È necessario però prevedere una corretta ventilazione dell'ambiente in quanto il tasso di umidità potrebbe diventare troppo elevato e insalubre.

È opportuno precisare però che la ventilazione naturale degli edifici attuata mediante l'apertura delle finestre si porta dietro una serie di svantaggi, come la perdita di calore nella stagione invernale causata da un incontrollato miscelarsi dell'aria fredda esterna con quella interna (viceversa nella stagione estiva) e come l'introduzione di sostanze volatili inquinanti derivanti dall'ambiente esterno (smog o polveri sottili), specie se l'edificio si trova in una zona fortemente urbanizzata. La ventilazione meccanica controllata, che è un vero e proprio impianto alimentato elettricamente, è stata messa a punto proprio per sfruttare i benefici della ventilazione andando a mitigare gli aspetti negativi di quella naturale.

*(Lucchi Elena, 10/2013, Infobuildenergia, Ventilazione naturale in edilizia)*

### **6.6.4. Muratura massiva**

Il maggior beneficio apportato da una muratura massiva (pareti molto spesse) risiede nella sua elevata inerzia termica, ossia la capacità di un materiale (in questo caso della muratura di un edificio) di variare la sua temperatura nel tempo più o meno lentamente in funzione della variazione di temperatura esterna/interna. Questo vuol dire che più spesse sono le pareti di un edificio, più tempo questo impiegherà a scaldarsi al suo interno se le temperature esterne dovessero aumentare considerevolmente. Nella stagione estiva questa soluzione offre un grande vantaggio perché ritarda e diminuisce la necessità di raffrescare "artificialmente" un ambiente, ma tuttavia nella stagione fredda potrebbe causare alcuni disagi, dal momento in cui la muratura impiega molto tempo per scaldarsi.

Soluzioni di questo tipo vengono utilizzate soprattutto nelle città del continente africano, molto calde e aride, dove le temperature spesso superano i 35°C. Nelle città più povere, spesso vicino al deserto, le case dispongono di un corridoio con muri molto spessi per abbassare le temperature anche di 3 – 4 °C rispetto all'esterno.

*(Agostino Rina, Falacasajusta, Bioedilizia, bioclimatica, risparmio energetico)*

### 6.6.5. Aumento del verde urbano

Come già affrontato nel *Capitolo 05, Soluzioni di mitigazione e adattamento*, sono numerosi i benefici che la vegetazione può apportare all'interno delle città, tra cui l'ombreggiamento, una migliore qualità dell'aria, l'abbassamento delle temperature, la salvaguardia della fauna e un miglior benessere psicofisico della popolazione. Atene è una delle molte città che soffre di UHI, con temperature urbane che possono arrivare fino a 3.8°C in più rispetto alle aree circostanti. Stati creati tre corridoi verdi nella città (grazie alla piantumazione degli alberi) dove le temperature riescono a ridursi di circa 2°C offrendo maggior sollievo ai cittadini.

*(The Economist, youtube, How to keep cool while the world gets hotter)*

*(Gates Bill, 2021. Clima, come evitare un disastro. Le soluzioni di oggi, le sfide di domani, p. 341)*

07

# Capitolo 07

Linee guida

## 7.1. LINEE GUIDA

Di fronte ad un problema molto ampio e complesso come quello delle isole di calore è normale che ognuno di noi si senta impotente, ma il contributo di ciascuno di noi, per quanto piccolo, può portare ad apprezzabili miglioramenti. Un cittadino è un consumatore che ogni giorno è tenuto a fare delle scelte e tali scelte costituiscono la parte fondamentale del cambiamento. Esse hanno il potere di guidare il mercato e spingere la ricerca verso nuove soluzioni.

Vista inoltre la stretta relazione tra UHI e UPI (urban pollution islands) è necessario che ognuno di noi diventi un po' più responsabile e inizi a diminuire il proprio impatto. Di seguito sono riportati, suddivisi per ambito, alcuni suggerimenti o linee guida che ogni cittadino potrebbe adottare fin da subito per contribuire all'abbassamento del fenomeno delle isole di calore e alla sua minore percezione.

### 7.1.1. Mobilità

Il problema principale della mobilità urbana è dovuta all'utilizzo e all'emissione di combustibili fossili e gas climalteranti come la CO<sub>2</sub> nell'atmosfera urbana. Questa, insieme a tutti i fattori analizzati nel *Capitolo 02*, contribuisce all'innalzamento delle temperature nelle città.

#### **Spostamento a piedi o in bicicletta**

Nel contesto urbano dove quasi la maggior parte dei servizi è concentrata nel raggio di pochi km e raggiungibile a piedi o in bicicletta, è bene prediligere queste tipologie di spostamento in quanto aiutano a ridurre l'utilizzo dei combustibili fossili, il traffico e

l'inquinamento, migliorando sia la salute fisica sia quella mentale.

#### **Utilizzo di mezzi pubblici per il trasporto**

Scegliere di viaggiare su mezzi pubblici è un gesto che permette sia il decongestionamento del traffico sia la diminuzione delle emissioni dei gas inquinanti che vengono prodotti dalle automobili (contribuendo alla formazione dello smog). Molto spesso le città hanno una o più reti di trasporto di mezzi pubblici che riescono a raggiungere in maniera capillare qualsiasi area della città rendendo accessibile, nella maggior parte dei casi, qualsivoglia infrastruttura.

#### **Acquisto di veicoli elettrici**

Acquistare veicoli elettrici permette di non gravare, sulle emissioni di gas climalteranti all'interno delle città, poiché la tecnologia che sta alla base del loro funzionamento non prevede l'uso di combustibili fossili. Ancora una volta, questo si traduce in un minor impatto ambientale per quanto riguarda le emissioni generate all'interno dell'ambiente urbano.

La tecnologia dei veicoli elettrici si è evoluta molto negli ultimi anni a livello di costi e prestazioni, diventando sempre più accessibile. Bisogna tuttavia sottolineare che, sebbene le automobili alimentate a benzina, diesel, ecc. producono inquinamento perché dipendenti da combustibili fossili, buona parte dell'energia destinata alla ricarica dei veicoli elettrici è prodotta consumando combustibili fossili. Il vantaggio risiede nel fatto che la produzione di tale energia è dislocata fuori dalle aree urbane, quindi le emissioni causate da essa non incidono direttamente sulle UHI, mentre i vantaggi che si ottengono dalle autovetture elettriche sì. Nelle città si

stanno sempre più diffondendo torrette per la ricarica delle auto elettriche, molte delle quali offrono energia green.

### **Mobilità condivisa (car sharing, car pooling)**

Il car sharing e il car pooling sono due servizi di mobilità urbana sostenibile. Si differenziano nel fatto che il car sharing prevede la messa a disposizione di un'auto di proprietà di terze parti, condivisa in successione da più utenti per tempi limitati. Il car pooling invece è un servizio nel quale il cittadino decide di mettere a disposizione la propria auto con persone che devono percorrere lo stesso tragitto (o parte di esso), dividendone i costi. In entrambi i casi il servizio offerto consente di rinunciare al veicolo di proprietà, a riducendo il traffico e le emissioni nell'ambiente.

### **Utilizzo di app per la mobilità**

Esistono alcune applicazioni che, raggiunto un determinato numero di passi, sbloccano dei premi o ripagano in denaro per l'attività svolta. Non si tratta di grosse cifre, ma essere ripagati per un'azione molto semplice e che effettuiamo tutti i giorni come camminare, potrebbe invogliare più persone a spostarsi a piedi.

## **7.1.2. Energia**

La produzione di energia che proviene dal sistema della rete nazionale spesso non è generata direttamente nelle città, ma nelle zone rurali limitrofe e, anche se indirettamente, i suoi effetti si ripercuotono sui centri abitati attraverso le ondate di calore estive, che in città molto affollate possono essere estremamente

disagiante. Per lo stile di vita quotidiano di un cittadino in un paese industrializzato è necessaria una drastica diminuzione della richiesta di energia elettrica, sia essa da fonti rinnovabili o meno. Di seguito si riportano alcune linee guida inerenti a questa tematica.

### **Dotazione di pannelli solari e fotovoltaici e/o partecipazione alle comunità energetiche**

È concreta la possibilità di autoprodursi l'energia e di riuscire in questo modo a staccarsi dal sistema nazionale, sia come privati sia come comunità energetiche. Nel primo caso la produzione e il consumo di energia avvengono in autonomia ed è possibile consumare quanta più energia si riesce a produrre dal proprio impianto individuale. Questa soluzione tuttavia può essere adottata solamente in abitazioni di tipo indipendente. Il problema di autoprodursi l'energia in grandi città è dettato dal fatto che spesso la maggior parte degli edifici è composto da condomini nei quali sono presenti diverse unità abitative che condividono però un unico tetto, ed è qui che entrano in gioco le comunità energetiche rinnovabili. Sono delle associazioni composte da enti pubblici locali, attività commerciali o aziende e/o privati, che decidono di dotarsi di infrastrutture per la produzione e l'utilizzo di energia pulita da fonti rinnovabili, come impianti fotovoltaici in condivisione, e diminuire così la dipendenza energetica dal sistema nazionale. Spesso questo tipo di soluzione genera più elettricità di quella consumata e il surplus viene ceduto agli altri soggetti collegati alla rete. In questo modo quelli che prima erano consumatori passivi, consumer, diventano produttori e consumatori attivi, prosumer.

## **Partecipazione a programmi di green pricing**

La definizione ufficiale di green pricing emanata dall'Agencia per la protezione ambientale degli Stati Uniti (EPA), riporta che *"Il green pricing si riferisce a un servizio di utilità opzionale che consente ai clienti delle utenze tradizionali di supportare un livello maggiore di investimento di utilità in energia rinnovabile pagando un premio sulla bolletta elettrica per coprire eventuali costi superiori al mercato per l'acquisizione di risorse energetiche rinnovabili."* Questo si traduce nel far pagare una quantità in più di denaro sulle bollette per usufruire di energia pulita. L'obiettivo è quello di ridurre la domanda di elettricità generata da fonti tradizionali a favore di quelle rinnovabili, investendo nel loro sviluppo. Inoltre aumentare il prezzo finale sulla bolletta incentiva il consumatore a richiedere meno energia.

*Green pricing, da: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)*

## **Utilizzo di elettrodomestici a basso consumo energetico o con la massima classe energetica**

Le scelte che facciamo tutti i giorni si rispecchiano anche in queste decisioni, e scegliere l'alternativa a basso consumo (di un elettrodomestico, lampadina, ecc.) rispetto a tutte quelle disponibili sul mercato, anche davanti a uno svantaggio in termini economici, è sicuramente una scelta consapevole che gioca a favore dell'ambiente e delle città. Si può definire come una delle soluzioni di mitigazione che ognuno di noi può adottare per il futuro fin da subito, iniziando a richiedere meno energia per eseguire i medesimi lavori e servizi. La sostituzione di luci a incandescenza con luci a led o a basso consumo permette di ridurre del 65% di richiesta di elettricità. Nelle tradizionali lampadine solo il 10% dell'energia consumata è impiegata per produrre luce

mentre il 90% è dispersa in calore. Altri esempi sono la scelta del programma ECO per la lavastoviglie (che sarebbe da azionare preferibilmente solo quando è piena) e la diminuzione dell'uso dell'asciugatrice.

## **Controllo degli elettrodomestici a distanza**

La possibilità di controllare i propri elettrodomestici a distanza permette di azionare o disattivare alcuni dispositivi prima del nostro arrivo per acclimatare la casa gradualmente. In questo modo si evita di contribuire alla generazione dei picchi di richiesta di energia che si verificano principalmente in due fasce orarie della giornata: quella in cui le ore sono più calde e quella in cui la maggior parte dei lavoratori rincasa. In queste ore all'interno della città è richiesto un elevato quantitativo di energia che spesso viene fornito da centrali elettriche dedicate alla gestione dei picchi che però, per fronteggiarla, utilizza inevitabilmente risorse non rinnovabili. Avere la possibilità di azionare i dispositivi un'ora prima di entrare in casa permette di non impostarli al massimo evitando di sovraccaricare.

## **Utilizzo di programmi di gestione intelligente (termostati, sensori)**

Disporre di programmi di gestione intelligente che si basano su dati raccolti da dispositivi, quali termostati o sensori, può notevolmente aiutare a ridurre il consumo di energia in quanto tali dispositivi riescono ad ottimizzare il funzionamento dell'impianto.

## **Non esagerare con le temperature (non troppo alte in inverno o basse in estate)**

Sia per una questione ambientale, ma soprattutto per

una questione di salute fisica, è bene non esagerare impostando temperature eccessivamente basse durante le giornate estive, anche in quelle molto calde. Lo sbalzo di temperatura interna ed esterna può provocare seri disagi fisici sulla salute dell'uomo, come già analizzato nel capitolo sui rischi sulla salute umana. Inoltre forzare il mantenimento di temperature eccessivamente fredde richiede enormi quantitativi di energia e causa la produzione di moltissimo calore che viene rigettato direttamente nelle città.

### **Non lasciare gli apparecchi elettronici in stand by**

Sembra banale, ma quante volte lasciamo la luce accesa in camera quando ceniamo, oppure il pc o la tv accesa anche quando non vengono utilizzati? Sono piccole accortezze che però sommate nel tempo e da parte di tutti gli individui potrebbero contribuire alla riduzione di richiesta di energia elettrica. Il 25% dell'energia che viene consumata da un televisore è impiegata quando è spento.

*(Gore Al, 2006, Una scomoda verità, come salvare la terra dal riscaldamento globale)*

## **7.1.3. Edilizia**

Nella progettazione architettonica di nuove abitazioni, è bene tenere in considerazione alcuni accorgimenti che, se correttamente applicati, possono offrire una serie di vantaggi non indifferenti e un livello di comfort abitativo molto alto.

### **Installazione vetri riflettenti**

Sono vetri a protezione antisolare con la capacità di riflettere la luce solare durante ore diurne garantendo

maggiori livelli di confort e privacy. Sono vetri piani su cui è aggiunta una laminatura di argento al fine di limitare la trasmissione energetica della radiazione solare. I dati riportano che circa il 30% dell'energia solare è riflessa, il 40% attraversa il vetro, e il 30% rimanente assorbita dal vetro che rilascerà parzialmente nell'ambiente interno e parzialmente nell'ambiente esterno. In questo modo il totale indica che circa il 50% dell'energia solare totale viene lasciata fuori dall'edificio. Per quanto riguarda i valori di luminosità, solo il 30% della luce visibile viene riflessa lasciando penetrare il 70% rimanente.

*(Vetro Riflettente , mpvetro, mpvetro.it)*

### **Installazione di schermature alle finestre**

Quando l'installazione di vetri riflettenti non è conveniente, persiane, tende a scomparsa o oscuranti consentono di schermare la luce solare e il calore che ne deriva, permettendo di mantenere temperature più fresche all'interno delle abitazioni. Come per l'installazione dei vetri riflettenti il beneficio diretto è il minor impiego di climatizzatori e la minor percezione del caldo anche nelle ore di punta.

### **Corretta esposizione**

Per corretta esposizione dell'edificio si intende che i locali maggiormente frequentati siano esposti prevalentemente a sud in modo da poter catturare più luce possibile durante le ore diurne. Se il tetto è ben esposto è vantaggioso installare i pannelli fotovoltaici o solari termici per la produzione di energia elettrica e termica da fonti rinnovabili.

### **Isolamento termico dell'edificio**

Come affrontato nel *Capitolo 06*, nel paragrafo inerente alle soluzioni passive, possedere un isolamento attorno alla propria abitazione garantisce anche in estate un livello di comfort superiore poiché rallenta l'ingresso del calore attraverso la muratura dell'edificio stesso. L'isolamento può essere effettuato attraverso l'ausilio di cappotto termico o pannelli isolanti.

### **Installazioni di tetti e pareti verdi**

In molte città si sta diffondendo la progettazione di edifici e abitazioni con tetti e/o pareti verdi. Con questa strategia la città gode di un enorme vantaggio in termini di raffrescamento, poiché le superfici rivestite da vegetazione hanno la capacità di assorbire le radiazioni solari utilizzando il calore per il processo di traspirazione. Grazie alla loro capacità di produzione di ossigeno migliorano la qualità dell'aria, fungono da isolante naturale per gli edifici, ombreggiandoli e mantenendo la temperatura interna più bassa nei mesi estivi.

08

# Capitolo 08

Conclusioni

## 8.1. CONCLUSIONI

È ormai noto che il pianeta si sta sempre più surriscaldando e nonostante siano stati elaborati numerosi terribili scenari, le misure finora adottate per fronteggiare questa problematica non risultano sufficienti. Più le temperature si alzano oggi, più la popolazione avrà bisogno di sistemi di raffrescamento domani, contribuendo sempre più al peggioramento delle isole di calore; è un circolo vizioso dal quale urge uscire.

Allo stato attuale, dato il livello raggiunto dalle tecnologie legate alle fonti rinnovabili e l'insufficiente sviluppo di esse, è chiaro che le risorse fossili continueranno a predominare nel bilancio energetico per ancora numerosi decenni. Anche se estremamente interessanti, oggi purtroppo le fonti rinnovabili non riescono ancora a garantire una produzione di energia tale da permettere loro di autofinanziarsi e restare in piedi senza l'aiuto di incentivi. Tecnologie come il solare e l'eolico sono quelle che più probabilmente nei prossimi decenni potranno portare alla transizione energetica con zero emissioni, ma è necessario chiedersi, da un punto di vista ambientale, in quanto tempo esse riusciranno a compensare il dispendio di energia necessario a costruire tali tecnologie. Quello che ogni cittadino può fare nel proprio piccolo per riuscire a tagliare un traguardo nel breve o medio periodo, è avvicinarsi a queste tecnologie in base alle proprie disponibilità, dall'uso di pile ricaricabili, batterie con celle solari, all'installazione di impianti fotovoltaici. Le soluzioni di tipo passivo sono oggi l'alternativa migliore da adottare per ridurre il proprio impatto ambientale circa il raffrescamento dei locali.

Una corretta e capillare diffusione della conoscenza della problematica, unita alla responsabilizzazione della popolazione, potrà far sperare che i trend finora previsti possano cambiare rotta e convergere verso scenari migliori.

Risulta chiara tuttavia la necessità di trovare soluzioni sistemiche di più ampio raggio e di favorire la collaborazione tra governi, autonomie locali, industrie e cittadini per promuovere e attuare provvedimenti e buone pratiche che riescano a far fronte al problema, oramai non più sottovalutabile.

È fondamentale sottolineare l'importanza di porre al centro della ricerca il benessere comune dell'uomo e del pianeta e non i profitti che si genererebbero da tali soluzioni.

## BIBLIOGRAFIA

Cecchi Paone Alessandro, Divo Giulio, 2008. Pianeta serra, la verità sul clima che cambia

Çengel Yunus A., (2005). Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, Il ciclo inverso a compressione di vapore, pag.229

Çengel Yunus A., 2005, Termodinamica e trasmissione del calore, McGraw-Hill, Macchine frigorifere e pompe di calore, pag. 122-123

Clò Alberto, 2017, Energia e Clima, l'altra faccia della medaglia

Gabri Carlo, Impianti di aria condizionata e di ventilazione nelle abitazioni e nelle industrie, 2 edizione

Gates Bill, 2021. Clima, come evitare un disastro. Le soluzioni di oggi, le sfide di domani

Gore Al, 2006, Una scomoda verità, come salvare la terra dal riscaldamento globale

Lanza Alessandro, 2000. Il cambiamento climatico, perchè sale la temperatura del pianeta? Le strategie di intervento per contrastare l'effetto serra

Mercalli Luca, (2020). Salire in montagna.

## SITOGRAFIA

Ai pioppi. Parco divertimenti. Tratto da: <https://www.aipioppi.com/>

Austria.info, Vienna - La città più verde al mondo. Tratto da: <https://www.austria.info/it>

Barolini Andrea, (06/2019). lifegate, A Tolosa un marciapiede rinfrescante per lottare contro il caldo, Tratto da: <https://www.lifegate.it/>

Carrier. Refrigerazione commerciale. Tratto da: <https://www.carrier.com/carrier/en/worldwide/>

Cdp. Burlington: città con elettricità rinnovabile al 100%. Tratto da: <https://www.cdp.net/en>

Centro di medicina, (29 Luglio 2019). Non solo colpi di calore: oltre ad aggravare le malattie, il caldo può provocare diversi problemi di salute. Tratto da: <https://www.centrodimedicina.com>

Centrostudi Gised, Clima e malattie della pelle - Infezioni e malattie da vettori. Tratto da: <https://www.centrostudigised.it/>

Ceteco, (2019), Quali sono le principali malattie degli anziani? Tratto da: <https://www.ceteco.it>

Climalteranti. Domande più frequenti – CO2 e gas serra. Tratto da: <https://www.climalteranti.it>

Coca-Cola Company, (25/09/2012). The Last Mile. Tratto da: <https://www.coca-colacompany.com/>

Corica Giuliana (2014). Globusmagazine, Green Heart, la nuova "palestra a forma di cuore" che converte le calorie bruciate

in energia pulita. Tratto da: <https://www.globusmagazine.it/>

Crea Alessandro, (2019). Veranu, la mattonella sarda che produce energia e abbatte le emissioni di CO2. Tratto da: <https://www.tomshw.it/>

Derbigum, DERBIBRITE NT, membrana prefabbricata bituminosa. Tratto da: <https://www.edilportale.com/>

Di Gregorio Rosa, (16 marzo 2022). Edilportale, Vetri riflettenti o a controllo solare per costruzioni sostenibili. Tratto da: <https://www.edilportale.com/>

EPA, (2 agosto 2022). Indicatori del cambiamento climatico: decessi correlati al calore. Tratto da: <https://www.epa.gov>

EPA, (2 agosto 2022). Indicatori del cambiamento climatico: malattie legate al caldo. Tratto da: <https://www.epa.gov>

Eppela, Veranu - la mattonella che produce energia. Tratto da: <https://www.eppela.com/>

Federica Lusiardi, (08/2022). Perché le città sognano gli alberi. Il verde urbano per contrastare le isole di calore, Tratto da: <https://www.inexhibit.com/>

Franconeri Ugo, (02/2018). Passioninside, Piastrelle smart. Tratto da: <https://www.passioninside.net/>

Gambraro Cristina, (05/2017). La nuova europa, IL CUORE VERDE DI VIENNA. Tratto da: <https://www.lanuovaeuropa.it/>

Georgiadis Teodoro, (2/04/2015), ISOLA DI CALORE URBANA E PROGETTAZIONE DEL COMFORT, REBUS® RENovation of public Building and Urban Spaces. Tratto da: <https://territorio.regione.emilia-romagna.it/>

Geothermal. MIT - The Future of Geothermal Energy, Tratto da: [geothermal.inel.gov](https://geothermal.inel.gov)

Gipe Paolo, (11/2012). Reneweconomy, Islanda: un esempio di fonti rinnovabili al 100% nell'era moderna, Tratto da: <https://reneweconomy.com.au/>

Giulia Ulpiani, (08/2020). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework, Tratto da: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Green pricing, Tratto da: <https://www.epa.gov/>

HelloFresh, HelloFresh, Tratto da: <https://www.hellofresh.it/>

HighLine, HIGHLINE. Tratto da: <https://www.hudsonyardsnewyork.com>

Horton Ben Anthony, (06/01/2022). Euronews, La città più verde d'Europa ha trasporti pubblici gratuiti e autostrade per le api. Tratto da: <https://www.euronews.com/>

Iconaclima (2020). Isola di calore urbana, perchè in città fa più caldo? Le cause del fenomeno. Tratto da: <https://www.iconaclima.it/>

IlGiornale, (11/ 2019). Svolta a Pechino, La città-foresta aiuta l'ambiente. Tratto da: <https://www.ilgiornale.it/>

Ippcc. Rapporto di sintesi AR5: cambiamento climatico (2014), Tratto da: <https://www.ipcc.ch/>

Italcementi. i.idroDRAIN, Tratto da: <https://www.italcementi.it/it>

Laio, F. (2021). Lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socioeconomici, Politecnico di Torino

Lifegate, (2016). È italiana la pista ciclabile luminescente più lunga del mondo e riempie di magia i laghi di Nabi. Tratto da: <https://www.lifegate.it/>

Longo Luca, (2019). Linkiesta, Riscaldamento globale: a Los Angeles si combatte dipingendo le strade di bianco. Tratto da: <https://www.linkiesta.it/>

Luber George, Prudent Natasha. National Library of Medicine, Cambiamenti climatici e salute umana. Tratto da: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Lumiwave (2022). Lumiwave. Tratto da: <https://www.lumiwave.com/>

Maria Chiara Cavuoto, (11/2020). Energycue, effetto serra e ozono: i refrigeranti per ridurre l'impatto, Tratto da: <https://energycue.it/>

Ministero della Salute, (2021). Rischi per la salute. Tratto da: <https://www.salute.gov.it/>

Ministero della Salute, (2022). Chi rischia di più, da: <https://www.salute.gov.it/>

Morbi Alice, (17/02/2017). Dezeen, I ricercatori del MIT sviluppano un materiale che si restringe quando fa freddo per mantenere il calore. Tratto da: <https://www.dezeen.com/>

MVDRV, Deposito Boijmans Van Beuningen. Tratto da: <https://www.mvdrv.nl/>

National Center for Climate Service. (2020). Cosa sono gli scenari di emissione? Tratto da: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>

Pinto Angela, (04/2020). ec.europa, FinEst Link Project" - Collegamento di trasporto estone finlandese. Tratto da: <https://>

ec.europa.eu/

Pony. Tratto da: <https://getapony.com/it>

Pubmed, (2004). Studio epidemiologico della mortalità durante l'ondata di caldo dell'estate 200. Tratto da: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>

Pubmed. Empirical evidence of mental health risks posed by climate change. Tratto da: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>

Regione piemonte. Carbon Footprint - L'impronta di Carbonio. Tratto da: <https://www.regione.piemonte.it/>

Rossi Elisabetta. Fotovoltaicosulweb, Green Heart: allenarsi per produrre energia pulita. Tratto da: [www.fotovoltaicosulweb.it](http://www.fotovoltaicosulweb.it)

Santamouris Mat, Cooling the buildings – past, present and future, Tratto da: <https://www.sciencedirect.com/>

SkySails ShipTechnology, (2013). Riportare il vento nella propulsione delle navi. Tratto da: <https://www.ship-technology.com/>

SolCold. Tratto da: <https://solcold.co/>

Sorgenia, (2 maggio 2022). Energia solare. Tratto da: <https://www.sorgenia.it/>

Sorgenia, (2 settembre 2022). Energia eolica. Tratto da: <https://www.sorgenia.it/>

Stefano Boeri architetti, (2016). Liuzhou Forest City, Tratto da: <https://www.stefano-boeri-architetti.net/>

TGO, tgo, Tratto da: <https://www.tgogc.com/>

The Economist, (2021). Youtube, How to keep cool while the

world gets hotter, Tratto da: <https://www.youtube.com/>

Ust. Trasporto passeggeri urbano e interurbano, Tratto da: <https://ust.inc/transport-solutions/passenger/>

Vergari Federico. Green, Copenhagen, una città a misura di bici. Tratto da: <https://www.green.it/>

Verticalfield, Check Point. Tratto da: <https://www.verticalfield.com/>

Vetro Riflettente, mpvetro, Tratto da: <https://www.mpvetro.it/>

Violato Anna, (19 /05/2021). Chiara, I nostri balconi saranno i futuri "punti ristoro" per gli impollinatori? Tratto da: <https://www.chiara.eco/>

Watermirror, Watermirror: a place to cool off in bourdeaux. Tratto da: <https://www.morethangreen.es/>

Wien, Vienna, La città delle api. Tratto da: <https://www.wien.info/it>

Wikipedia, (22 novembre 2022). Energia geotermica. Tratto da: <https://it.wikipedia.org/>

Wikipedia, (6 aprile 2022). Energia cinetica. Tratto da: <https://it.wikipedia.org/>

Wikipedia. (2022). Gas serra. Tratto da: <https://it.wikipedia.org/>

Wiley Online Library, (2020). Effetti dell'isola di calore nella valutazione del ciclo di vita urbano: nuovi approfondimenti per includere gli effetti dell'isola di calore urbana e le misure di mitigazione dell'UHI nell'LCA per un'efficace elaborazione delle politiche. Tratto da: <https://onlinelibrary.wiley.com/>

## ICONOGRAFIA

01. Rappresentazione dell'isola di calore urbana, elaborazione dell'autore
02. Materiali per l'edilizia, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
03. Pavimentazione, immagine da: [meteo.expert](http://meteo.expert)
04. Geometria città, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
05. Attività antropica, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
06. Popolazione urbana e rurale al 2100, rielaborazione grafica da: [ourworldindata.org/how-urban-is-the-world](http://ourworldindata.org/how-urban-is-the-world)
07. Rcp da: CDIAC/GCP/IPCC/Fuss et al 2014, da: [www.globalcarbonproject.org](http://www.globalcarbonproject.org)
08. Rappresentazione flussi energetici Terra-Sole, elaborazione dell'autore
09. Inquinamento nella città di Torino, immagine da: [agi.it](http://agi.it)
10. Rappresentazione percentuale gas serra, immagine da: lezioni dal corso Cambiamenti climatici e socio economici, Politecnico di Torino, 2021
11. Carbon footprint, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
12. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
13. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
14. Rielaborazione grafica dei dati, fonte dati: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)
15. Elaborazione grafica dei dati, fonte dati: [pubmed.gov](http://pubmed.gov)
16. Immagine di riferimento mobilità sostenibile, immagine da: [www.hr-link.it](http://www.hr-link.it)
17. Monopattino e bici Pony, immagine da: [www.getapony.com](http://www.getapony.com)
18. Pony, rielaborazione immagine da: [www.getapony.com](http://www.getapony.com)
19. The Last Mile, immagine da: [getf.org](http://getf.org)
20. Coca-Cola e farmaci, immagine da: [theindexproject.org](http://theindexproject.org)
21. uBike e uBus nell'EcoTechnoPark, immagine da: [ust.inc](http://ust.inc)
22. HelloFresh, immagine da: [www.brand-news.it](http://www.brand-news.it)
23. HelloFresh, immagine da: [www.hellofresh.it](http://www.hellofresh.it)
24. SkySails, immagine da: [connaissancedesenergies.org](http://connaissancedesenergies.org)

25. Aquilone, immagine da: [skysails-group.com](http://skysails-group.com)
26. Pista ciclabile Copenaghen, immagine da: [www.pinterest.it](http://www.pinterest.it)
27. Pista ciclabile, immagine da: [www.visitcopenhagen.it](http://www.visitcopenhagen.it)
28. Vista sulla città di Tallin, immagine da: [www.lonelyplanet.com](http://www.lonelyplanet.com)
- 29a. Emissioni di gas serra per settore, da: [ourworldindata.org](http://ourworldindata.org)
- 29b. Consumo di energia per fonte, da: [ourworldindata.org](http://ourworldindata.org)
30. Pannello solare termico, immagine da: [www.infobuildenergia.it](http://www.infobuildenergia.it)
31. Pannello fotovoltaico, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
32. Pannello solare termid dinamico, immagine da: [energiealternative-ac.com](http://energiealternative-ac.com)
33. Pale eoliche, immagine da: [www.freepik.com](http://www.freepik.com)
34. Energia idroelettrica, immagine da: [www.artingegneria.com/](http://www.artingegneria.com/)
35. Energia geotermica, immagine da: [rsprc.ntu.edu.tw](http://rsprc.ntu.edu.tw)
36. Energia cinetica, immagine da: [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)
37. Pista ciclabile luminescente, immagine da: [www.lifegate.it](http://www.lifegate.it)
38. Pista ciclabile luminescente, immagine da: [blog.planbee.bz](http://blog.planbee.bz)
39. Lumiwave, immagine da: [www.pianetadesign.it](http://www.pianetadesign.it)
40. Tessuto fotovoltaico, immagine da: [www.pianetadesign.it](http://www.pianetadesign.it)
41. Carrello della gobba, immagine da: [aiopioppi.com](http://aiopioppi.com)
42. Mappa del parco, immagine da: [aiopioppi.com](http://aiopioppi.com)
43. Pendolo, immagine da: [aiopioppi.com](http://aiopioppi.com)
44. TGO Green Heart, immagine da: [newatlas.com](http://newatlas.com)
45. Palestra TGO, immagine da: [www.fotovoltaicosulweb.it](http://www.fotovoltaicosulweb.it)
46. Mattonella green, immagine da [veranu.eu](http://veranu.eu)
47. Mattonella smart, immagine da: [antropocene.it](http://antropocene.it)
48. Burlington, immagine da: [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)
49. Vista sulla città di Reykjavik, immagine da: [toursscanner.com](http://toursscanner.com)
50. Rappresentazione cool roof, elaborazione dell'autore
51. Deposito Boijmans Van, immagine da: [www.mvrdv.nl](http://www.mvrdv.nl)
52. Tetto dell'edificio, immagine da: [www.mvrdv.nl](http://www.mvrdv.nl)
53. Watermirror, immagine da: [www.morethangreen.es](http://www.morethangreen.es)
54. Watermirror, immagine da: [www.morethangreen.es](http://www.morethangreen.es)
55. Derbigum, DERBIBRITE NT, immagine da: [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)

56. Derbigum, DERBIBRITE NT, immagine da: [www.edilportale.com](http://www.edilportale.com)
57. idro.DRAIN, rielaborazione immagine da:  
[www.stradeeautostrade.it](http://www.stradeeautostrade.it)
58. Funzionamento SolCold, immagine da: [www.hubxygen.com](http://www.hubxygen.com)
59. Strati di SolCold, immagine da: [solcold.co](http://solcold.co)
60. Materiale auxetico, immagine da: [dezeen.com](http://dezeen.com)
61. Proprietà auxetiche, immagine da: [dezeen.com](http://dezeen.com)
62. Strada verniciata con CoolSeal, immagine da: [www.linkiesta.it](http://www.linkiesta.it)
63. Tolosa, immagine da: [cosavederein1giorno.it](http://cosavederein1giorno.it)
64. Vertical Living Gallery, immagine da: [www.jebiga.com](http://www.jebiga.com)
65. Evapotraspirazione elaborazione dell'autore
66. Parco ducale di Parma, immagine di Cristina Guetta da  
[wikipedia.org](http://wikipedia.org)
67. Le simulazioni ENVI-MET di Parma senza parco (a sinistra)  
con parco (a destra) © elaborazioni CNR IBIMET da:  
ISOLA DI CALORE URBANA E PROGETTAZIONE DEL  
COMFORT, REBUS® RENovation of public Building and  
Urban Spaces
68. Flussi di drenaggio senza parco (a sinistra) e con parco  
(a destra) © elaborazioni CNR IBIMET da: SOLA DI  
CALORE URBANA E PROGETTAZIONE DEL COMFORT,  
REBUS® RENovation of public Building and Urban Spaces
69. Edificio Check Point a Tel Aviv, immagine di Ilan Sfera da:  
[www.calcalistech.com](http://www.calcalistech.com)
70. Parete verde del Check Point a Tel Aviv, immagine da:  
[www.verticalfield.com](http://www.verticalfield.com)
71. High Line immagine da: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
72. High Line, immagine di Timothy Schenck da:  
[www.elblogdelatabla.org](http://www.elblogdelatabla.org)
73. Ape impollinatrice, immagine da [www.momentocasa.it](http://www.momentocasa.it)
74. Bee hotel, immagine di Marta Galloni da: [www.chiara.eco](http://www.chiara.eco)
75. Capsula Mundi, immagine da: [capsulamundi.it](http://capsulamundi.it)
76. Cimitero-bosco, immagine da: [capsulamundi.it](http://capsulamundi.it)
77. Vista di Vienna, immagine da: [www.lanuovaeuropa.it](http://www.lanuovaeuropa.it)
78. Liuzhou Forest City immagine da: [www.stefano-boeri-architetti.net](http://www.stefano-boeri-architetti.net)
79. Schema della macchina del ghiaccio di Gorrie, immagine

- da: [en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org)
80. Carrier davanti al primo condizionatore, immagine da:  
[www.focus.it](http://www.focus.it)
81. Unità di dispositivi di climatizzazione, rielaborazione  
grafica dati da IEA
82. Schema funzionamento del dispositivo di climatizzazione,  
immagine da: [www.alclimatizzazione.it](http://www.alclimatizzazione.it)
83. Flussi energetici in una macchina frigorifera, immagine da:  
[pcfarina.eng.unipr.it](http://pcfarina.eng.unipr.it)

## RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutte le persone che hanno contribuito, tramite consigli e critiche, alla realizzazione di questo elaborato. In particolar modo vorrei ringraziare la mia relatrice, la Professoressa Silvia Barbero, che ha accettato con entusiasmo di seguirmi in questo percorso.

Un ringraziamento anche a tutti i Professori che mi hanno dedicato il loro tempo e le loro conoscenze, tra cui Walter Franco, Roberto Giordano e Marco Simonetti.

Alla mia famiglia, per esserci sempre stata, aver creduto in me e per avermi permesso di raggiungere questo importante traguardo. Un ringraziamento speciale a te papà, per esserti messo al mio fianco quando non sapevo che strada prendere e per il prezioso aiuto che mi hai dato attraverso le tue conoscenze, risultato della tua meravigliosa curiosità.

Grazie Miri, che da quando sono diventata tua sorella sei sempre stata un punto di riferimento sicuro per me e hai sempre saputo darmi preziosi consigli, non solo nella stesura della tesi, ma nella mia intera vita.

E grazie te mamma, sei una delle persone più dolci e più buone che io conosca. Non hai mai esitato a mostrarmi tutto l'affetto e l'amore che provi nei miei confronti. Grazie per avermi sempre sostenuta in tutte le scelte importanti della mia vita.

A te, Gabriele, che cinque anni fa esatti sei entrato a far parte della mia vita portando tanta gioia. Abbiamo fatto tanta strada insieme e spero di poter imparare ancora molto da te.

Infine, grazie a tutti i miei amici che hanno fatto parte delle mie giornate durante questo percorso, in particolare a te Lu, compagna di notatte su Ai, senza di te non sarebbe stata la stessa cosa.

