

REBUS®

REnovation of public Buildings and Urban Spaces

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED EFFETTI SULLE CITTÀ

Teodoro Georgiadis

ASSESSORATO AI TRASPORTI, RETI INFRASTRUTTURE MATERIALI
E IMMATERIALI, PROGRAMMAZIONE TERRITORIALE
E AGENDA DIGITALE

DIREZIONE GENERALE CURA DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE

SERVIZIO PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA,
DEI TRASPORTI E DEL PAESAGGIO

REBUS®
**REnovation of public Building
and Urban Spaces / 3° edizione**

**Progetto di
REGIONE EMILIA-ROMAGNA**

Assessorato ai trasporti,
reti infrastrutture materiali
e immateriali.
Programmazione territoriale
e agenda digitale.
Raffaele Donini
assessore

**D.G. Cura del territorio e
dell'ambiente**
Paolo Ferrecchi
direttore

**Servizio Pianificazione
territoriale e urbanistica, dei
trasporti e del paesaggio**
Roberto Gabrielli
dirigente

Luisa Ravanella
project manager

Ideato e sviluppato nell'ambito di
Progetto europeo
REPUBLIC-MED
REtrofitting PUBLIC spaces in
MEDiterranean cities

Con il supporto tecnico-scientifico
CNR IBIMET - Consiglio
Nazionale Ricerche, Istituto
di Biometeorologia - Bologna
ProAmbiente - Bologna
Politecnico di Milano -
Dipartimento DASTU

Organizzato con
ANCI Emilia-Romagna

Con la collaborazione dei Comuni
Ferrara, Ravenna, San Lazzaro di
Savena - BO (3° edizione)
Modena, Parma, Rimini
(2°-1° edizione)

Con il patrocinio
Ministero dell'Ambiente
CNAPPC Consiglio Nazionale
Architetti Paesaggisti
Pianificatori Conservatori
INU Istituto Nazionale di
Urbanistica
AIAPP Associazione Italiana di
Architettura del Paesaggio
Climate-KIC Italia

Con l'adesione di
AUDIS Associazione Aree Urbane
DISmesse
Nomisma / NOVA VIA by Nomisma
Urban@it

**Con il patrocinio degli Ordini
professionali**
Ordini Architetti P.P.C. delle
province di Bologna, Ferrara,
Ravenna, Parma, Rimini, Modena
Federazione Emilia-Romagna
Dottori Agronomi e Forestali
Ordine Dottori Agronomi e
Forestali delle province di
Bologna, Ferrara, Ravenna,
Parma, Rimini, Modena
Ordini degli Ingegneri delle
province di Bologna, Ferrara,
Ravenna, Parma, Rimini, Modena
AIAPP Triveneto Emilia Romagna

Media Partner
Maggioli Editore
Architetti Idee Cultura e
Progetto
Architetti.com
Planum. The Journal of Urbanism
www.planum.net
Urban Center Bologna
Urban Center Ferrara

Social Media Partner
DocGreen Forma il tuo verde
E.Ventopaesaggio
GARBo Giovani Architetti Bologna
Giardini Condivisi Parma
Manifattura Urbana
OvestLab Modena
Re-Mend Rigenerazione urbana e
Architettonica
Street Italia
TipiStudio

Percorso formativo
**Laboratorio Gioco-simulazione /
3° edizione**

Ideazione
Elena Farnè, Luisa Ravanella

Sviluppo
Elena Farnè, Luisa Ravanella,
Francesca Poli

Coordinamento tecnico
Luisa Ravanella
Regione Emilia-Romagna

Coordinamento organizzativo
Antonio Gioielleri
Marco Giubilini
Giacomo Prati
Matteo Zocca
Anci Emilia-Romagna

Lectio Magistralis
Christine Dalnoky - Atelier de
Paysage Dalnoky (FR)

Docenti
Valentina Dessì - Politecnico di
Milano, Dipartimento DASTU
Claudio Calvaresi - Avanzi
Sostenibilità per Azioni, Milano
Kristian Fabbri - architetto
Elena Farnè - architetto
Roberto Gabrielli - Regione
Emilia-Romagna, Servizio
Pianificazione urbanistica,
Paesaggio e Uso sostenibile del
territorio
Teodoro Georgiadis - CNR
Bologna, IBIMET
Marco Marcatili - Nomisma
Andreas Matzarakis - Università
di Friburgo
Francesca Poli - architetto
Luisa Ravanella - Regione
Emilia-Romagna, Servizio
Pianificazione urbanistica,
Paesaggio e Uso sostenibile del
territorio
Maria Teresa Salomoni
- agronoma paesaggista
Proambiente

 www.rebus.site
bit.ly/rebus-laboratorio

 info@rebus.site
rebus@regione.emilia-romagna.it

 **Rigenerazione urbana e Paesaggio**
@LabREBUS

 **REBUS L'energia della città**

 **#rebus_**

 issuu.com/laboratoriorebus

Modelli 3D/Cartografia
Francesca Poli
Riccardo Raimondi
Ilaria Tonti
Stefano Zec

Tutor d'aula
Giulio Roberti - Envi-Met
Francesco Segnèghi -
BENEFITS®

Facilitazione in aula
Anna Agostini
Adriano Cancellieri
Elena Farnè
Elena Ostanel
Lucio Maria Rubini

LinkedIn / Facebook
Francesca Poli
Emilia Strada

Segreteria tecnica-organizzativa
Francesca Poli
Giacomo Prati
Matteo Zocca

**Segreteria e supporto logistico-
organizzativo**
Lorella Dal Monte
Brunella Guida

Amministrazione
Marisa Dalla Noce - RER
Miriam Cafaro - Anci ER

Stampa
Centro Stampa
Regione Emilia-Romagna
Stampato a Bologna,
nel 2018

Crediti
© Per le foto, le immagini
e i disegni, gli studi di
progettazione, i professionisti,
i ricercatori, i fotografi e gli
autori della dispensa
© Per i testi, le autrici e gli
autori della dispensa dove non
diversamente citati altri autori

Condividi REBUS®
Tutti i contenuti sviluppati
nell'ambito di REBUS® usano
Licenza Creative Commons 4.0
Internazionale
Non commerciale - Condividi
allo stesso modo



Simulazioni BENEFITS®
Francesco Segnèghi

Schede casi studio
Elena Farnè, Francesca Poli,
Luisa Ravanella
con il contributo di
Fernanda Canino, Lorenzo Feltrin,
Oronzo Filomena, Sebastiano
Sarti, Anna Maria Tudisco (San
Lazzaro di Savena), Federica Del
Conte, Francesca Proni, Leonardo
Rossi, Nicola Scandella, Antonia
Tassinari, Ilaria Venturi, Officina
Meme (Ravenna), Antonio
Barillari, Tiziana Coletta, Roberta
Fusari, Francesca Guerzoni,
Silvia Mazzanti, Davide Tumati
(Ferrara)

indice

4	TEODORO GEORGIADIS
6	LA PROGETTAZIONE DEL COMFORT
8	I PROCESSI
9	A. PROCESSI SUPERFICIALI
10	B. PROCESSI A LIVELLO DI CANOPY URBANA
12	C. PROCESSI NELLO STRATO LIMITE URBANO
13	D. EFFETTI URBANI DI PROCESSI ESOGENI
15	E. IL BENESSERE BIOCLIMATICO (COMFORT)
18	CONCLUSIONI
19	CASO STUDIO: IL PARCO DUCALE DI PARMA
20	LA RESILIENZA DEI SISTEMI URBANI
20	I CAMBIAMENTI CLIMATICI E GLI IMPATTI SULLA CITTÀ
23	IMPATTI SULLA SALUTE UMANA
26	CONCLUSIONI
28	CLIMA E INQUINAMENTO URBANO
32	BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE E LETTURE CONSIGLIATE

Teodoro Georgiadis

Laureato in Fisica ed Astronomia, laureato magistrale in Pianificazione territoriale.

Primo Ricercatore all'Istituto di Biometeorologia del CNR di Bologna.

Si occupa di bilanci energetici superficiali nell'ambiente urbano e della mitigazione degli effetti delle interazioni tra atmosfera e costruito.

Attualmente è il delegato nazionale in IAMAS-IUGG (Associazione internazionale di Scienze dell'Atmosfera e Meteorologia). È stato responsabile del gruppo 'acque' nel capitolo 'Quartieri' di Leed-Italia. Membro CdA Consorzio ProAmbiente Rete Alta Tecnologia ER, Coordinatore Piattaforma Regionale ER Energia-Ambiente, Consigliere Regionale Anfea, Consigliere Regionale Colap, delegato nazionale Agi al tavolo Uni legge 4/2013.

Revisore Albi MIUR e MAP. Valutatore Esperto EC.



Sopra e in copertina: Chassé-Terrein, intervento di trasformazione di un'ex area militare in un quartiere a funzioni miste, residenziali e terziarie a Breda nei Paesi Bassi. L'area oggetto di studio ha una superficie di 13 ha e si colloca a ridosso della

città. Il masterplan di OMA ha previsto l'integrazione di alcune polarità esistenti del quartiere (un museo, un teatro ed un edificio comunale) con edifici di nuova costruzione a destinazione d'uso residenziale.

Gli edifici sono disposti liberamente nell'area seguendo un principio compositivo volto a creare un contrasto con la città medievale. Gli spazi pubblici interni al comparto sono totalmente pedonali e ciclabili, caratterizzata dalla presenza

di grandi piazze e slarghi con scarse alberature e spazi per la sosta.
(© OMA con West8)

la progettazione del comfort

Si analizzano i fenomeni meteo-climatici che producono impatti sulle città e in particolare sulle popolazioni urbane, così come la struttura stessa del sistema urbano possa influenzare il clima e la meteorologia a livello locale. Infatti, se da un lato i sistemi atmosferici a larga scala spaziale, così come il regime climatico definito su ampia scala temporale, determinano condizioni caratterizzanti il clima cittadino, è anche vero che i cambiamenti morfologici e strutturali del tessuto urbano, influenzando gli scambi di energia e materia in prossimità della superficie, possono determinare cambiamenti significativi del microclima.

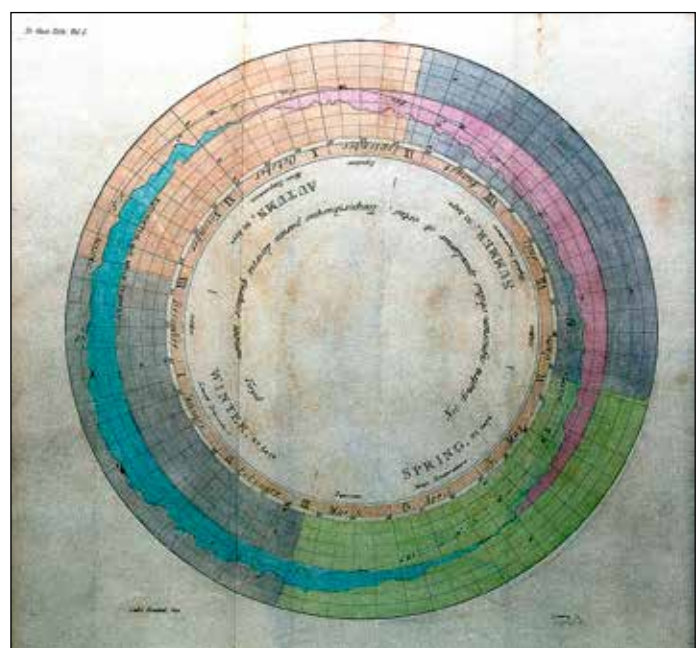
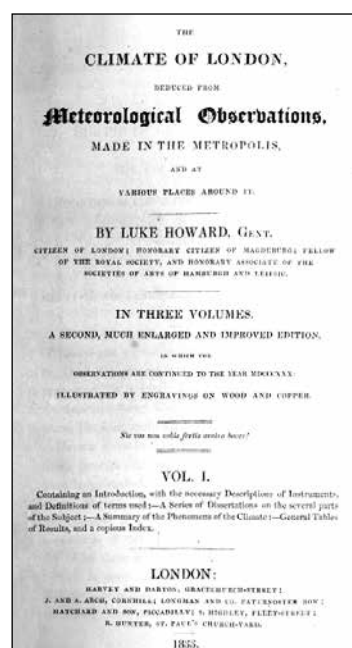
Lo studio delle relazioni che regolano il rapporto fra clima e città ha origine antiche e il primo lavoro sistematico è dovuto a Luke Howard (1772-1864) che nel 1833 pubblicò 'The climate of London' (img.1-2) che, di fatto, segna la nascita della climatologia urbana come scienza applicata. Howard riuscì a sistematizzare circa trenta anni di osservazioni estraendo delle conclusioni che ancora oggi possono descrivere in modo coerente il funzionamento di questo rapporto duale.

Quello studio, infatti, non solo caratterizzava una delle prime metropoli industriali del mondo, ma indicava chiaramente che, oltre all'influenza dei fenomeni meteorologici a grande scala era la città stessa, con la propria struttura e composizione, ad influenzare profondamente il clima locale intervenendo sul flusso anemologico, sulla distribuzione dell'umidità e sul regime delle temperature differenziando i parametri ambientali della città dalle vicine zone rurali (img.3).

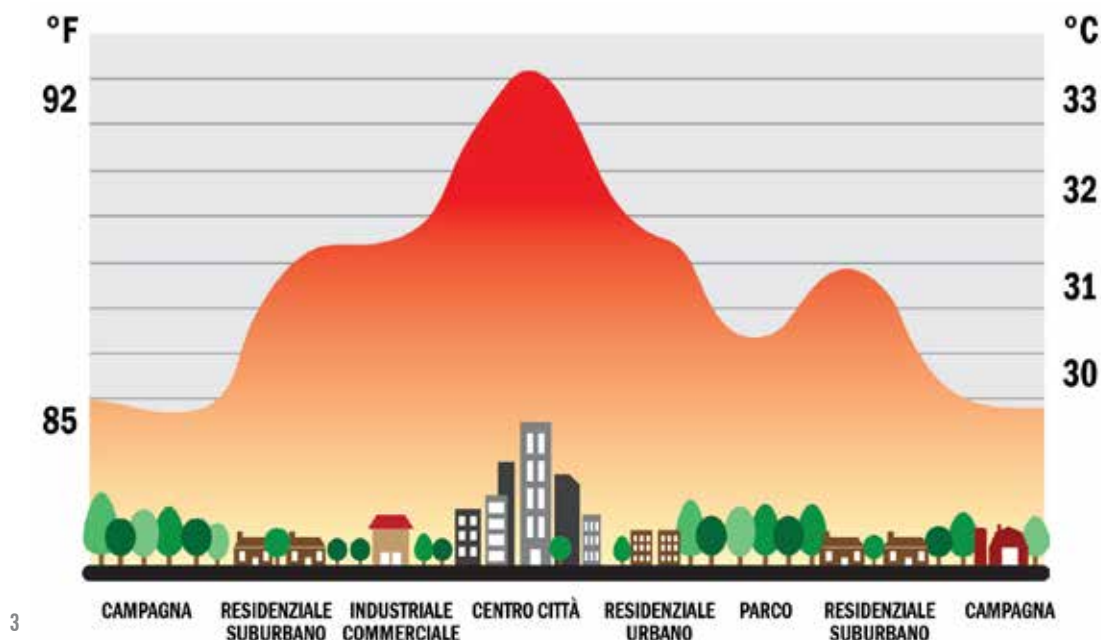
Seppur questo importante studio avesse aperto la strada per un maggior apporto speculativo di ricerca nel settore urbano, bisogna attendere fino a quasi la metà del secolo successivo perché rinasca un interesse concreto nello studio delle relazioni clima-città. È solo verso la fine degli anni '80, vuoi anche a causa del rinnovato interesse per il problema climatico

1. Il frontespizio originale del libro di Howard: 'The climate of London' (1833).

2. Immagine della pubblicazione 'The climate of London' (1833) che illustra l'andamento annuale della temperatura.



3. Rappresentazione grafica dell'isola di calore urbano.
(© www.ecquologia.com)



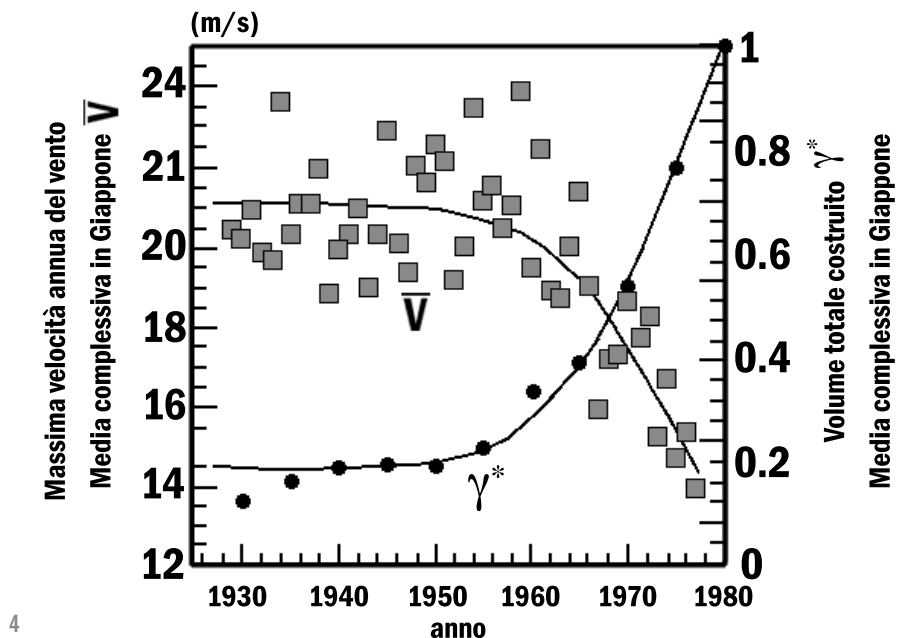
globale, che la forma della città incomincia ad essere modellata anche in senso fisico e non solo più prettamente urbanistico, incominciando anche a diffondersi in un più vasto pubblico non specialista il termine di **'isola di calore urbana'** che sembra sintetizzare in forma assiomatica un complesso sistema di relazioni di scambio energetico tra la superficie costruita e l'atmosfera. Questa può essere considerata come una conquista recente, che si affianca ad una consolidata visione urbanistica che vuole la città come il risultato di un *genius loci*, determinato da uno spirito guida determinato e supportato anche dalla geografia e dalle condizioni climatiche che hanno fatto sì la città crescesse e prosperasse proprio in quel punto della mappa del mondo.

La capacità dell'uomo nel modificare l'ambiente per incrementare il proprio benessere si inserisce oggi nella dialettica naturale o di più primitivi insediamenti fino ad esplodere nelle contraddizioni delle moderne megalopoli, contraddizioni che devono essere l'impulso guida principale per condurre gli studi di climatologia urbana accoppiati a quelli urbanistici.

i processi

Per sottolineare quanto siano importanti le relazioni fisiche nel tessuto urbano anticipiamo una definizione, delle tante che si possono trovare in letteratura, relativa alla città ampia (L. Dijkstra e H. Poelman, 2012): “si definisce città ampia (large city) quell’agglomerato urbano ove esiste un areale all’interno del quale la velocità media del vento prevalentemente si azzera”. Anche se a prima vista non sembra esservi alcunché di rivoluzionario nella definizione, una analisi più attenta ci porta a scoprire che un concetto urbanistico-architettonico come quello di città vasta viene ad essere indicizzato non tramite le consuete caratteristiche morfologiche

4. Evoluzione delle relazioni tra la velocità del vento e il volume totale del costruito in Giappone. (©Yukio Tamura et al., 1999)



del territorio e dell’edificato, ma attraverso un parametro meteorologico. Infatti è l’interazione tra flusso d’aria e costruito a creare una forza di attrito che fa scemare la velocità del vento procedendo verso il baricentro del sistema urbanizzato (img.4).

Da questo primo effetto possiamo già renderci conto come da queste interazioni possano discendere catene complesse di interpretazioni e progettazioni urbanistiche del vivere, e in particolare del vivere in **condizioni di benessere**.

Per mettere a punto una rassegna ordinata dei diversi **processi di interazione clima-città**, e delle diverse scale sulle quali questi operano, conviene seguire una gerarchia crescente partendo quindi dalle microproprietà del tessuto urbano per concludere il nostro percorso sulle scale del dominio delle perturbazioni meteorologiche.

A. PROCESSI SUPERFICIALI

Il costruito dell'ambiente antropizzato presenta rispetto a quello naturale una elevata differenza in termini di proprietà ottiche e termiche delle superfici.

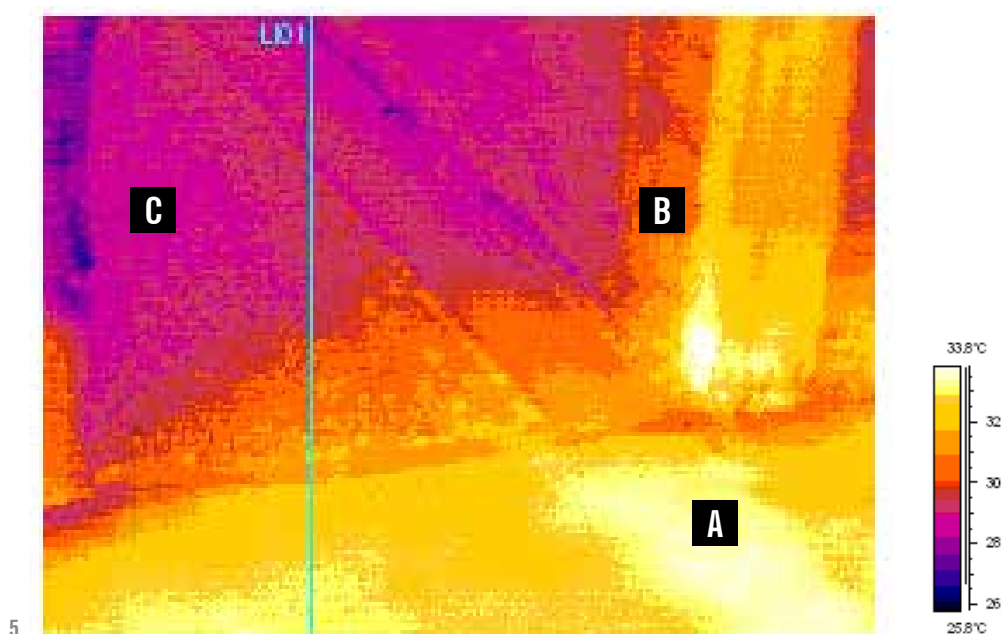
I materiali dell'ambiente urbano hanno comportamenti diversi in termini di assorbimento e riflessione della radiazione solare incidente rendendo così più o meno elevata la quota di radiazione disponibile (assorbita od utilizzata in diversi processi) alla superficie.

Per esempio, alla base di questo semplice processo è tutta la filosofia riguardante il raffrescamento delle città attraverso la tecnica dei 'cool roof' (dei tetti freddi ovvero bianchi) che riflettendo una elevata quota di radiazione in ingresso nel sistema superficiale riducono l'ammontare energetico disponibile alla superficie. Insieme alle proprietà di 'colore' esiste anche come importante contributo la scabrezza delle superfici la quale, in base alla lavorazione, può intrappolare più o meno radiazione.

Affiancate alle proprietà ottiche ci sono quelle termiche, ovvero di inerzia termica, dei materiali che modulano il rilascio del tempo dell'energia radiante assorbita quale flusso di calore (detto sensibile), questo ciclo ha un marcato andamento giornaliero. Questo processo è quello che va direttamente ad influenzare le condizioni di benessere, in particolare per le fasce deboli della popolazione (bambini, anziani e malati): il rilascio notturno di calore, aumentando il disagio fisiologico, può incidere direttamente sul ciclo del sonno. Rispetto alla prima tipologia di interazione analizzata e basata sulle proprietà ottiche, questa è di più complessa definizione, in quanto l'onda di flusso di calore dovuto all'inerzia termica è legata anche alla struttura ipogea dell'edificio, che può funzionare da accumulatore di calore (img.5).

5. Andamento delle temperature in funzione delle proprietà superficiali dei materiali.

A / asfalto
B / travertino
C / ciottolato



Lo studio dei materiali storici e la rivalutazione di soluzioni architettoniche più antiche può risultare quindi nel prossimo futuro quale importante elemento di mitigazione del clima urbano. Piccoli cambiamenti nei materiali possono trasformarsi in grandi cambiamenti sul microclima.

Una terza interazione è dovuta alla **permeabilità all'acqua** dei materiali utilizzati. Infatti, un grande modulatore climatico sono i **processi evaporativi ed evapo-traspirativi** delle superfici che utilizzano energia della radiazione incidente per portare l'acqua dallo stato liquido a quello di vapore, sottraendo conseguentemente questa quota di radiazione ad altri processi di riscaldamento superficiale. Quando Friedensreich Untertwasser propose l'albero quale cittadino della città compì non solo un gesto rivoluzionario dal punto di vista culturale urbanistico, ma anche sotto una ottica di marcatissimo taglio fisico. Infatti, **nessuna superficie rappresenta meglio della vegetazione la capacità di togliere quota della radiazione attraverso la funzione fisiologica dell'apertura stomatica**. Altrettanto importante è il **processo evaporativo in sé** che si genera su un suolo nudo imbibito di acqua. Purtroppo, le nostre città vedono una **pressoché totale impermeabilizzazione del suolo e la scomparsa della vegetazione**: tutto questo si traduce in una maggior quota di radiazione disponibile per il riscaldamento superficiale e, fatto molto importante, in un rapido scarico in fogna della potenziale acqua meteorica dovuta alle precipitazioni, che dà poi luogo, anche se a chilometri di distanza a fattori nocivi dal punto di vista della stabilità del territorio e della linea costiera.

La semplice analisi di quello che avviene alla superficie già ci fa comprendere come alcune scelte urbanistiche sui soli materiali non possono essere prese in base a un mero concetto di bellezza o di costi, in quanto possono incidere enormemente sul microclima urbano e dunque sul benessere dei cittadini.

B. PROCESSI A LIVELLO DI CANOPY URBANA (TETTI E COSTRUITO)

Il livello superiore di interazione è rappresentato dalla **tessitura del costruito** con i **campi superficiali dei parametri ambientali**, ad esempio il campo dell'intensità del vento, ed il loro mutare con il ciclo diurno.

In introduzione abbiamo visto come una caratteristica notevole della città di interagire con la **velocità del vento** fosse stata chiaramente evidenziata già verso la prima metà del 1800.

Attualmente prestiamo molta attenzione a questo processo che **contribuisce a formare, ovvero accrescerne l'intensità, dell'isola di calore urbana**. Il vento, infatti, rappresenta un **elemento mitigante dei flussi di calore** (basti pensare che negli apparati elettronici si alettano le superfici proprio per promuovere questo fenomeno), e il frenamento del flusso causato dall'attrito con le superfici del costruito riduce questa proprietà notevole del flusso anemologico. Da notare che anche in questo caso la **scabrezza delle superfici** diviene importante, dove però con scabrezza si deve intendere la **differenza media delle quote dei palazzi e la loro variabilità spaziale**.

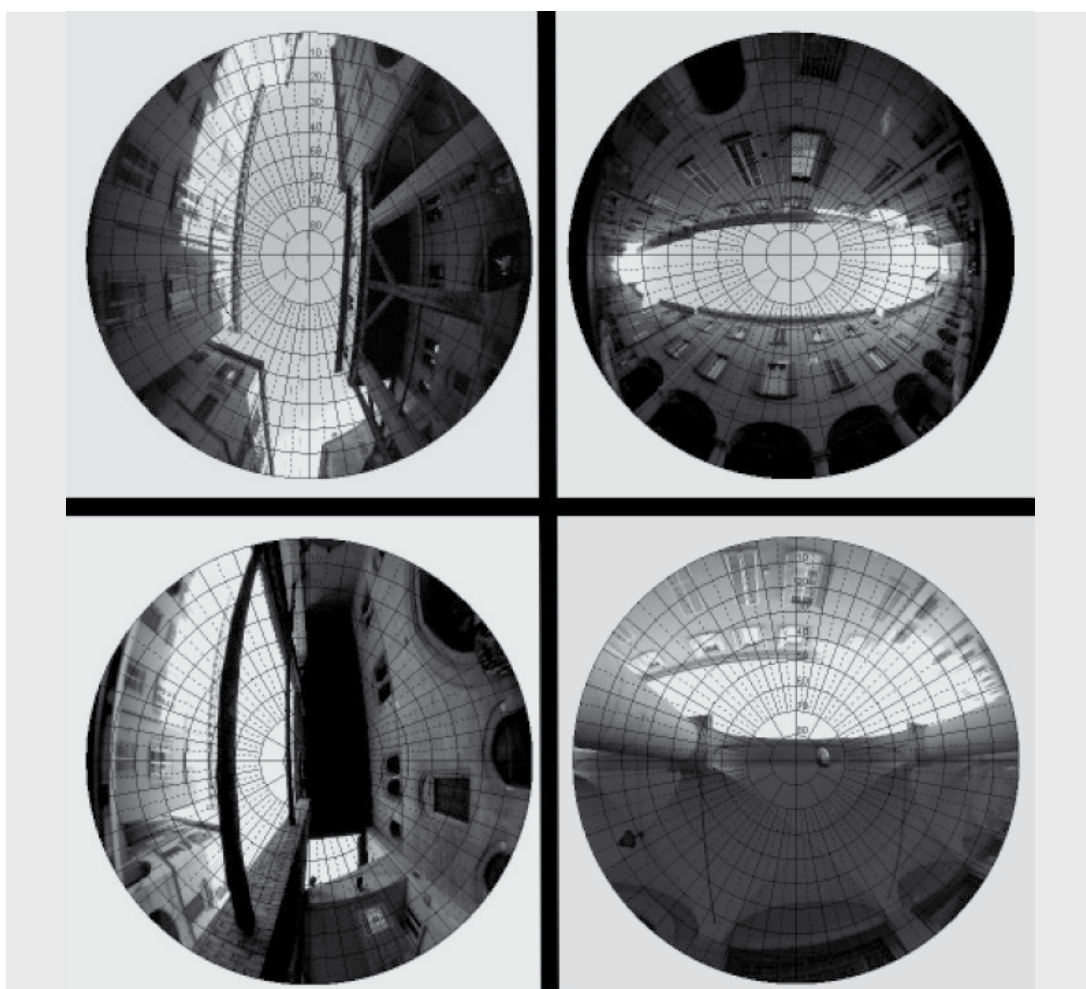
Stiamo quindi entrando in un livello di interazione in cui le **decisioni urbanistiche** (che riguardano il **posizionamento delle volumetrie**), ovvero politiche, esercitano un **influsso diretto**

sulle interazioni della città con i parametri meteo-climatici e quindi ricadono sulle condizioni che formano poi il benessere fisiologico dei cittadini, rappresentato appunto dall'indice di benessere bioclimatico.

Sinteticamente possiamo affermare che la scelta di posizionare del costruito nel tessuto urbano ha importanti riflessi, oggettivi, sul benessere delle popolazioni: questo tema appare talvolta non percepito dai pubblici amministratori che focalizzano la maggior parte della loro attenzione nelle politiche contro l'inquinamento (emissioni di CO_2) e trascurano il fatto che anche questi interventi impattano molto sui loro amministrati. Il proliferare dei grandi parcheggi asfaltati dei centri commerciali è un esempio evidente di questa mancanza di sensibilità ambientale, o meglio, di una attitudine a seguire più facili slogan.

Così come per il campo di vento anche il campo di radiazione è il risultato dell'interazione della radiazione solare incidente con il costruito urbano. La struttura per definizione emblematica di questo rapporto è il canyon urbano: in questo luogo la radiazione entra e viene in parte assorbita e in parte riflessa dalle pareti un numero di volte che è funzione stessa dell'altezza

6. Sky view factor in un tessuto urbano medioevale, a Bologna.



6

degli edifici e della larghezza della strada sulla quale questi insistono. L'indice che rappresenta questo rapporto si definisce sky view factor (SVF) (img.6) e rappresenta quella che ci piace definire 'la fame di cielo' del tessuto urbano che si riflette in un maggior assorbimento della radiazione e quindi in un aumento del regime delle temperature.

L'orientamento rispetto all'eclittica è quella che definisce poi la quota di radiazione assorbita in ogni singolo istante di un anno. Infatti, strade aventi gli stessi parametri urbanistici, ma con orientamenti diversi, sono soggette a diverse quote di energia raggiante incidente e assorbita.

Questi effetti locali, a livello di quartiere, influenzano prevalentemente il regime termico e possono essere contrastati mediante l'uso del verde urbano che, se opportunamente posizionato può fungere da pozza fredda e convogliare opportunamente i flussi d'aria alla superficie migliorando anche il rimescolamento atmosferico superficiale. Difficile però parlare di verde urbano ben posizionato in città dall'impianto prettamente medioevale dove, o il verde è stato preservato o, in alternativa, ben poco si può fare. Altra cosa è la progettazione di aree residenziali nuove dove si deve passare da un progetto del verde estetico ad un progetto di verde funzionale, studiato per migliorare il rendimento termico cittadino ed anche la qualità dell'aria potendo utilizzare alcune proprietà peculiari della vegetazione per l'assorbimento degli inquinanti.

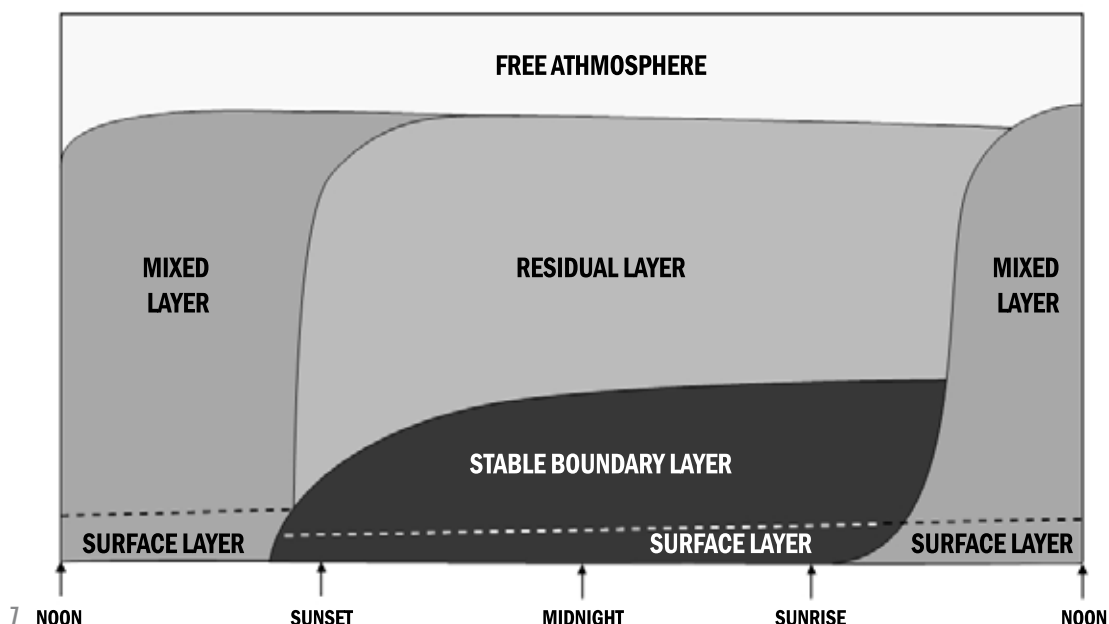
C. PROCESSI NELLO STRATO LIMITE URBANO

Come abbiamo visto, la città incomincia a configurarsi come un insieme di interazioni su diverse scale spaziali e temporali, fino a comportarsi come una specie di macro-organismo che pulsa e respira al ritmo del ciclo diurno della radiazione solare assorbita.

Da un punto di vista fisico, è possibile rappresentare questo 'respiro' attraverso lo studio della struttura dello strato limite planetario (PBL) (R.B. Stull 1988), ovvero quella quota sopra la superficie dove si fanno ancora sentire gli effetti delle interazioni superficiali. Nel caso delle città questo livello viene ad essere posto particolarmente in alto proprio a causa degli elevati flussi di calore che ivi si instaurano (tipicamente 1500 – 2500 metri). All'interno di questo strato avvengono i processi di rimescolamento che portano ad una omogeneizzazione dei parametri ambientali, compreso il contenuto di inquinanti presenti in atmosfera.

Come si può vedere dall'immagine 7, l'altezza è massima quando anche la radiazione ricevuta al suolo è massima, mentre si assottiglia durante la notte avendo poca disponibilità energetica per sostenere l'atmosfera. L'andamento è valido per ogni superficie, quello che cambia è solo l'altezza, per i motivi menzionati. Se però facessimo la fotografia a un dato istante del giorno di questo strato sopra la città e nella prima campagna circostante ci accorgeremmo di un comportamento molto interessante.

7. Andamento dello strato limite planetario durante il giorno.
(© www.elte.prompt.hu)



La differenza di quota raggiunta dallo strato sopra la città rispetto alla campagna circostante diviene rimarchevole e si vengono quindi a formare delle termiche, ovvero delle strutture verticali sostenute dalla disponibilità termica sottostante che si sviluppano nel centro urbano trasportando anche tutti gli inquinanti prodotti a più alta quota. Raggiunta la quota massima permessa, queste strutture invertono la loro direzione dirigendosi progressivamente verso il confine del sistema urbano. Quello che risulta complessivamente è la formazione di una circolazione secondaria che racchiude la città, producendo un effetto di aspirazione di aria dal sistema rurale circostante verso la città. Questo fenomeno ha fortissime implicazioni sul benessere cittadino e in particolare sulle concentrazioni di inquinanti. Infatti, si viene a formare un sistema dove gli inquinanti emessi in città ricircolano al suo interno con l'aggiunta di una parte di inquinanti esterni veicolati dall'effetto 'aspiratore' del centro urbano.

D. EFFETTI URBANI DI PROCESSI ESOGENI

Trai fenomeni a grande scala che possono incidere con grande impatto sulle strutture urbane vi sono le 'enhanced precipitation', ovvero le precipitazioni intensificate, che sarebbero originate dai cosiddetti cambiamenti climatici globali o dai grandi sistemi irrigativi e che produrrebbero una variazione imponente nel regime delle idrometeore attraverso un minor numero di eventi ma di sempre maggior intensità per singolo caso. L'impatto risulta di particolare pericolosità per gli imponenti flussi di acqua che si possono sviluppare alla superficie e in cui la drammatica alluvione di Genova del 4 novembre 2011 rappresenta un caso emblematico. In questo particolare caso è da sottolineare come lo studio di questi fenomeni e della mitigazione degli impatti non possa prescindere da un'accurata conoscenza anche dello stato ipogeo dei territori e delle modifiche che negli anni si sono prodotte ai sistemi drenanti, captatori, e agli alvei.

Un altro fenomeno che sembra in fase di intensificazione è quello della comparsa di tornado sulle città. Per il forte impatto economico, sociale ed anche psicologico di questi fenomeni uno studio più accurato appare necessario sia dal punto di vista fisico sia da quello delle interazioni con le strutture costruite.

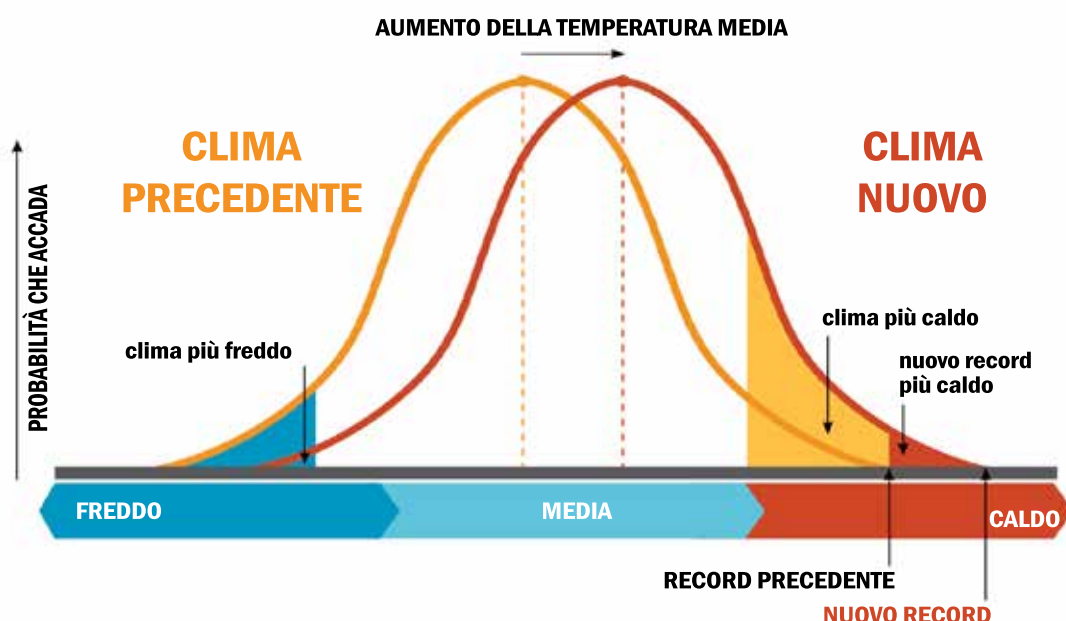
Analizziamo infine l'aspetto che ha avuto più diffusione, grazie alla popolarità prodotta dai *mass media*, che è quello relativo alle onde di calore.

Le onde di calore sono fenomeni ad ampia scala, talvolta regionale (ovvero continentale), come l'ormai famosa, o famigerata, onda di calore dell'estate 2003. Sono sistemi atmosferici di alta pressione che formano una specie di blocco su vasti areali permanendo anche per molti giorni. La durata e la differenza di temperatura raggiunta sono gli elementi che caratterizzano l'intensità di questi fenomeni. L'effetto più diretto causato è l'impatto sanitario sulle popolazioni: alla citata onda di calore del 2003 vengono ascritti alcune migliaia di decessi.

L'origine di questi sistemi barici che producono le onde viene ascritta a un effetto secondario del riscaldamento globale: questa spiegazione è ancora causa di dibattito scientifico, ma sarà arduo riuscire a chiarire questo aspetto in un futuro prossimo anche a causa della attuale imprevedibilità del fenomeno. La ricerca sta però cercando di capire almeno la tendenza del fenomeno (img.8) per capire se bisognerà attendersi sempre più alti impatti sulle popolazioni, anche per la valutazione della stima dei costi sanitari e sociali.

8. Andamento decade delle onde di calore e grafico che sintetizza l'aumento delle temperature (©www.climateprediction.net)

DECADE	N. DAYS	%
1951-1960	227	21
1961-1970	134	12
1971-1980	91	8
1981-1990	234	21
1991-2000	413	38
Totale	1.099	100



L'onda di calore è un fenomeno esogeno al sistema urbano, ma appena questa occorrenza avviene su un territorio antropizzato è evidente che gli eventuali effetti dell'isola di calore esistente a causa dell'edificato si vanno a sommare con quelli dell'onda di calore, generando così valori di temperatura elevatissimi.

Abbiamo già visto che la città in quanto tale tende a frenare i flussi anemologici facendo così aumentare le temperature, l'onda di calore associata ad una situazione barica di alta pressione accentua quindi ancora di più questo effetto. I materiali del costruito incamerano così elevate quantità di energia rilasciandole durante la notte e facendo sì che lo stress fisiologico si protragga senza tregua per giorni e giorni. Quasi sempre durante questi periodi l'inquinamento atmosferico, quello fotochimico in particolare, risulta particolarmente attivo in quanto coesistono tutte le condizioni favorevoli alla sua massimizzazione.

È evidente che problematiche globali quale quella del cambiamento climatico necessitano di politiche di mitigazione di grande respiro internazionale e ben difficilmente si potrà agire a livello locale sulla riduzione delle occorrenze delle onde di calore. Una parte però della mitigazione e adattamento a questi impatti può essere esercitata pianificando con politiche opportune la fisiologia e il metabolismo della città, così da ridurre almeno una quota, che può essere considerevole, degli effetti avversi sulle popolazioni.

E. IL BENESSERE BIOCLIMATICO (COMFORT)

Si definisce con **indice di benessere bioclimatico** una procedura statistica in grado di correlare i parametri micro-meteorologici con una sensazione percepita di benessere o disagio fisiologico. Questo parametro fonda le proprie radici sul bilancio energetico di un essere umano posto al centro del sistema che vogliamo analizzare, bilancio contemperante anche la tipologia degli indumenti indossati e l'attività fisica in essere al momento della stima.

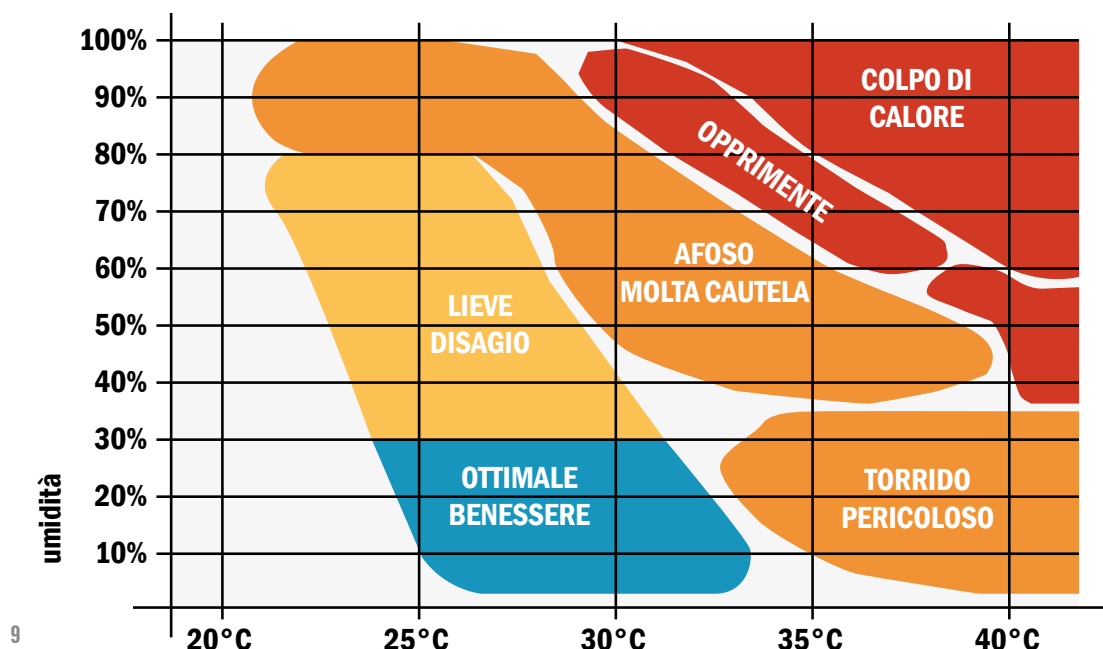
Esiste una grande varietà di indici bioclimatici basata su formulazioni empiriche che si applicano a diverse situazioni: per esempio esistono indici che meglio si applicano in situazioni calde e altri a fredde, o con più o meno accentuate velocità del vento. La scelta è spesso di tipo squisitamente operativo e legata anche alla disponibilità di misure di specifici parametri atmosferici.

Uno degli indici più utilizzati è quello definito **Indice Termo Igrometrico (THI)** e definito come:

$$THI = Ta - (0.55 - 0.0055 \cdot Ur) \cdot (Ta - 14.5)$$

dove Ur è l'umidità relativa (espressa in percento) e Ta la temperatura dell'aria ($^{\circ}C$). Dalla struttura della formula ci si rende immediatamente conto della sua empiricità.

Il risultato dell'applicazione del funzionale dà origine a un diagramma nel quale diverse aree, generate dalla combinazione dei parametri elencati, rappresentano le diverse classi di comfort fisiologico (img.9).



Molto sommariamente un indice di THI compreso tra 15 e 20 rappresenta una situazione di comfort, mentre maggiore di 20 caldo e minore di 15 fresco passando ovviamente per diverse altre classificazioni. Questo specifico indice non tiene conto della velocità del vento e quindi eventuali variazioni dovranno essere computate a parte a causa del 'chilling factor' ovvero della sensibilità del corpo umano a sentire un sovra raffreddamento in presenza di vento.

Il comfort fisiologico rappresenta quindi uno stato di equilibrio tra l'individuo e l'ambiente circostante, ovvero un bilancio dell'energia entrante con quella in uscita. Molte sono le parametrizzazioni sviluppate per definire questo equilibrio, tutte di sorgente empirica, che meglio si adattano alle diverse situazioni: esistono, infatti, formule che si applicano in condizioni estreme invernali, e altre meglio tarate per i regimi caldi. Una parametrizzazione in particolare ha trovato vasta applicazione nella modellistica numerica di questi fenomeni che viene chiamata PMV, e corrisponde a 'predicted mean vote', voto medio previsto, che dà come risultato un valore numerico su una scala con range -3 (indice di sensazione di troppo freddo) a +3 (indice di sensazione di troppo caldo), dove lo zero rappresenta lo stato di benessere termico. Tale indice ha anche la notevole proprietà di descrivere molto rigorosamente le condizioni di comfort nelle situazioni outdoor.

La possibilità di descrivere il benessere (comfort) e quella di modellarne il comportamento in funzione di diverse opzioni progettuali permette quindi di creare uno strumento operativo per le amministrazioni locali, di notevole potenza rispetto al passato, ovvero la possibilità di scegliere le condizioni ottimali del disegno degli spazi pubblici per massimizzare il comfort delle popolazioni residenti nella fruizione delle città.



I Giardini del Turia - Jardí del Túria di Valencia, un parco di 110 ettari che rappresenta il più grande giardino urbano di Spagna. Realizzato nel 1986 nell'antico letto del fiume Túria, che venne prosciugato come misura preventiva al fine di evitare le periodiche alluvioni

che affliggevano la città. I Giardini oggi ospitano numerosi parchi, spazi tematici con giochi per bambini, campi sportivi, il giardino botanico e la Ciutat de les Arts i les Ciències di Calatrava.

(© VLC Valencia)

CONCLUSIONI

Abbiamo esplorato le diverse interazioni tra clima urbano e costruito e abbiamo potuto accorgerci quanto l'organizzazione urbanistica della città in termini di distribuzione degli spazi e dei materiali influenzi la formazione di un clima locale a cui sarà poi sottoposta la popolazione. Abbiamo compreso che la forzante che domina questi processi è quella della cattura o riflessione della radiazione solare incidente unita alla circolazione anemologica locale che rappresenta un flusso mitigante (come quello dei refrigeratori).

Abbiamo, inoltre, esplorato in parte la dimensione delle simulazioni modellistiche del benessere che si presentano quali potenti strumenti diagnostici e prognostici della progettazione degli spazi urbani.

Il passo richiesto quindi verso un futuro più sostenibile, e con lo sguardo rivolto all'inclusione e alla difesa delle fasce sociali deboli quali anziani, malati e infanzia, non può prescindere dall'uso di questi strumenti culturali e fisico-matematici quando si devono mettere in essere dei cambiamenti sul territorio e del territorio: si è quindi oggi in presenza di una responsabilità nuova per le pubbliche amministrazioni che non possono non sapere o non stimare gli effetti delle loro scelte.

caso studio: il Parco Ducale di Parma

Si riporta a titolo di esempio una valutazione di comfort condotta dal CNR-IBIMET sul Parco Ducale di Parma che subì, durante la guerra di successione del Ducato, il taglio pressoché totale delle alberature, per permettere alle truppe stanziate di superare l'inverno. Il Parco fu in seguito completamente ripiantato, ma il gioco di modellazione ha esplorato l'ipotesi di una Parma odierna dove la scelta storica avrebbe potuto essere diversa se gli allora reggenti avessero deciso di costruire secondo canoni urbanistici della vecchia città.

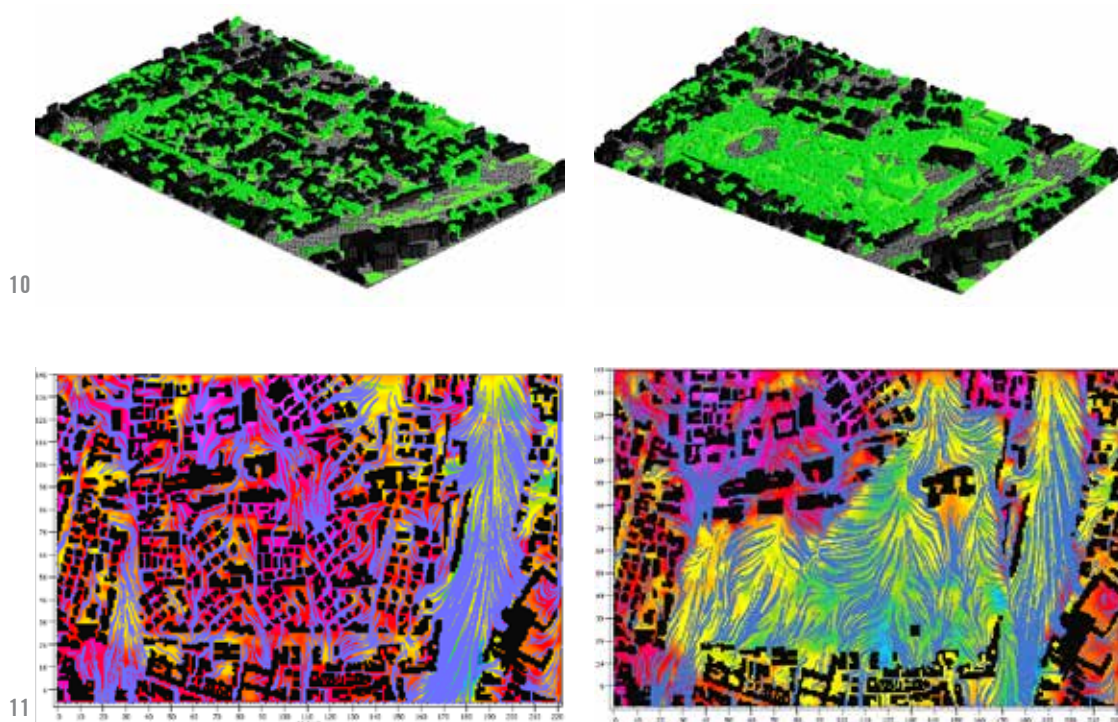
Nell'immagine 10 sono riprodotti i due diversi progetti: il primo con un Parco Ducale non ripristinato e con solo alcune alberature ornamentali tra le case, il secondo con il Parco Ducale come si presenta ancora oggi.

Le successive analisi del comfort e degli altri parametri fisici condotte su queste due ipotesi di architettura urbana hanno indiscutibilmente dimostrato come la presenza del Parco ducale rappresenti un formidabile strumento di mitigazione urbana.

Nell'immagine 11 sono rappresentati i flussi di drenaggio anemologico nelle due condizioni. Sappiamo bene ormai come il disaccoppiamento del vento medio dalla struttura urbana causi la formazione di aree con elevati flussi di calore (dalla definizione di città vasta) con conseguente peggioramento delle condizioni di comfort.

In queste simulazioni è evidente come la permeabilità di una città meno compatta, rappresentata questa permeabilità dalla presenza del parco, faccia sì che i flussi drenanti penetrino molto più in profondità con una conseguente migliore azione mitigante.

10. Le simulazioni ENVI-MET di Parma senza parco (a sinistra) e con parco (a destra)
11. Flussi di drenaggio senza parco (a sinistra) e con parco (a destra)
(© elaborazioni CNR IBIMET)



la resilienza dei sistemi urbani

I CAMBIAMENTI CLIMATICI E GLI IMPATTI SULLA CITTÀ

Le città sono al tempo stesso i maggior emettitori di gas serra (dati della Banca Mondiale segnalano che sono responsabili di circa il 40% delle emissioni globali di gas serra), e tra i sistemi più vulnerabili ai rischi legati al cambiamento climatico.

Le città sono sotto pressione in molte parti del mondo e sono spesso tese al limite della loro resilienza (ovvero la capacità di sopravvivere al cambiamento). Il cambiamento climatico e la sua variabilità aumentano la frequenza e favoriscono una lunga durata delle ondate di calore, inducono siccità e inondazioni sempre più frequenti e intense e moltiplicano le inondazioni costiere e fluviali. Tra gli altri impatti, le **conseguenze negative sulla salute umana** sono senza dubbio le più importanti minacce climatiche nelle aree urbane, per le conseguenze sociali sul gran numero di persone che popolano insediamenti urbani.

Gli **effetti diretti** sui decessi possono derivare da eventi estremi come cicloni e mareggiate e le gelate possono danneggiare alberi e strutture. Altri **effetti indiretti** dovuti agli stessi eventi estremi sono case distrutte, un accesso limitato all'acqua pulita e al cibo e l'esposizione alla contaminazione biologica e chimica che può aggiungere e provocare l'aumento di focolai di malattie.

La necessità di una transizione urbana verso una gestione più sostenibile è stato ampiamente riconosciuta dall'UCCRN - Urban Climate Change Research Network (<http://uccrn.org>) che evidenzia l'urgenza per le città di capire la loro vulnerabilità al cambiamento climatico e la necessità di mettere in atto risposte adattative. L'UCCRN riconosce anche l'importanza di molte buone pratiche già sviluppate e adottate da molte città di tutto il mondo, che possono essere adattate alle specifiche esigenze locali e poi adottate a larga scala per aprire la strada un futuro più sostenibile.

12-13. Progetto di ecoquartiere a Copenhagen [DK] dove la trasformazione degli spazi pubblici è stata progettata per gestire in maniera efficiente ed efficace i cambiamenti climatici e sfruttare parchi e giardini, piste ciclabile e piazze per fare fronte alle inondazioni e/o precipitazioni intense e alle ondate di calore.
(© Tredje Natur)



Molteplici fattori di stress agiscono nel rendere l'ambiente urbano complesso fortemente vulnerabile. Il sistema idrico urbano all'interno di una città è molto complesso e il ciclo di utilizzo di acqua può essere messo fortemente sotto pressione dalle condizioni climatiche. L'aumento di intensità di precipitazione su superfici impermeabili può infatti superare la capacità dei sistemi di drenaggio esistenti. La qualità e la quantità dell'acqua in molte città sono state compromesse da un aumento della siccità e aumento delle inondazioni. Questi due fenomeni combinati richiedono interventi di innovazione sui sistemi di gestione dell'acqua a diverse scale di intervento attraverso l'adozione di accordi intercomunali ed interregionali per la gestione delle infrastrutture. La gestione della città nelle zone costiere ha l'obbligo di prendere in considerazione potenziali eventi di innalzamento del livello del mare, mareggiate più intense, l'intrusione di acqua salata e di cedimento del terreno, i quali possono variare notevolmente spazialmente nel carattere ed intensità.

L'ampiezza e le conseguenze ambientali ed economiche di eventi legati all'acqua sono impressionanti. A Buenos Aires, ad esempio, i danni da inondazione è calcolato crescere fino a US \$ 80 milioni l'anno entro il 2030 (Rosenzweig et al., 2011) senza tener conto della perdita di produttività delle aree colpite dalle inondazioni. L'uragano Katrina, che è avvenuto a New Orleans nel 2005, ha causato una perdita di 1.833 vite umane e danni economici valutati pari a 125 miliardi di \$ USA.



Alcuni potenziali strategie per l'acqua sono (Water Scarcity Group, 2006):

- riduzione di acqua non fatturata attraverso l'individuazione, la riparazione e la riduzione dei prelievi non autorizzati;
- revisione e modifica di impianti per lo stoccaggio delle acque sotterranee e di superficie per renderli meno vulnerabili a periodi di inondazioni o siccità;
- investimento in nuove tecnologie come raccolta dell'acqua piovana e il riutilizzo delle acque;
- istruzione pubblica e miglioramento della gestione (sociale, ambientale ed economica) sul consumo di acqua e la conservazione;
- utilizzo di elettrodomestici efficienti e risparmio nei processi industriali e agricoli.

Insieme con gli impatti generati dalle forti alterazioni del ciclo dell'acqua, che portano a fenomeni di precipitazioni violente, il sistema energetico, dei trasporti e la salute pubblica sono i principali settori nei quali gli impatti dei cambiamenti climatici colpiscono maggiormente le città.

L'energia è ampiamente utilizzata nelle città per la vita quotidiana e i trasporti. La domanda di energia aumenta o diminuisce in funzione dell'influenza del clima (meno riscaldamento invernale e più aria condizionata in estate). L'aumento del numero di ondate di calore estivo (Mishra et al. , 2015) si traduce in domanda di energia superiore per l'aria condizionata: nelle città cinesi, il numero di famiglie con i condizionatori d'aria è aumentato drammaticamente negli ultimi 15 anni (Dickson et al, 2009). Per ogni città, una specifica analisi per determinare gli impatti complessivi del cambiamento climatico sulla domanda di energia dovrebbe essere fatta per consentire il risparmio e la mitigazione: un minor consumo di energia porterebbe il vantaggio di diminuire l'elevato costo dell'energia stessa, riducendo le associate emissioni di gas serra. Tale risparmio energetico, permetterebbe la riduzione delle spese complessive delle famiglie e favorirebbe la lotta contro la povertà (Fabbri, 2015) data dalla somma di tre fattori: reddito basso delle famiglie, prezzi dell'energia e prestazioni energetiche dell'edificio.

I passi per ridurre la domanda di energia e le emissioni di carbonio comprendono lo sviluppo di programmi *on-demand* e l'uso di energie alternative, come quelle rinnovabili. Tali azioni proattive possono in effetti in modo efficiente produrre risparmio con feedback positivi indiretti, aumentando la resilienza alle inondazioni o alle tempeste e dei rischi legati alla temperatura.

La vita in città è fortemente energivora: secondo la quarta relazione del 2007 le emissioni urbane dovute al settore dei trasporti sono date per il 23% dai gas serra. Le città negli ultimi anni hanno adottato e migliorato diverse strategie per ridurre la quantità di emissioni promuovendo la mobilità urbana sostenibile attraverso la realizzazione di percorsi ciclabili e pedonali e aumentando la quantità di sistemi di trasporto pubblico intorno e nella città. Alcune città utilizzano strumenti normativi e di *pricing* per ridurre il numero di veicoli privati sulle strade e la tempistica del loro uso. Altre città promuovono l'utilizzo di combustibili più efficienti e a basso impatto.

Le strategie di mitigazione e di adattamento sono molteplici e comprendono:

- l'uso del territorio e la pianificazione dei trasporti;
- l'aumento dell'utilizzazione dei canali sotterranei e la creazione di bacini di raccolta per le precipitazioni;
- la sostituzione delle pavimentazioni stradali con materiali permeabili e la realizzazione di superfici e tetti verdi;
- misure speciali operative quali la chiusura del traffico durante gli eventi estremi;
- informazioni multimediali sulle condizioni delle strade.

IMPATTI SULLA SALUTE UMANA

Inquinamento atmosferico urbano e ondate di calore urbane sono evidenti e ricorrenti argomenti di discussione nella scienza, nella politica e a livello di sanità pubblica.

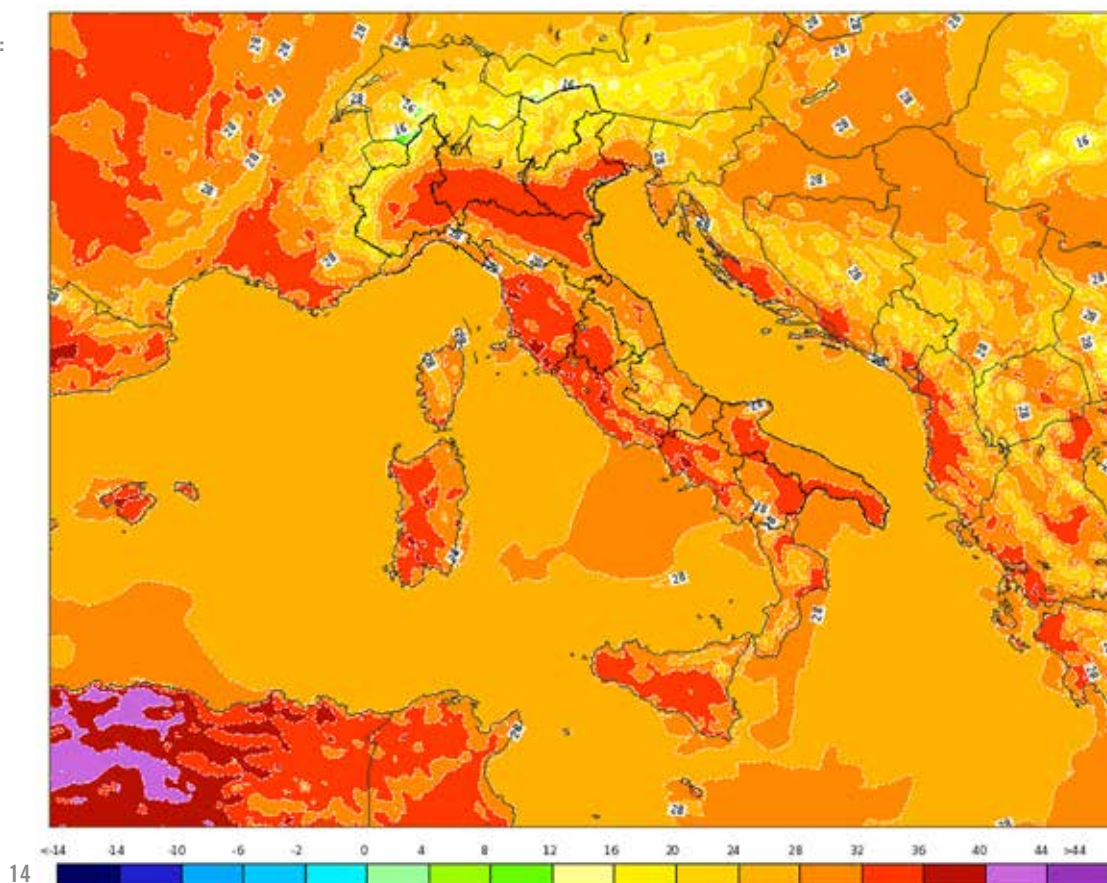
L'Organizzazione Mondiale della Sanità fornisce il monitoraggio della concentrazione degli inquinanti urbani e dei loro effetti sulla salute umana. Le nuove stime pubblicate riportano che nel 2012 circa 7 milioni di persone sono morte - uno su otto dei decessi globali totali - a seguito di esposizione agli inquinanti atmosferici. Questa ricerca conferma che l'inquinamento atmosferico è oggi il più grande rischio per la salute.

Il 3.0 GCM NCAR CCSM con lo scenario A1B emissioni di gas serra mostra che in diverse città le temperature medie dovrebbero aumentare da 1 a 4 °C. L'ondata di caldo europea del 2003, dove Italia, Francia, Spagna, Germania, Portogallo e Svizzera hanno registrato un totale di 72.210 decessi legati al calore, è un esempio particolarmente indelebile del costo potenziale di una mancanza di preparazione al cambiamento climatico. Ondate di calore più elevate e più lunghe influenzano direttamente le condizioni di benessere, in particolare per i gruppi vulnerabili come bambini, anziani e malati (Cardelino et al, 1990;. Sillman et al, 1995;. Changnon et al, 1996;. McMichael 2000).

In città, il microclima differisce significativamente dalle zone circostanti e può portare al verificarsi di eventi esacerbati di maggiore disagio e a impatti diretti sulla salute umana come: difficoltà respiratorie, ictus fatali e non fatali e l'alterazione del ciclo del sonno. Kalkstein (2011) ha stimato che in quaranta grandi città degli Stati Uniti, nei decenni 1975-2004, gli episodi di caldo eccessivo (EHES) hanno causato un'ulteriore perdita di 1.300 vite all'anno.

Impatti sociali per elevati valori di EHE includono non solo la mortalità, ma anche la morbidità, causando eccessi nelle ammissioni ospedaliere. Durante l'ondata di caldo di Chicago nel 1995, che durò più di una settimana, più di 1072 presenze in eccesso sono state registrate con un incremento di circa l'11% rispetto alle condizioni standard. La maggior parte di questi eccessi (56%) necessitano di trattamenti per la disidratazione, colpi di calore e colpi di calore. L'analisi della co-morbidità ha rivelato anche ricoveri in eccesso per le malattie cardiovascolari, diabete,

14. Ondata di calore in Italia:
le temperature registrate il
18 Agosto 2012
(© Servizio meteorologico
dell'Aeronautica militare)



malattie renali e disturbi del sistema nervoso (Semenza et al., 1999). Legate al colpo di calore si hanno diagnosi di disturbi idro-elettrolitici e sbilanciamenti acido-base, insieme a crisi renale acuta a seguito di disidratazione. Un aumento del 20% per polmoniti ed enfisema è stato trovato a causa del clima caldo e umido. Le persone affette da diabete sono altamente vulnerabili ai rischi durante le onde di calore (Semenza et al., 1999).

Durante l'ondata di calore dell'estate del 2003, un EHE di straordinaria proporzione storico ha colpito l'Europa occidentale. È stato infatti stimato che eventi di scala simile non si erano mai verificati negli ultimi 150 anni. Le temperature sono rimaste ben al di sopra della media climatologica per circa tre mesi (1 ° giugno al 31 agosto) su una regione geografica che andava dalla Penisola Iberica fino alla Germania e all'Italia, e principalmente centrata sulla Francia. In quest'ultimo paese, le temperature hanno superato 38 °C per una settimana intera. Questa era 6 °C superiore alla temperatura massima media, mentre le temperature minime giornaliere erano anche estremamente superiori alla media (Kalkstein et al., 2008). La mortalità da calore stimata ha superato i 15.000 casi solo in Francia (Koppe et al., 2004; Poumadère et al., 2005).

Uno studio epidemiologico dell'EHE del 2003 (Conti et al., 2005) ha fortemente sottolineato il ruolo della UHI durante il verificarsi di ondate di calore e ha dimostrato che **l'aumento della mortalità per lo più si è verificato negli anziani residenti nelle città**. Esposizione al calore e durata dell'ondata di calore hanno mostrato avere una particolare forte impatto sulla mortalità delle donne e degli individui precedentemente ospedalizzati per disturbi mentali e malattie cardiovascolari.

È chiaro come sia urgente lo sviluppo di strategie di gestione urbana in grado di ridurre tali forti impatti sulla salute dei cittadini.

Le strategie di adattamento principali devono partire dalle aziende sanitarie locali, che possono intraprendere azioni a vari livelli e fornire informazioni sugli effetti del cambiamento climatico e le sue minacce sulla salute della popolazione urbana. Sistemi di allarme rapido possono essere strumenti molto utili per fornire avvertimenti strategici agli abitanti informandoli sugli eventi meteorologici estremi in arrivo e renderli in grado di reagire. A lungo termine, le forme tattiche di adattamento urbano ai cambiamenti climatici includono la piantagione di alberi, l'adozione di tetti verdi e riflettenti e marciapiedi permeabili che possono ridurre l'intensità e la dimensione dell'isola di calore urbana, e la creazione di piani di emergenza in caso di inondazioni.

CONCLUSIONI

Come riportato qui, le caratteristiche specifiche del clima urbano richiedono un approccio di studio specializzato e una **visione integrata** per scoprire e esaminare criticamente le soluzioni per le questioni relative alla qualità della vita degli abitanti della città.

La ricerca scientifica deve quindi essere concentrata nella comprensione dei processi che determinano il clima urbano nonché gli effetti che ne derivano per i residenti della città. Politiche urbane per le grandi città, al fine di proteggere le popolazioni vulnerabili, devono essere in grado di proiettare gli effetti dei cambiamenti non solo in vista della modifica del clima globale, ma anche in vista delle modifiche prodotte dai *decision makers* a scala locale. Questo significa sviluppare strumenti in grado di modellare scenari futuri che utilizzino una ampia conoscenza. Tale conoscenza, per essere efficacemente traducibile in strumenti operativi, non può essere basata solo sulla progettazione urbanistica o architettonica, ma deve essere sostenuta da un forte approccio scientifico. Lo stato dell'arte consente ora di applicare ragionevolmente e con successo rappresentazioni realistiche delle principali caratteristiche dell'ambiente urbano e il suo metabolismo. Il principale ostacolo all'utilizzo di tali metodologie non è collegato allo strumento stesso, ma al fatto che l'intelaiatura di un ampio piano generale non sia ancora stata sviluppata, così che i problemi derivanti in diverse città sono avvicinati singolarmente dai *policy-makers* senza una strategia unitaria. Inoltre, il dialogo tra conoscenza e decisori politici, che dovrebbe essere strategico, è ancora insufficiente.

Alcune amministrazioni pubbliche hanno molto recentemente considerato l'utilizzo di indici bioclimatici come indicatori di benessere: esiste, inoltre, una apertura di un dibattito circa l'opportunità di codificare lo sviluppo economico, al contrario di prodotto interno lordo convenzionale (PIL,) nel calcolo della felicità interna lorda (FIL) (Helliwell et al., 2013).

Pratiche di *governance*, utilizzo del territorio, pianificazione e gestione sono fortemente interconnessi con le minacce del cambiamento climatico. Gli amministratori locali, e l'ambiente di *governance* in generale, possono influenzare ciò che sarà realmente fatto. I progressi per affrontare adeguatamente le strategie di mitigazione del cambiamento climatico richiedono una gestione efficiente, politiche basate sulla scienza, finanziamento, coordinamento giurisdizionale e la partecipazione dei cittadini. La partecipazione dei cittadini, in particolare, dovrebbe rappresentare non solo un obiettivo, ma anche una bussola per i comuni per costruire politiche in cui il benessere della popolazione residente rappresenta saldamente il cuore di un sistema urbano realmente sostenibile.



15. GWL Terrein ad Amsterdam, un eco-quartiere realizzato con la conversione di un'area da tempo dismessa e abbandonata, originariamente utilizzata dalla Compagnia Municipale dell'Acqua. Il programma ha visto la realizzazione di 600 alloggi e servizi distribuiti in differenti tipi

di edifici su un terreno di 6 ettari: due stecche di 9-10 piani disegnano i bordi dell'isolato, all'interno del lotto, il recupero degli edifici storici e 13 nuovi volumi si alternano a spazi verdi e percorsi ciclo - pedonali. Le unità abitative sono circondate da giardini e orti, disponibili a chi ne fa

richiesta. Gli alberi da frutto sono curati da un gruppo di volontari e la frutta viene utilizzata per preparare dolci in occasione della festa del quartiere. Soluzioni quindi che favoriscono il contatto con la terra e l'interazione sociale tra i residenti. Il progetto propone un innovativo uso delle reti

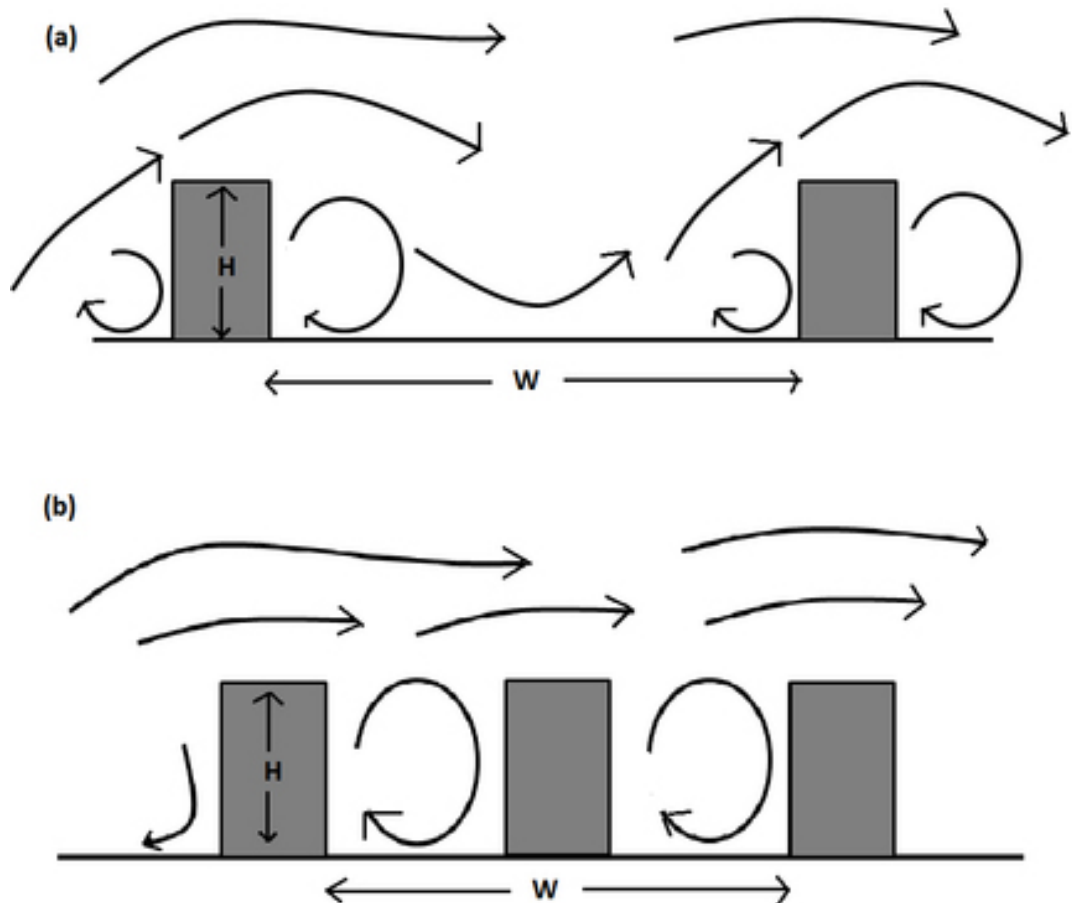
idriche, energetiche, dei rifiuti: l'attenzione agli aspetti ecologici dell'intervento si è concretizzata nella cura per l'orientamento solare delle abitazioni, nella raccolta e riciclaggio dell'acqua piovana, nelle soluzioni impiantistiche combinate per il calore e l'elettricità,

nel sistema sotterraneo per la raccolta differenziata dei rifiuti, nella scelta di materiali da costruzione durabili e isolanti (© KCAP con DKV Architecten, Neutelings Riedijk Architects, Meyer en Van Schooten e Zeinstra van der Pol e West 8)

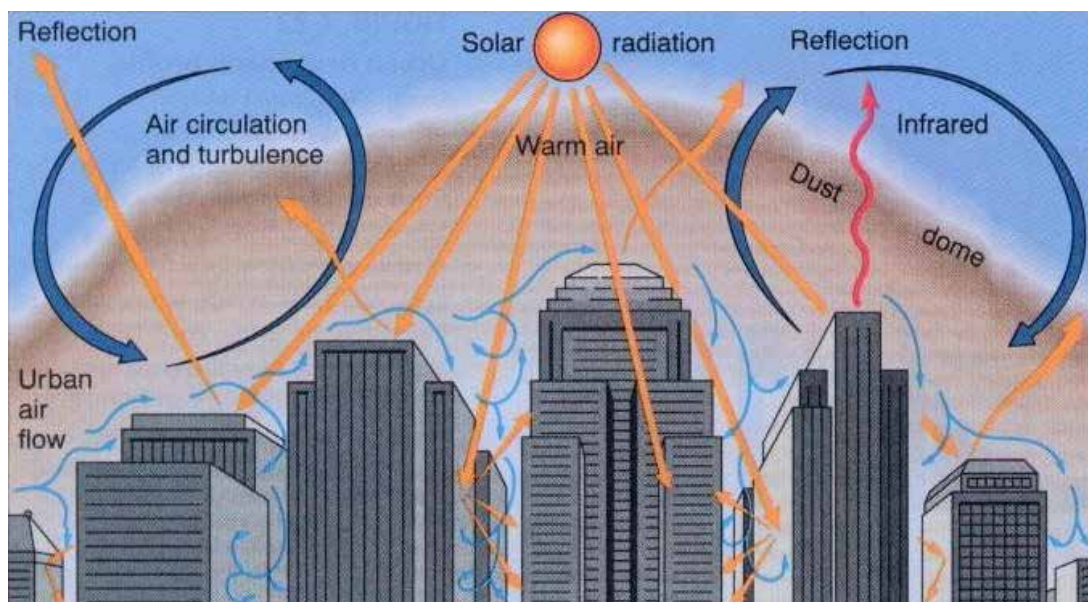
clima e inquinamento urbano

L'ambiente urbano è il luogo dove gli effetti del microclima e il comportamento degli inquinanti sono perfettamente accoppiati. Gli inquinanti emessi dalle attività antropiche sono soggetti a fenomeni di trasporto e deposizione e quindi fortemente influenzati dai flussi anemologici dell'ambiente circostante. Infatti, particolarmente per i gas e le particelle di piccole dimensioni, possiamo assumere che questi siano trasportati dalla circolazione locale e risentano della turbolenza propria generata dalla interazione dell'aria con la superficie. Questa interazione può essere di origine meccanica o termica, ovvero causata dal fenomeno della rugosità superficiale, che frena il flusso della massa d'aria per il contatto con la superficie (img.16), o dallo scambio di entalpia, scambio di calore, sempre con le superfici con cui il flusso entra in contatto. All'interno del sistema urbano quindi esistono due fenomeni concorrenti dovuti all'organizzazione spaziale delle strutture del costruito e alle proprietà termiche di queste strutture.

16. Interazione meccanica del flusso anemologico con le superfici del sistema urbano



17. Formazione della cella di circolazione secondaria dovuta al regime termico delle superfici



Dallo studio dei bilanci energetici superficiali sappiamo che il flusso di calore sensibile, quello che dà luogo al comfort/discomfort termico delle persone, è direttamente regolato dalla quota di energia radiante, proveniente dal sole che, riscaldando la superficie dei manufatti, produce lo scambio energetico con l'aria circostante diminuendone la densità e producendo quindi la formazione di termiche per galleggiamento - l'aria meno densa tende a galleggiare sull'aria più densa - che causano la formazione di colonne di risalita: questo fenomeno è molto evidente all'interno delle abitazioni sopra ai termosifoni, fenomeno che causa l'imbrunimento delle pareti per trasporto di materiale particolato. Le pareti del costruito all'interno del sistema urbano producono un effetto analogo, maggiormente pronunciato in prossimità della massima densità degli edifici (img.17).

Quella che si viene quindi a formare è un cella di circolazione secondaria all'interno della quale i gas e le particelle inquinanti vengono trasportate e rimescolate durante il periodo diurno, raggiungendo il massimo rimescolamento verso le ore centrali della giornata.

Il fenomeno microclimatico è quindi dominante rispetto ad altri fenomeni di trasporto. Infatti, al centro della città il vento orizzontale causato dall'avvezione di masse d'aria esterne può raggiungere valore nullo, ma lo scambio termico dovuto al riscaldamento degli edifici causato dalla radiazione solare innesca i moti verticali in un sistema auto rigenerante fino a quando la disponibilità di radiazione solare cessa con l'arrivo della sera. La cella conclusa della circolazione secondaria produce quindi un continuo ricircolo degli inquinanti che vengono immessi nel sistema dal trasporto autoveicolare e dalle attività energetiche della città.

In queste situazioni è difficile che le politiche di contenimento dell'inquinamento dovuto dal blocco del traffico nelle zone centrali della città possano produrre risultati efficaci perché l'eccesso di traffico prodotto nella prima periferia, se il blocco non è totale, fornisce al sistema un ingresso continuo di inquinanti che vengono riciclati per questo semplice meccanismo fisico.

La possibile soluzione, anche se parziale, è la presenza del verde urbano per un duplice motivo:

- la mitigazione del regime termico della città dovuta alla presenza delle piante che raffreddano la superficie riducendo così l'intensità di questa circolazione secondaria;
- la capacità delle piante, per via dell'estesa superficie fogliare, di catturare gli inquinanti attraverso la funzione stomatica, per i gas, e attraverso la deposizione superficiale, per le particelle.

18. Filare urbano alberato
(© Place Bellecour a Lione
in Francia)



bibliografia essenziale e letture consigliate

Bugliarello, G. (2003).

LARGE URBAN CONCENTRATION: A NEW PHENOMENON

Earth Science in the City: A Reader, 7-19

Cardelino, C.A., and Chameides, W. L. (1990)

"NATURAL HYDROCARBONS, URBANIZATION, AND URBAN OZONE"

J. Geoph. Res. 95(D9): 13971–13979

Carmin, J., Nadkarni, N., and Rhie, C. (2012)

PROGRESS AND CHALLENGES IN URBAN CLIMATE ADAPTATION PLANNING: RESULT OF A GLOBAL SURVEY

Cambridge, MA: MIT, pp.30

Carter, J.G., Cavan, G., Connelly, A., Guy, S., Handley, J., and Kazmierczak, A. (2015)

CLIMATE CHANGE AND THE CITY: BUILDING CAPACITY FOR URBAN ADAPTATION

Progress in Planning, 95, 1-66

Changnon S.A., Kunkel, K.E. and Reinke, B.C. (1996)

"IMPACTS AND RESPONSES TO THE 1995 HEAT WAVE: A CALL TO ACTION"

Bulletin of the American Meteorological Society 77: 1497–1506

Conti S., Meli P., Minelli G., Solimini R., Toccaceli V., Vichi M., Beltrano C., Perini L. (2005)

"EPIDEMIOLOGIC STUDY OF MORTALITY DURING THE SUMMER 2003 HEAT WAVE IN ITALY"

Environ. Res. 98:390-399

Dickson, E., Baker, J. L., Hoornweg, D., and Tiwari A. (2009)

"URBAN RISK ASSESSMENTS UNDERSTANDING DISASTER AND CLIMATE RISK IN CITIES. URBAN DEVELOPMENT SERIES WORLD BANK"

pp.256

Fabbri, K. (2015)

BUILDING AND FUEL POVERTY, AN INDEX TO MEASURE FUEL POVERTY:

AN ITALIAN CASE STUDY

Energy, 89, 244-258

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewsky, N.E., Redman, C.L., Wu, J., Bai, X., and Briggs, J.M. (2008)

GLOBAL CHANGE AND THE ECOLOGY OF CITIES

Science. 319, 756-760

Heinl M., Tappeiner U., Hammerle A., Leitinger G. (2015)

"DETERMINANTS OF URBAN-RURAL LAND SURFACE TEMPERATURE DIFFERENCES - A LANDSCAPE SCALE PERSPECTIVE"

Landscape and Urban Planning, 134:33-42

Helliwell, J.F., Layard R., and Sachs J. (2013)

WORLD HAPPINESS REPORT 2013. NEW YORK: UN SUSTAINABLE DEVELOPMENT SOLUTIONS NETWORK EDITOR

pp. 154

http://faculty.arts.ubc.ca/jhelliwell/papers/WorldHappinessReport2013_online.pdf

Hung, T.; Uchihama, D.; Ochi, S. & Yasuoka, Y. (2006)

"ASSESSMENT WITH SATELLITE DATA OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECTS IN ASIAN MEGA CITIES"

Int. J. Appl. Earth Observation and Geoinformation, 8:34—48

Imhoff, M.L., Zhang, P., Wolfe, R.E. and Bounoua, L., (2010)

"REMOTE SENSING OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT ACROSS BIOMES IN THE CONTINENTAL USA"

Remote Sensing of Environment 114: 504-513

International Association of Urban Climate (www.urban-climate.org)

IPCC Fourth Assessment Report

CLIMATE CHANGE 2007 (AR4)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

(<https://www.ipcc.ch/report/ar4/>)

IPCC Fifth Assessment Report

"CLIMATE CHANGE 2013 (AR5)"

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE

(<https://www.ipcc.ch/report/ar5/>)

Kaiser R., Le Tertre A., Schwartz J., Gorway CA., Daley WR., Rubin CH. (2007)

"THE EFFECT OF THE 1995 HEAT WAVE IN CHICAGO ON ALL-CAUSE AND CAUSE-SPECIFIC MORTALITY"

Am. J. Public Health, 97, S158-S162

Kalkstein LS., Greene JS., Mills DM., Perrin AD., Samenow JP., Cohen J-C. (2008)

"ANALOG EUROPEAN HEAT WAVES FOR U.S. CITIES TO ANALYZE IMPACTS ON HEAT-RELATED MORTALITY"

BAMS January:75-85

Kalkstein LS., Greene S, Mills MD., Samenow J. (2011)

"AN EVALUATION OF THE PROGRESS IN REDUCING HEAT-RELATED HUMAN MORTALITY IN MAJOR U.S. CITIES"

Nat. Hazards, 56:113-129

Koppe C., Kovats S., Jendritzky G, Menne B. (2004)

HEAT-WAVES: RISKS AND RESPONSES. WORLD HEALTH ORGANISATION

<http://www.euro.who.int/document/E82629.pdf>

Landsberg H. E.
“WORLD SURVEY OF CLIMATOLOGY”
 Amsterdam Elsevier publ. co., 1986

Li, K., and Yu, Z., (2008)
“COMPARATIVE AND COMBINATIVE STUDY OF URBAN HEAT ISLAND IN WUHAN CITY WITH REMOTE SENSING AND CFD SIMULATION”
Sensors, 8(10): 6692–6703

McMichael, A.J. (2000)
“THE URBAN ENVIRONMENT AND HEALTH IN A WORLD OF INCREASING GLOBALIZATION: ISSUES FOR DEVELOPING COUNTRIES”
Bulletin of the World Health Organization 78: 1117–1126

Mirzaei, P. A., and Haghighat, F. (2010)
“APPROACHES TO STUDY URBAN HEAT ISLAND - ABILITIES AND LIMITATIONS”
Build. Environ. 45, 2192–2201

Mishra, V., Ganguly, A.R., Nijssen, B., and Lettenmaier, D.P. (2015)
CHANGES IN OBSERVED CLIMATE EXTREMES IN GLOBAL URBAN AREAS
Environ. Res. Lett. 10, 1-10

Nakicenovic, N., Alcamo, J., Davis, J., Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Yong Jung, T., Kram, T., Lebre La Rovere, E., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Riahi, K., Roehrl, A., Rogner, H. H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi Nakicenovic, Z.
“SPECIAL REPORT ON EMISSIONS SCENARIOS: A SPECIAL REPORT OF WORKING GROUP III OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE”
 Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 2000
 (Online at: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>)

Oke, T., R. (2006)
“TOWARDS BETTER SCIENTIFIC COMMUNICATION IN URBAN CLIMATE” *Theoretical and Applied Climatology* 84: 179-190

Peng, S.; Piao, S.; Ciais, P.; Friedlingstein, P.; Ottle, C.; Bréon, F.-M.; Nan, H.; Zhou, L. & Myneni, R. B. (2012)
“SURFACE URBAN HEAT ISLAND ACROSS 419 GLOBAL BIG CITIES” *Environmental Science & Technology*, 46: 696-703

Poumadère M., Mays C., Le Mer S., Blong R. (2005)
“THE 2003 HEAT WAVE IN FRANCE: DANGEROUS CLIMATE CHANGE HERE AND NOW”
Risk Analysis, 25(6):1483-1494

Rey G., Fouillet A., Bassemoulin P., Frayssinet P., Dufour A., Jouglà E., Hemon D. (2009)
“HEAT EXPOSURE AND SOCIO-ECONOMIC VULNERABILITY AS SYNERGISTIC FACTORS IN HEAT-WAVE-RELATED MORTALITY”
Eur. J. Epidemiol., 24:495-502

Rhinane, H., Hilali, A., Bahi, H., Berrada, A., (2012)
“CONTRIBUTION OF LANDSAT TM DATA FOR THE DETECTION OF URBAN HEAT ISLANDS AREAS CASE OF CASABLANCA”
Journal of Geographic Information System, 4:20-26

Roclöf J., Forsberg B., Ebi K., Bellander T. (2014)
“SUSCEPTIBILITY TO MORTALITY RELATED TO TEMPERATURE AND HEAT AND COLD WAVE DURATION IN THE POPULATION OF STOCKHOLM COUNTY, SWEDEN”
Global health action 7:1-11

Rosenfeld, D. (1999)
TRMM OBSERVED FIRST DIRECT EVIDENCE OF SMOKE FROM FOREST FIRES INHIBITING RAINFALL
Geophys. Res. Lett., 26, 3105–3108.

Rosenfeld, A.H., Akbari, H., Bretz, S., Fishman, B.L., Kurn, D.M., Sailor, D. Taha, H. (1995)
“MITIGATION OF URBAN HEAT ISLANDS: MATERIALS, UTILITY PROGRAMS, UPDATES”
Energy and Buildings 22: 255–265

Rosenzweig, C., Hammer, S. A., Solecki, W. D., Mehrotra, S.
CLIMATE CHANGE AND CITIES: FIRST ASSESSMENT REPORT OF THE URBAN CLIMATE CHANGE RESEARCH NETWORK
 Cambridge University Press, 2011.

Semenza J C., McCulloch JE., Flanders WD., McGeehin MA., Lumpkin JR. (1999)
“EXCESS HOSPITAL ADMISSIONS DURING THE JULY 1995 HEAT WAVE IN CHICAGO”
Am. J. Prev. Med., 16(4):269-399

Souch, C., and Grimmond, S. (2006)
“APPLIED CLIMATOLOGY: URBAN CLIMATE”
Progress in Physical Geography 30(2):270-279

Taha, H. (1997)
“URBAN CLIMATES AND HEAT ISLANDS: ALBEDO, EVAPOTRANSPIRATION AND ANTHROPOGENIC HEAT”
Energy and Buildings 25: 99–103

UN. (2012)
“THE 2012 REVISION OF THE WORLD POPULATION PROSPECTS”
 (<http://esa.un.org/wpp/>)

U.S. Census Bureau (2009)
YOUR GATEWAY TO CENSUS 2000
<http://www.census.gov/main/www/cen2000.html>

Voogt, J.A., and Oke, T.R. (2003)
“THERMAL REMOTE SENSING OF URBAN AREAS”
Remote Sensing of Environ-ment, 86: 370–384

Water Scarcity Drafting Group (2006)
WATER SCARCITY MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF WFD
SCG agenda point 8b WGB/15160506/25d
http://ec.europa.eu/environment/water/quantity/pdf/comm_droughts/8a_1.pdf

L. Dijkstra e H. Poelman (2012)
CITIES IN EUROPE THE NEW OECD-EC DEFINITION
E.C. RF 01/2012, pag. 16

Rosenfeld, D. (2000)
SUPPRESSION OF RAIN AND SNOW BY URBAN AND INDUSTRIAL POLLUTION
Science, 287, pp. 1793-1796

R.B. Stull (1988)
AN INTRODUCTION TO BOUNDARY LAYER METEOROLOGY.
DORDRECHT
Boston, Kluwer Academic Publishers
Atmospheric sciences library, pag. 666

Y. Tamura, T. Ohkuma, H. Okada, J. Kanda (1999)
Wind loading standards and design criteria
in JAPAN JOURNAL OF WIND ENGINEERING AND INDUSTRIAL AERODYNAMICS
Vol.83, pp.555-566

un progetto di

in collaborazione con

partnership tecnico-scientifica



in collaborazione con



con il patrocinio di

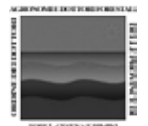


con l'adesione di



con il patrocinio degli ordini professionali

architettibologna



media partner



social media partner

