

Seminario corso Economia Urbana a.a. 2019/2020

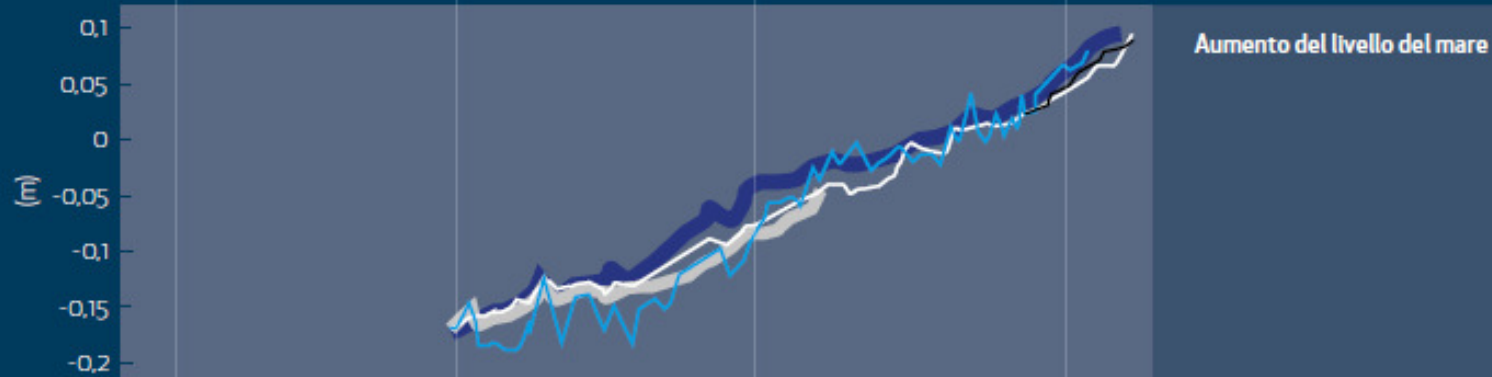
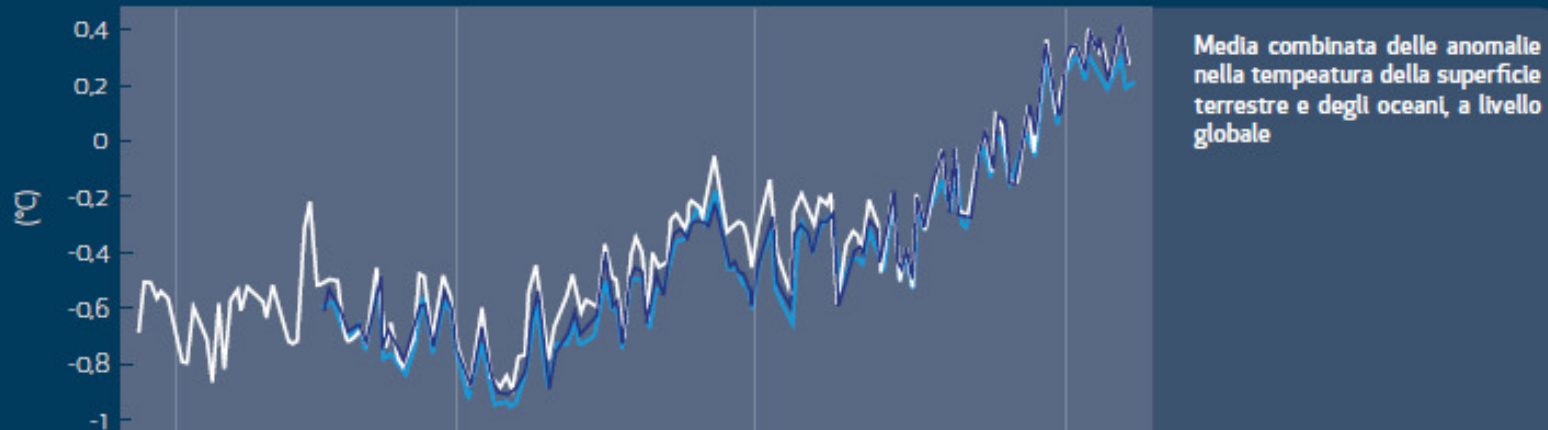
# "Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

Ing. Michele COLONNA



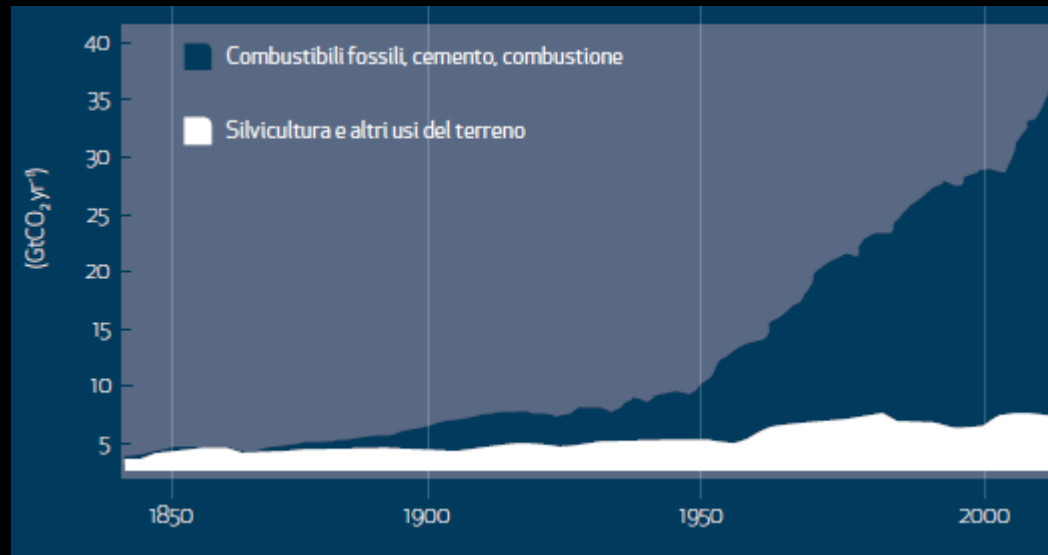
# Fonte dei dati....certa!



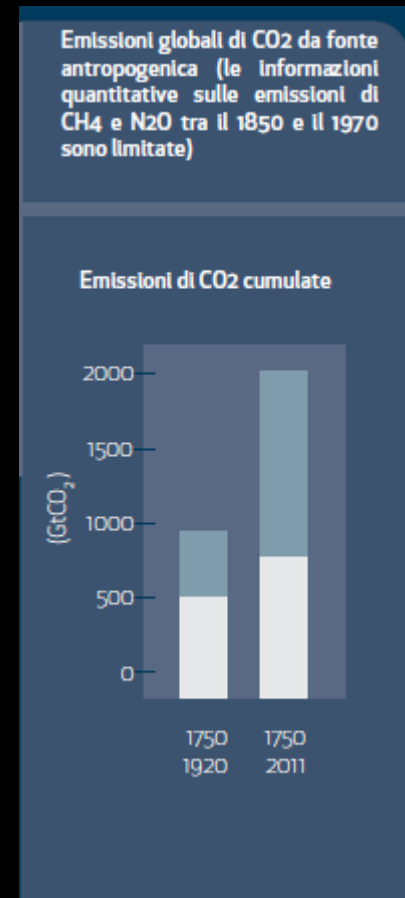


*Anomalie annuali e mediate globalmente relative alla media del periodo 1986-2005*





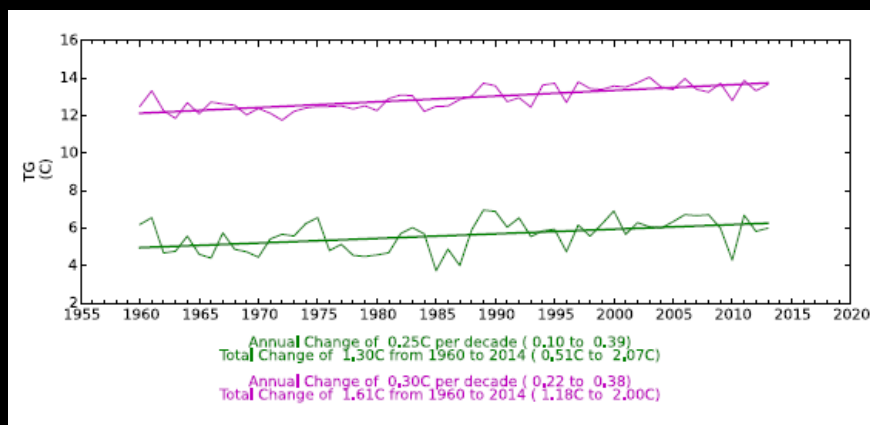
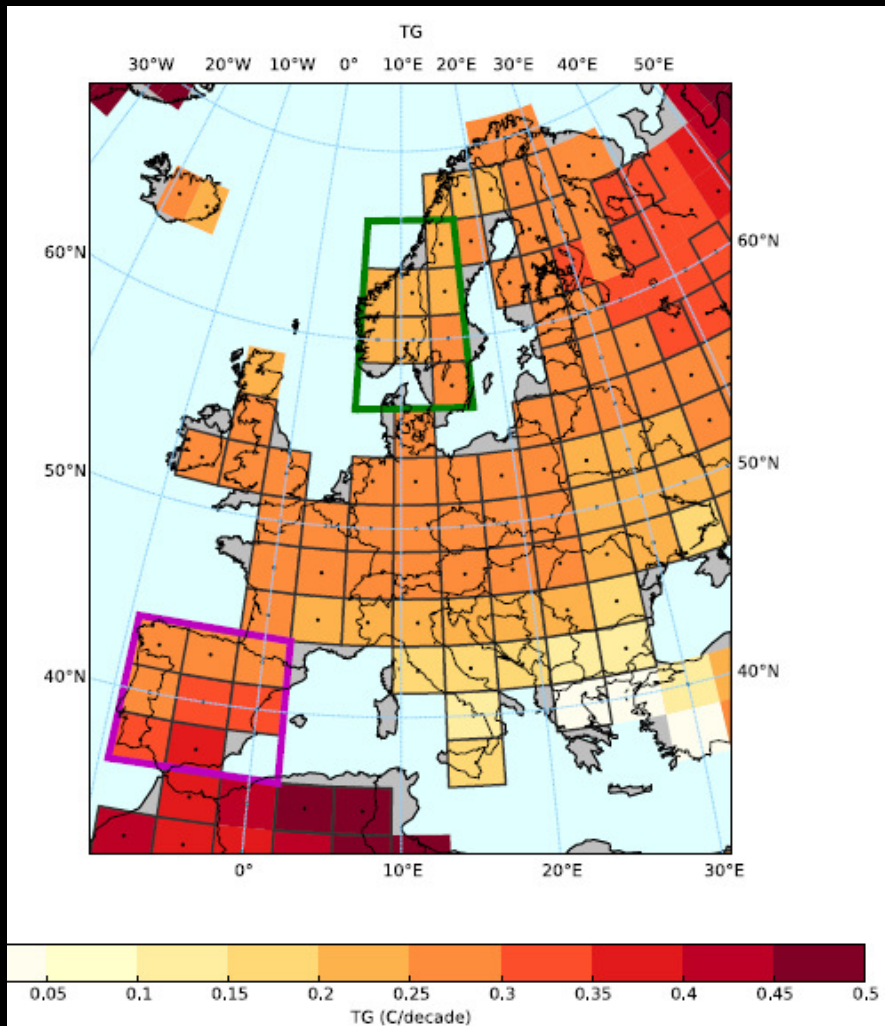
*Principali indicatori dei cambiamenti climatici che mostrano la relazione tra le osservazioni (a,b,c) e le emissioni di gas serra (d)*





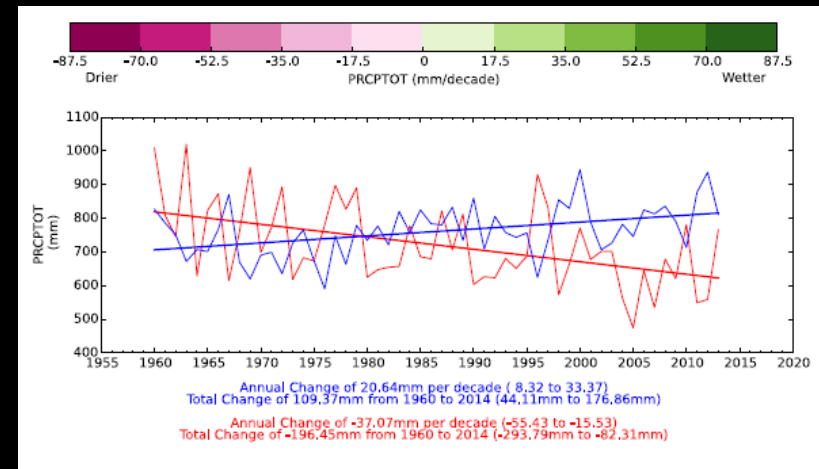
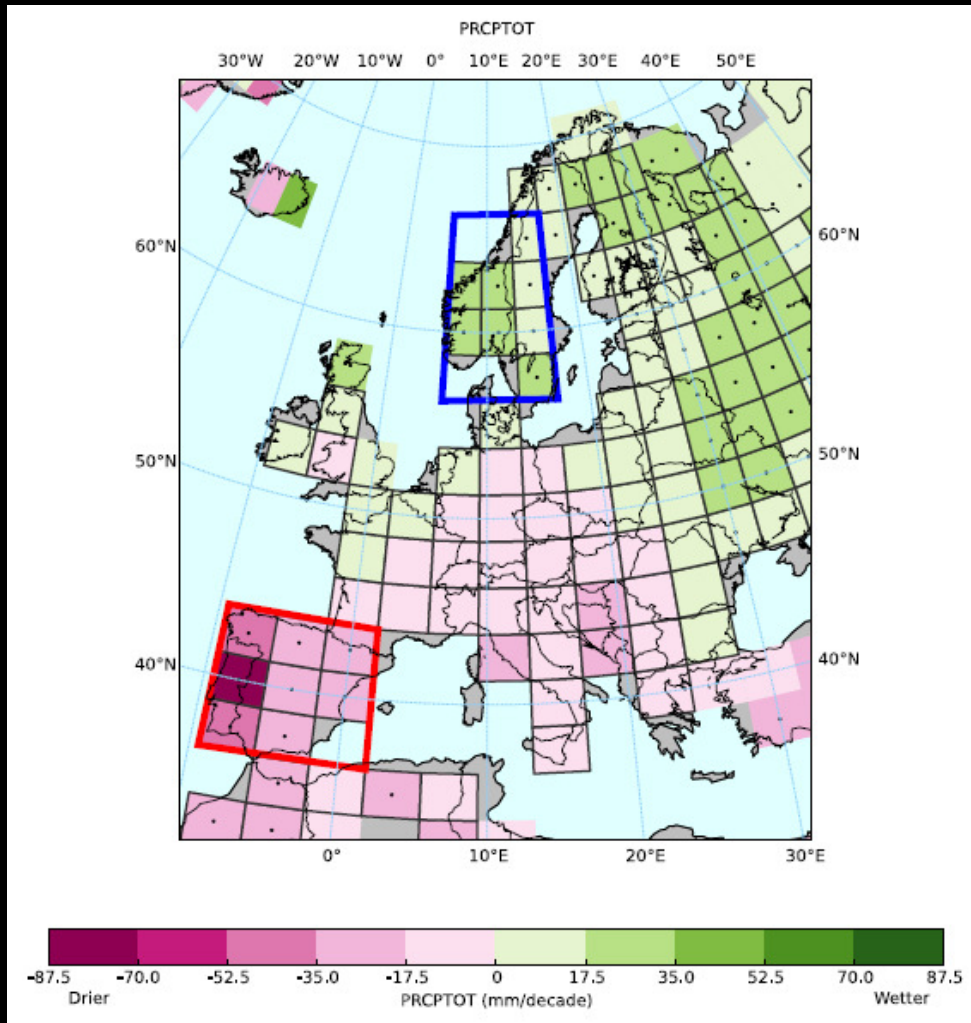
		2046 / 2065		2081 / 2100		
		Scenario	Media	Intervallo probabile	Media	Intervallo probabile
VARIAZIONE DELLA TEMPERATURA SUPERFICIALE MEDIA GLOBALE (°C)	RCP2.6		1.0	da 0.4 a 1.6	1.0	da 0.3 a 1.7
	RCP4.5		1.4	da 0.9 a 2.0	1.8	da 1.1 a 2.6
	RCP6.0		1.3	da 0.8 a 1.8	2.2	da 1.4 a 3.1
	RCP8.5		2.0	da 1.4 a 2.6	3.7	da 2.6 a 4.8
		Scenario	Media	Intervallo probabile	Media	Intervallo probabile
INNALZAMENTO DEL LIVELLO MEDIO GLOBALE DEL MARE (m) <sup>b</sup>	RCP2.6		0.24	da 0.17 a 0.32	0.40	da 0.26 a 0.55
	RCP4.5		0.26	da 0.19 a 0.33	0.47	da 0.32 a 0.63
	RCP6.0		0.25	da 0.18 a 0.32	0.48	da 0.33 a 0.63
	RCP8.5		0.30	da 0.22 a 0.38	0.63	da 0.45 a 0.82

*Variatione prevista della temperatura superficiale media globale dell'aria e l'innalzamento del livello medio globale del mare per la metà e la fine del XXI secolo rispetto al periodo di riferimento 1986-2005*



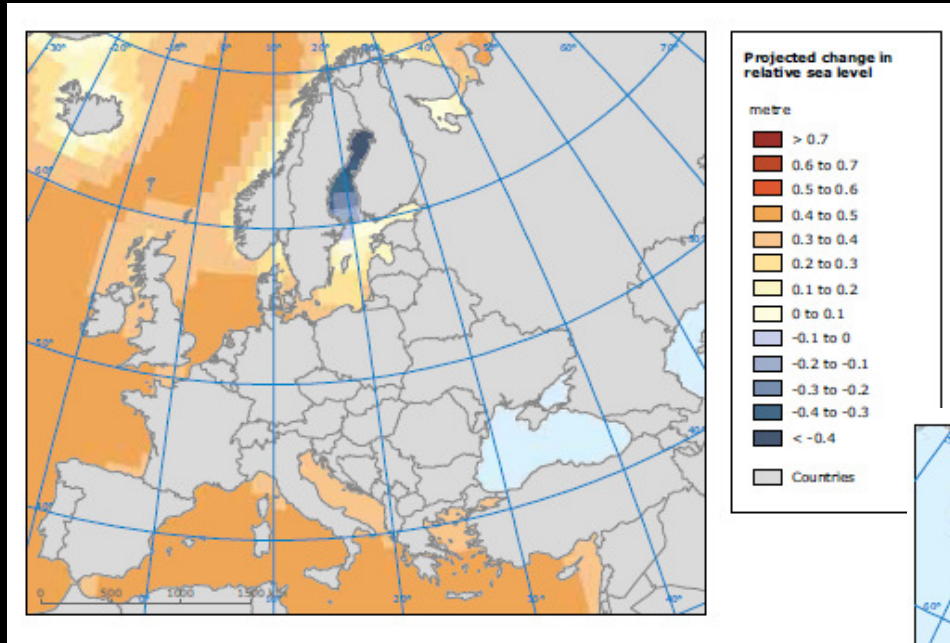
*Tendenza di giorni caldi in Europa, osservata nel periodo 1960-2013*

*<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/decadal-average-trends-in-mean-4>*

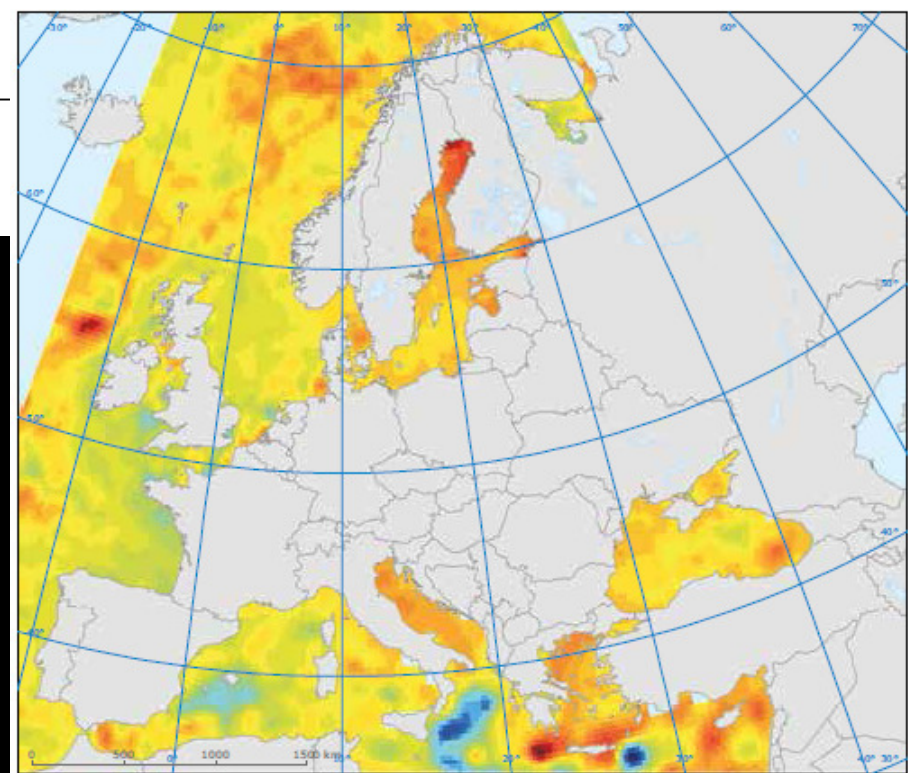


*Tendenza della precipitazione media in Europa nel periodo 1960-2014*  
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/observed-changes-in-annual-precipitation-1961-4>





*Innalzamento del livello marino nella regione europea: tendenza del livello marino assoluto (da misure satellitari) nel periodo 1992–2013 (Figura in alto); proiezione di Innalzamento del livello marino per la fine del secolo rispetto ai livelli attuali secondo lo scenario emissivo medio-basso RCP4.5 (Figura 5(b)).*  
<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-2/assessment>



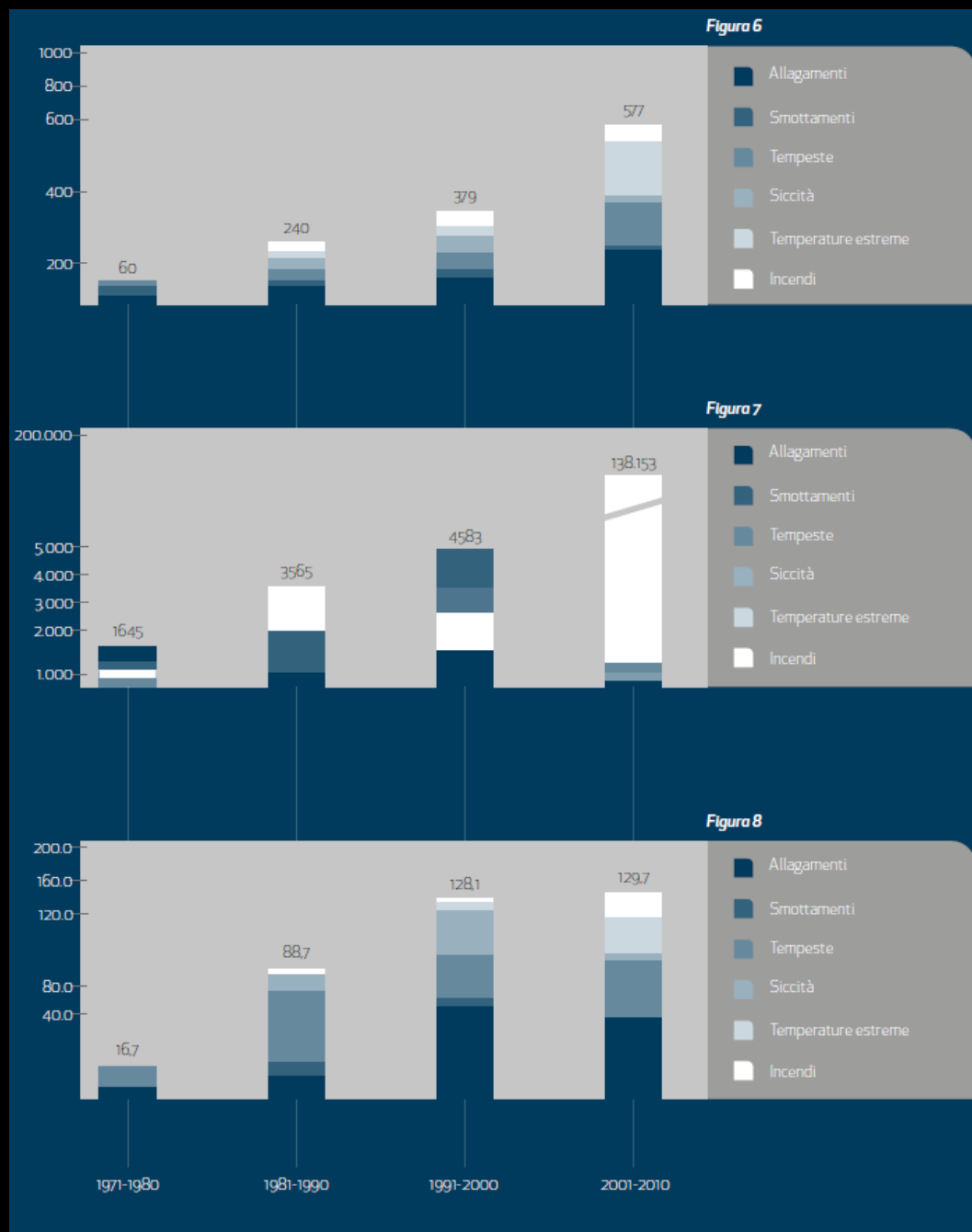
Trend in absolute sea level across Europe based on satellite measurements (1992–2013)





PERIODO	TREND TEMPERATURA MEDIA ITALIANA [°C/DECENNIO]	TREND TEMPERATURA MEDIA GLOBALE (DA IPCC 2007) [°C/DECENNIO]
1812-2011 (ULTIMI 200 ANNI)	0.109±0.006	-
1912-2011 (ULTIMI 100 ANNI)	0.142±0.015	-
1962-2011 (ULTIMI 50 ANNI)	0.34±0.04	-
1982-2011 (ULTIMI 30 ANNI)	0.38±0.08	-
1856-2005	0.104±0.009	0.045±0.012
1906-2005	0.130±0.015	0.074±0.018
1956-2005	0.27±0.04	0.13±0.03
1981-2005	0.54±0.12	0.18±0.05

*Tendenza della temperatura media superficiale italiana su diversi periodi e confronto con le tendenze a livello globale (Desiato et al., 2014; ISAC-CNR)*

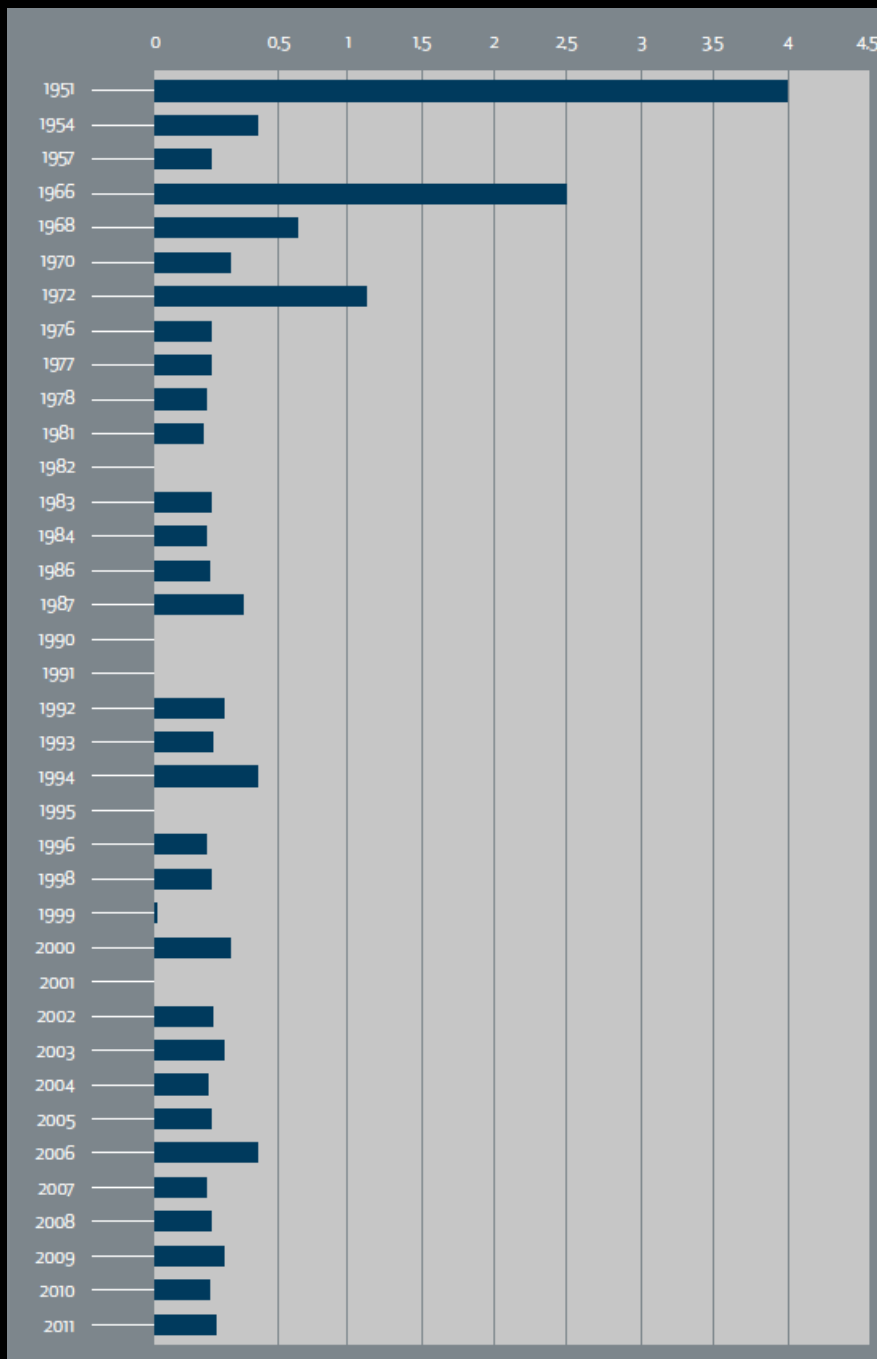


**Figura 6**  
Numero di disastri naturali in Europa per decade suddivisi per tipologia di evento (World Meteorological Organization, 2014)

**Figura 7**  
Numero di vittime in Europa per decade suddivise per tipologia di evento (World Meteorological Organization, 2014)

**Figura 8**  
Perdite economiche (aggiustate al 2012) in Europa per decade suddivise per tipologia di evento (World Meteorological Organization, 2014)





*Costo dei principali eventi alluvionali in Italia (1951-2011) in % del PIL (Berti et al., 2012).*

REGIONI	n. di interventi	Fondi (Milioni di Euro)
Abruzzo	144	117.9
Basilicata	214	102.6
Calabria	449	391.3
Campania	287	384.1
Emilia-Romagna	300	277.9
Friuli Venezia Giulia	72	87,2
Lazio	275	303.8
Liguria	115	113.2
Lombardia	478	422.0
Marche	248	148.0
Molise	74	53.0
Piemonte	458	243.6
Puglia	212	314.9
Sardegna	98	148.9
Sicilia	407	608.2
Toscana	528	410.0
Trentino - Alto Adige	61	38.5
Umbria	90	100.8
Valle d'Aosta	29	31.1
Veneto	171	175.3
<b>TOTALE</b>	<b>4710</b>	<b>4473</b>



*Importi finanziati dal MATTM per ogni regione italiana dal 1998 al 2012 nel quadro del D.L. 180/98 (ISPRAReNDiS - [w.rendis.isprambiente.it](http://w.rendis.isprambiente.it)).*

*Infine, ulteriori fondi stanziati dal 2009 al 2011 a mezzo ordinanza per le emergenze idrogeologiche ammontano a più di 1 miliardo di Euro, di cui 585,7 milioni di Euro solo nel 2010 (Legambiente-PCN, 2010).*

# CAMBIAMENTI CLIMATICI GLOBALI

Il termine **climate change** si riferisce a un cambiamento nello stato del clima che può essere identificato (ad esempio, utilizzando test statistici) da cambiamenti nei valori medi e/o dalla variabilità delle sue proprietà, e che persiste per un periodo prolungato, tipicamente decenni o più.

Il cambiamento climatico può essere dovuto a **processi interni naturali o forzanti esterne**, come variazioni dei cicli solari, eruzioni vulcaniche e azioni antropogeniche persistenti che variano la composizione dell'atmosfera o l'uso del suolo [IPCC, 2014].

Il *Framework Convention on Climate Change delle Nazioni Unite*, all'articolo 1, definisce il **cambiamento climatico** come un cambiamento **«attribuito direttamente o indirettamente all'attività umana che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si aggiunge alla variabilità naturale del clima osservata in periodi di tempo comparabili»** [UNFCCC,1992].

L'UNFCCC fa quindi una distinzione tra cambiamenti climatici causati dalla capacità umana di alterare la composizione dell'atmosfera, e la variabilità del clima attribuibile a cause naturali.



# VARIABILI METEO-CLIMATICHE ED EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI

Eventi meteorologici estremi	Variabili meteo-climatiche	Cambiamenti osservati (dal 1950 ad oggi)	Impatti possibili sull'ambiente fisico e sulla popolazione
Ondate di calore ( <b>heatwaves</b> ) Picchi di calore	<b>Temperature</b>	Diminuzione dei giorni e delle notti fredde e grande aumento dei giorni e delle notti calde a scala globale. Aumento dei periodi di caldo in vaste regioni	Siccità, erosione, desertificazione, malattie e mortalità, incrementi domanda energetica
Precipitazioni intense ( <b>heavy rainfall</b> )	<b>Precipitazioni</b>	Aumenti statisticamente significativi di eventi di precipitazione intensa (oltre il 95° percentile) a livello regionale e sub-regionale	Esondazioni, inondazioni, allagamenti, frane, smottamenti, mortalità
Cicloni, tornado, uragani	Venti	Non sono stati rilevati grandi cambiamenti per insufficienza di prove	Danneggiamenti delle infrastrutture e del patrimonio pubblico, mortalità

# VARIABILI METEO-CLIMATICHE ED EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI

## Heatwave


Rientra tra gli *Extreme Heat Events* (EHEs) definiti come quelle condizioni caratterizzate “*da tempo estivo sostanzialmente più caldo e/o più umido rispetto alla media per un determinato luogo in quel periodo dell'anno*” [US EPA, 2006]. L'Organizzazione Mondiale della Meteorologia (WMO) non ha formulato una definizione standard per l'**ondata di calore**: in **Italia**, con riferimento all'evento del 2003, si è osservato come l'ondata di calore pericolosa per la salute umana fosse “*un periodo di almeno tre giorni consecutivi con temperatura massima dell'aria superiore a 30° C*” [Greco, Biggeri, et al., 2006].

## Heavy rainfall

Rientra tra gli eventi di *severe weather* definiti come fenomeni meteorologici o idro-meteorologici pericolosi di varia durata, che possono causare danni importanti, disruption sociali e perdita di vite umane [WMO, 2004]. Le **precipitazioni intense** sono definite dal WMO-SWIC come quegli **eventi di pioggia superiori o uguali a 50 mm registrati nelle ultime 24 ore** [WMO-SWIC, 2015]. L'American Meteorological Society, invece, associa la definizione ad un valore specifico, dipendente dalle coordinate geografiche [AMS, 2012].

I fenomeni di **heatwave** e **heavy rainfall** rientrano tra gli eventi meteorologici di piccola scala o breve termine che possono costituire un **hazard** per l'ambiente costruito e la popolazione [C40, 2015].

# CITY CLIMATE HAZARDS

 <b>Meteorological</b>	Precipitation	Rain storm	Monsoon	Insects and micro-organisms  Chemical change Flood Wave action Wild fire Drought Water scarcity Subsidence Landslide
		Heavy snow	Snowstorm/blizzard	
	Wind	Severe wind	Dust storm/sandstorm	
		Tornado	Extratropical cyclone	
		Cyclone (hurricane/typhoon)		
	Lightning	Electrical storm	Lightning/thunderstorm, derecho	
	Fog	Fog		
	Extreme temperature - cold	Extreme winter conditions	Ice, hail, freezing rain, debris avalanche	
		Cold wave	Cold snap, frost	
		Extreme cold weather	Cold days	
Extreme temperature - hot	Heatwave			
	Extreme hot weather	Hot days		
 <b>Climatological</b>	Water scarcity	Drought	Lack of precipitation and seasonal melt (snow, glacial)	Rockfall Avalanche Subsidence Landslide
	Wild fire	Forest fire		
		Land fire	Bush fire, grass fire, pasture fire, scrub fire	
 <b>Hydrological</b>	Flood	Flash/surface flood	Glacial lake outburst	Subsidence Landslide Insects and micro-organisms Flood
		River flood		
		Coastal flood		
	Wave action	Groundwater flood	Waterlogging	
		Storm surge	Seiche	
	Chemical change	Salt water intrusion		
Ocean acidification				
 <b>Geophysical</b>	Mass movement	Landslide	Lahar, mud flow, debris flow	Flood Chemical change
		Avalanche	Debris avalanche, snow avalanche	
		Rockfall		
		Subsidence	Sudden subsidence (sinkhole), long-lasting subsidence	
 <b>Biological</b>	Insects and micro-organisms	Water-borne disease	E.g. cholera, typhoid, legionnaires' disease	Extreme temperature – hot  Flood
		Vector-borne disease	E.g. malaria, dengue fever, yellow fever, west nile virus, bubonic plague	
		Air-borne disease	E.g. pneumonic plague, influenza	
		Insect infestation	E.g. pine beetles, killer bees, termites	



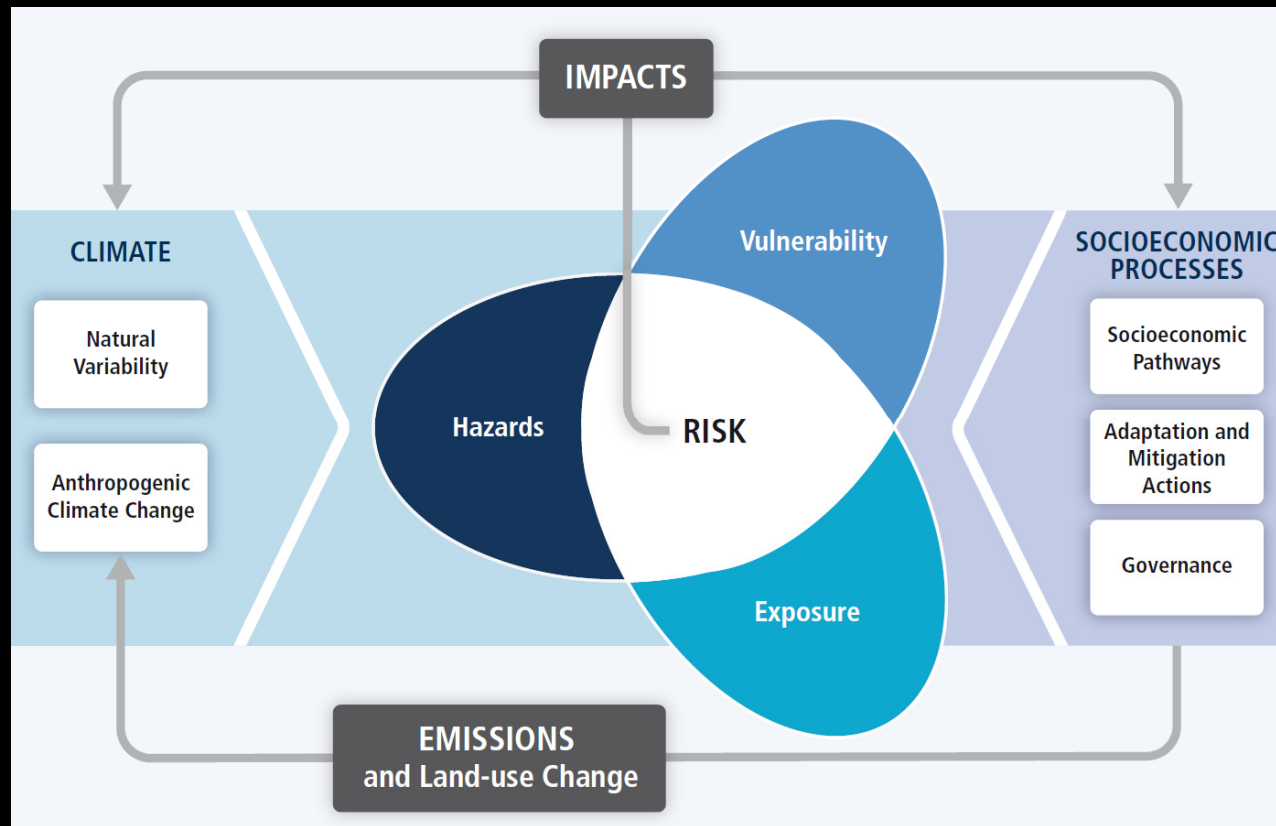
# CLIMATE RELATED IMPACTS

Nel Rapporto WGII AR5 dell'IPCC, il termine **impatti** è usato principalmente per riferirsi agli effetti degli eventi meteorologici e climatici estremi e dei cambiamenti climatici, sui sistemi naturali e umani.

I **climate-related impacts** generalmente si riferiscono agli **effetti su persone, abitazioni, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi (inclusi quelli ambientali) e infrastrutture** dovuti all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi.

Ci si riferisce inoltre agli impatti come a conseguenze ed esiti. Gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi geofisici, compresi alluvioni, siccità e innalzamento del livello del mare, rappresentano un sottoinsieme di impatti denominati impatti fisici [IPCC, 2014a].

# RISK OF CLIMATE RELATED IMPACTS



**Il rischio definisce le potenziali conseguenze laddove sia in gioco qualcosa di valore per l'uomo (inclusi gli stessi esseri umani) e laddove l'esito sia incerto. Il rischio è spesso rappresentato come la probabilità del verificarsi di eventi o trend pericolosi, moltiplicata per le conseguenze che si avrebbero se questi eventi si verificassero [IPCC, 2014a].**

# RISK OF CLIMATE RELATED IMPACTS

## Hazard

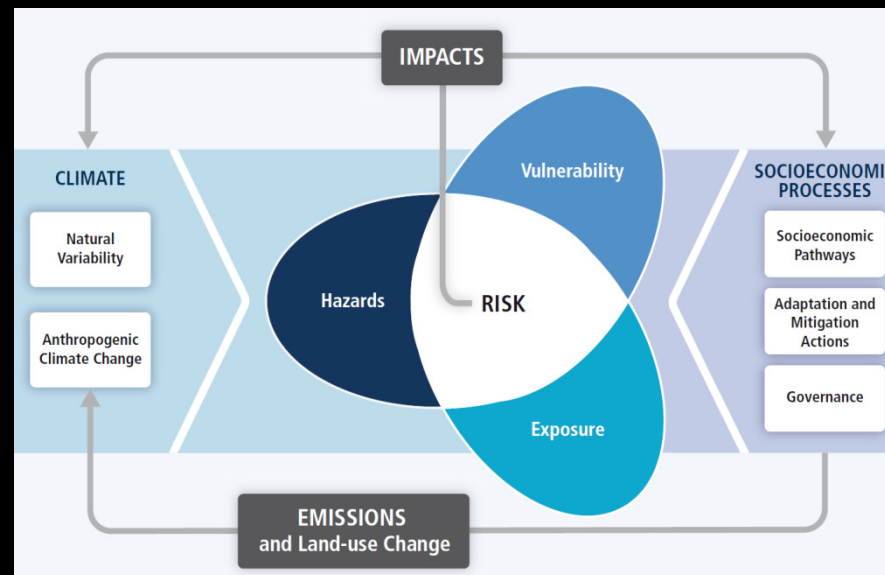
Potenziale accadimento di un evento o di un trend naturale o provocato dall'uomo, o di un impatto fisico, che potrebbe causare la perdita della vita, ferite o altri impatti sulla salute, così come pure il danneggiamento e la perdita di proprietà, infrastrutture, mezzi di sostentamento, fornitura di servizi e risorse ambientali [IPCC, 2014a]. Nel rapporto IPCC WGII AR5 il termine hazard si riferisce di solito a eventi o trend fisici correlati al clima, o ai loro impatti fisici.

## Vulnerability

Propensione o la predisposizione di un elemento a subire influenze negative; include le caratteristiche intrinseche dell'elemento stesso, le quali influenzano la capacità di anticipare, resistere e superare gli effetti negativi degli eventi fisici [IPCC, 2014a].

## Exposure

Presenza di persone, risorse ambientali, servizi, infrastrutture, attività economiche, sociali e culturali, mezzi di sussistenza, ecc. che possono essere colpiti negativamente dagli eventi fisici, e soggetti a potenziali perdite e danneggiamenti [IPCC, 2014a].



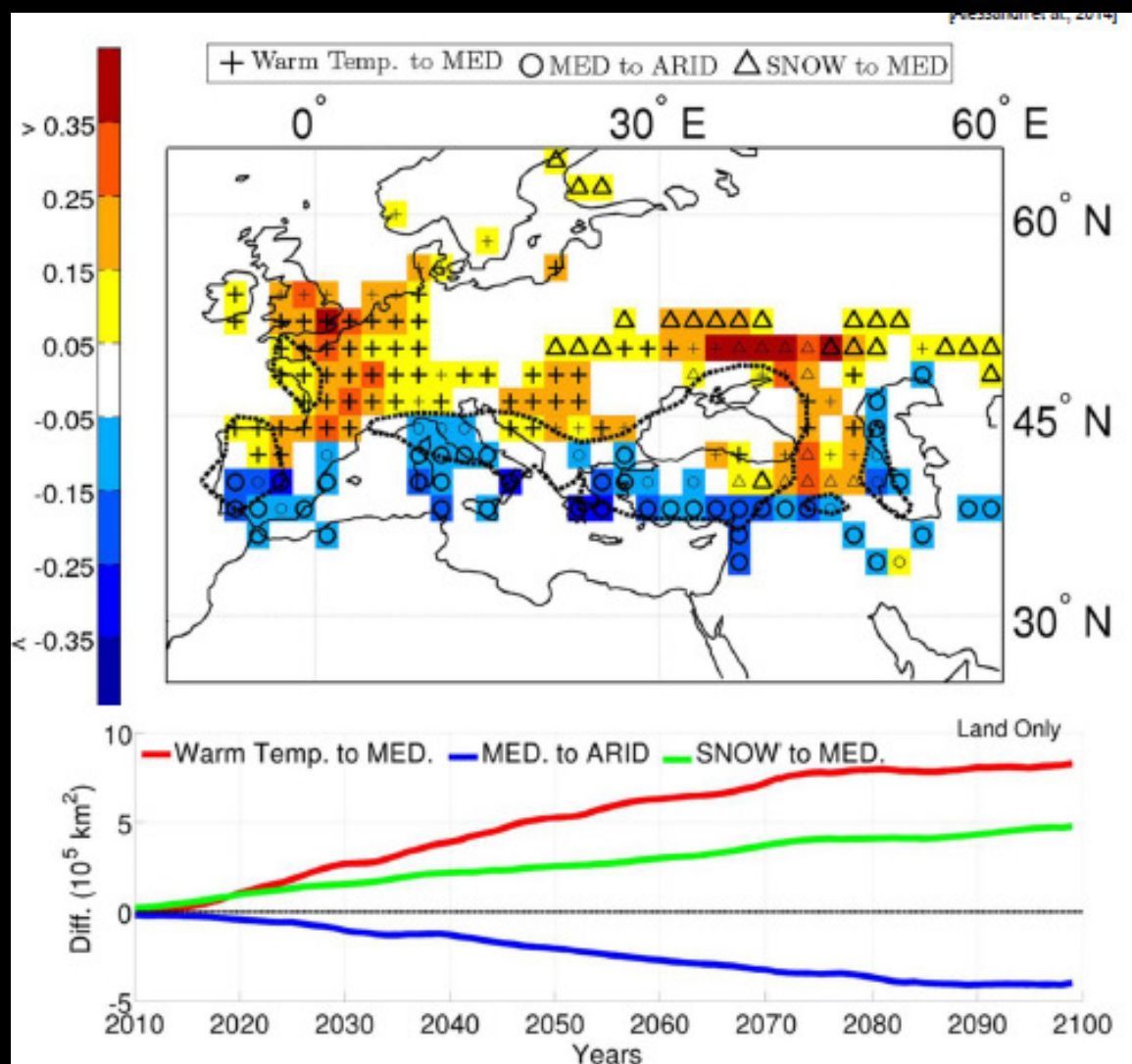
# VARIABILITA' CLIMATICA IN AMBITO EURO-MEDITERRANEO

## Area euro-mediterranea

### climate-change hot spot

area particolarmente suscettibile ai cambiamenti climatici in atto  
[Giorgi, 2006]

La tendenza emergente prevede uno "spostamento" del clima Mediterraneo verso le regioni del Nord e del Nord Est europeo, con una forte differenza tra le precipitazioni medie estive e invernali. Parallelamente, si registra una riduzione delle precipitazioni medie estive e invernali ed un aumento delle temperature medie estive soprattutto nel sud Italia, dove il passaggio verso il clima arido è sempre più evidente [Alessandri et al., 2014]. Oltre ai cambiamenti nei valori medi, le proiezioni indicano alterazioni della variabilità delle temperature e delle precipitazioni che, sommate all'aumento dei valori massimi, possono determinare un aumento della probabilità di occorrenza di eventi estremi [Castellari, Venturini et al., 2014].





# VARIABILITA' CLIMATICA IN AMBITO EURO-MEDITERRANEO

**Atlantico:** accresciuto rischio di erosioni e alluvioni costiere, stress dei sistemi biologici marini e perdita degli habitat; aumento della pressione turistica sulle coste; grandi aumenti nel rischio di tempeste invernali e vulnerabilità dei trasporti ai venti.

**Boreale:** eutrofizzazione di laghi e zone umide, aumento delle alluvioni e dell'erosione costiera, aumento del rischio di tempeste invernali; riduzione della stagione turistica.

**Tundra:** scioglimento del permafrost; diminuzione della tundra; aumento dell'erosione costiera e delle alluvioni.

**Centrale:** aumento in frequenza e intensità delle alluvioni estive; aumento della variabilità dei raccolti; aumento di problemi sanitari da ondate di calore; gravi incendi nelle aree a torba drenate.

**Montagne:** scomparsa dei ghiacciai; riduzione del periodo di copertura nevosa, spostamento verso l'alto del limite della vegetazione arborea; severe perdite della biodiversità, riduzione della stagione sciistica; aumento delle frane.

**Mediterraneo:** riduzione della disponibilità di acqua; aumento della siccità; severa perdita di biodiversità; aumento degli incendi nelle foreste; riduzione del turismo estivo; riduzione delle aree adatte alla coltivazione; **aumento della domanda di energia estiva**; riduzione della produzione di energia idroelettrica; aumento delle perdite di terra nei delta e negli estuari; aumento della salinità e dell'eutrofizzazione delle acque costiere; aumento di **ondate di calore**.

**Steppa:** diminuzione dei raccolti agricoli; aumento dell'erosione dei suoli; aumento del livello del mare nel caso di oscillazione nordatlantica; aumento della salinità delle aree interne.





# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO



# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

Prima che lo sviluppo umano disturbasse gli habitat naturali, il suolo e la vegetazione facevano parte di un eco-sistema equilibrato che gestiva le precipitazioni e l'energia solare in maniera efficace: l'acqua piovana rientrava in circolo grazie all'infiltrazione nel sottosuolo e all'evapotraspirazione, svolgendo anche un'importante funzione di raffreddamento dei carichi solari in eccesso [Getter e Rowe, 2006].

In Italia gli insediamenti urbani ospitano oltre il 90% della popolazione [Filpa, 2013]: tale azione di espansione e costruzione delle città da parte dell'uomo ha costituito un fattore di disturbo per il sistema naturale, mutando sia le caratteristiche emissive delle superfici rispetto alla radiazione solare (*Urban Heat Island*), sia il sistema idrologico, con un incremento dei volumi di deflusso superficiale delle acque (*pluvial flooding*).

In relazione agli eventi estremi di caldo o precipitazione di origine naturale (*heatwaves* e *heavy rainfall*), tali fenomeni si configurano come fattori aggravanti.





# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

## Urban Heat Island

È il risultato dell'interazione tra **assetto costruito e componenti climatico-ambientali**, ovvero tra irraggiamento solare e caratteristiche fisiche delle parti e dell'insieme urbano (geometrie e dimensioni dei manufatti, materiali, colori, vegetazione). Mappando le temperature dell'aria di una città con delle isoterme, il centro urbano, con temperature più elevate, appare un'"isola" nel mare delle zone rurali circostanti, caratterizzate da temperature più basse. In generale, le zone cittadine caratterizzate da maggiore intensità sono le aree ad alta densità edilizia che rappresentano le "cime" dell'isola nella mappatura delle isoterme, mentre le superfici caratterizzate da specchi d'acqua o da vegetazione, sono, al contrario, caratterizzate da intensità inferiori [Oke, 1982]. L'isola di calore urbana (UHI) è infatti definita dalla **differenza di temperatura che si registra tra le aree urbane e le aree rurali immediatamente circostanti.**



Atlanta, Urban Daytime Thermal View of the Heat Island, 1998 [NASA, 2010]

# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

## Urban Heat Island

È possibile classificare il fenomeno in 3 tipi a seconda della natura del gradiente termico tra area urbana e area rurale circostante [Oke, 1995], di cui i più studiati sono:

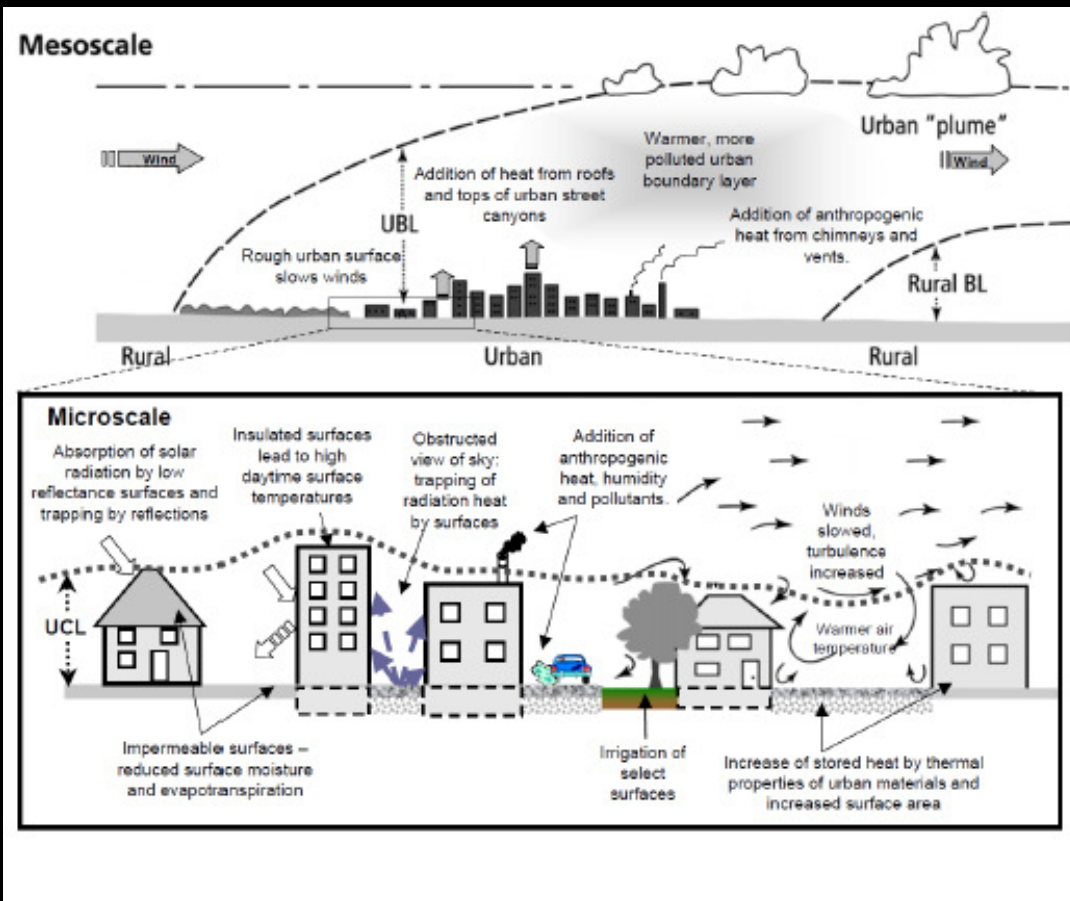
### - Isola di calore superficiale (SUHI)

Gradiente termico che si ha tra una superficie urbana esposta alla radiazione solare e una superficie ombreggiata o caratterizzata da maggiore umidità come un prato.

### - Isola di calore atmosferica (AUHI)

Gradiente termico tra la temperatura dell'aria di una zona urbana e quella di una zona rurale limitrofa. Si suddivide in:

- isola di calore dello strato della copertura urbana (CLUHI);
- isola di calore dello strato limite urbano (BLUHI).





# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

## Urban Heat Island

Le **cause** dell'UHI vanno ricercate nelle differenze tra il **bilancio energetico** superficiale delle aree rurali e urbane, dipendenti dalle peculiarità della zona urbanizzata e variabili per intensità da città a città. Il bilancio energetico di un'area urbana è dato dalla formula:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

con:

$Q^*$  = la radiazione netta globale (radiazione netta ad

onda corta K + radiazione netta ad onda lunga L)

$Q_F$  = calore di origine antropogenica

$Q_H$  = flusso di calore sensibile (riscaldamento + raffreddamento dell'ambiente)

$Q_E$  = flusso di calore latente (evaporazione + traspirazione + condensazione)

$\Delta Q_S$  = accumulo netto di calore nel sistema (calore immagazzinato)

$\Delta Q_A$  = avvezione netta tra entrata e uscita dal sistema

Il pericolo connesso a questo fenomeno può derivare dalla combinazione di specifiche caratteristiche fisiche, sociali e morfologiche dell'ambiente costruito, che determinano variazioni significative nel bilancio [Oke, 1982; 1987; Gartland, 2008].

Termini del bilancio energetico	Cause	Caratteristiche dell'ambiente costruito
Aumento dell'assorbimento della radiazione solare (K)	Presenza di molteplici superfici esposte al fenomeno (pareti verticali, tetti), che generano riflessioni multiple	CARATTERISTICHE INSEDIATIVE Elevata densità di popolazione Elevata densità edilizia Presenza di canyon urbani Ridotto Sky View Factor
Diminuzione della radiazione termica dissipata (L)		
Elevato accumulo termico ( $\Delta Q_S$ )	Scarse proprietà termiche dei materiali da costruzione	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E DELLE SUPERFICI Inerzia termica involucro, albedo ed emissività ridotte Elevato coefficiente di assorbimento
Conversione radiazione solare in calore sensibile ( $Q_H$ ) e non in calore latente ( $Q_E$ )	Diminuzione evapotraspirazione del suolo	CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI Ridotta quantità di superfici verdi e piante Elevate superfici impermeabili
Diminuzione della dissipazione convettiva del calore urbano	Riduzione della velocità del vento	CARATTERISTICHE INSEDIATIVE Elevata rugosità degli edifici
Aumento del flusso radiativo ad onda lunga (assorbimento e re-immissione dell'infrarosso - L)	Emissione di inquinanti nell'atmosfera	FATTORI AMBIENTALI Consumi elevati per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici, per i trasporti e per i processi produttivi
Incremento della radiazione termica antropogenica ( $Q_F$ )	Aumento produzione energetica necessaria per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici, per i trasporti e per i processi produttivi	CARATTERISTICHE INSEDIATIVE CARATTERISTICHE DEI MATERIALI E DELLE SUPERFICI FATTORI AMBIENTALI

# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

## Pluvial flooding

L'azione antropica è responsabile anche di cambiamenti nel sistema idrologico, dove si registra un **incremento dei volumi e dei picchi di deflusso superficiale delle acque**.

I fenomeni di *pluvial flooding* sono causati dalle **acque meteoriche (pioggia o neve sciolta) non assorbite dal suolo che provocano episodi di ristagno superficiale e di surface runoff prima di raggiungere i corsi d'acqua o i sistemi di drenaggio, già completamente sommersi** [SEPA, 2015]. Solitamente sono associati ad eventi piovosi estremi ( $>20-25$  mm/h), ma possono verificarsi anche con precipitazioni di minore intensità ( $\sim 10$  mm/h) o neve sciolta laddove il terreno è congelato, completamente impregnato o ha una bassa permeabilità [Maksimovic e Saul, 2015].





# CAMBIAMENTI CLIMATICI IN AMBITO URBANO

## Pluvial flooding

Il pericolo connesso a questo fenomeno, tipico delle aree urbane, può derivare dalla combinazione di specifiche caratteristiche fisiche, sociali e morfologiche dell'ambiente costruito.

Le **cause** principali vanno ricercate nella presenza di superfici impermeabili, di reti di drenaggio urbano insufficienti e di spazi aperti e strade caratterizzati da elevate pendenze e nella realizzazione di opere di canalizzazione e di interventi di restrizione dei canali esistenti.

Ciò può provocare ristagni superficiali, esondazione delle fognature, velocità elevate dei flussi di scorrimento [Nott, 2006; Falconer, 2009; Maguire e Falconer, 2011; Houston et al., 2011].

A seconda delle peculiarità dell'area interessata, può sommarsi ad altri eventi di *coastal flooding* e *flash flooding* o di *sewer flooding* e *groundwater flooding*. La combinazione di questi eventi è spesso chiamata *surface water flooding* [Falconer, 2009; FRC, 2015].

Cause	Caratteristiche dell'ambiente costruito
Presenza di ristagni superficiali	<p>CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE Pendenze, avvallamenti, depressioni naturali e non</p> <p>CARATTERISTICHE INFRASTRUTTURALI Rilevati stradali o ferroviari che possono costituire un ostacolo allo scorrimento superficiale Sottopassi stradali o ferroviari</p>
Velocità dei flussi di scorrimento	<p>CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE Strade e spazi aperti con pendenze elevate</p>
Ridotta evapotraspirazione del suolo / ridotta capacità di infiltrazione del suolo	<p>CARATTERISTICHE DELLE SUPERFICI Suolo impermeabile Suolo ghiacciato</p>
Esondazione fognature / fuoriuscita acqua dai pozzetti di smaltimento	<p>SISTEMA DI DRENAGGIO URBANO Insufficiente portata del sistema di drenaggio sotterraneo</p>

# EFFETTI GENERATI DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI LOCALI

## Urban Heat Island

Gli effetti generati sull'ambiente costruito e sulla popolazione possono essere:

- **Diretti**; incremento del consumo di energia, aumento dei carichi termici negli spazi esterni, elevate immissioni nell'atmosfera di inquinanti e gas serra, peggioramento della qualità della vita e del comfort dell'individuo, aggravato dagli eventi di heatwaves, a cui anziani, bambini e malati sono particolarmente vulnerabili.
- **Indiretti**; aumento della vulnerabilità dei sopravvissuti e peggioramento della qualità dell'acqua; superfici, pavimenti e tetti che raggiungono temperature superiori a quelle dell'aria trasferiscono questo calore in eccesso alle acque piovane che, a causa dei fenomeni di ruscellamento superficiale, viene trasportato, insieme agli inquinanti, ai corpi idrici superficiali o sotterranei.



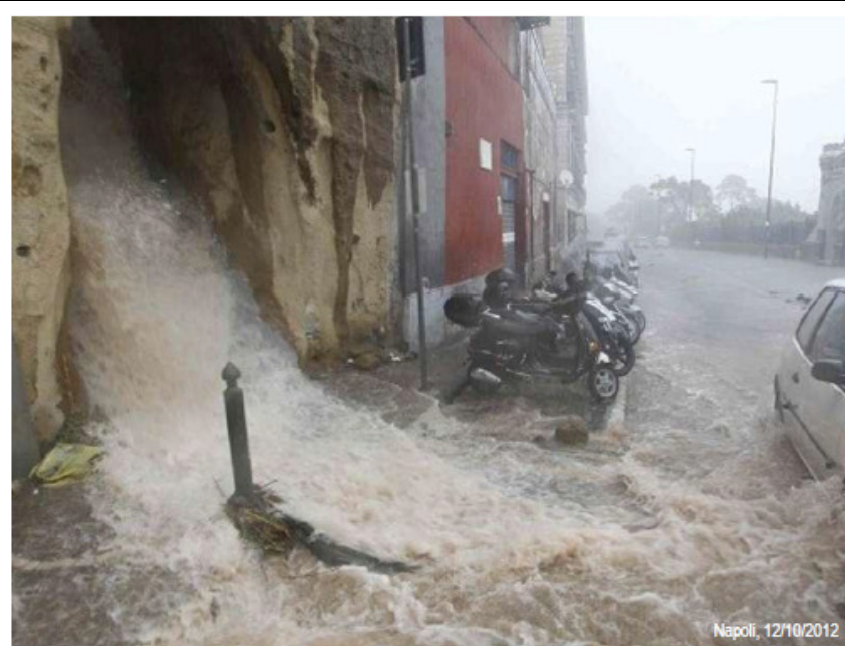


# EFFETTI GENERATI DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI LOCALI

## Pluvial flooding

Gli effetti generati possono essere [Houston et al., 2011]:

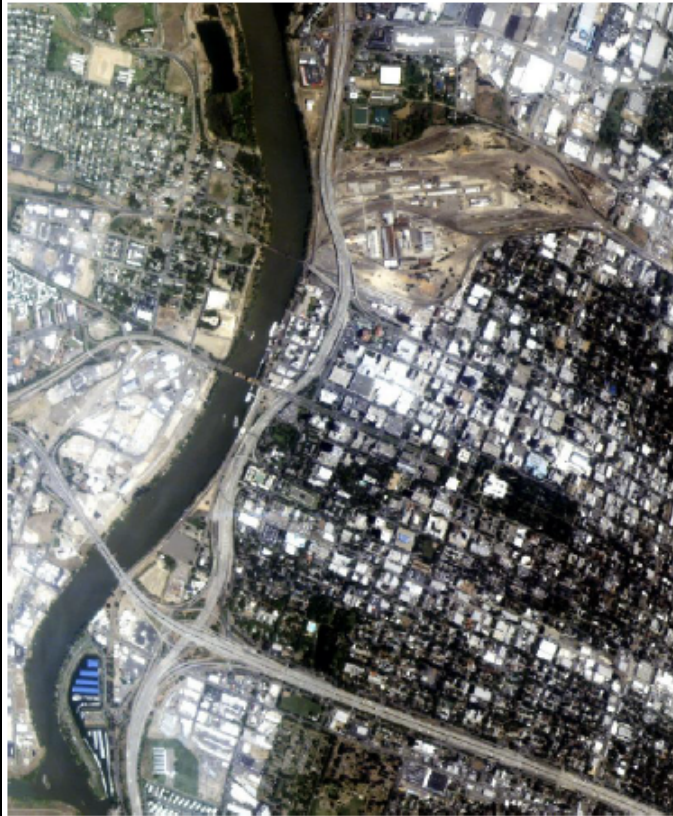
- **Diretti**; immediati, possono comportare danni fisici agli edifici (elementi strutturali o di finitura) e alle infrastrutture, e conseguenti spese per il ripristino o la ricostruzione, problemi di salute alle persone colpite (morte, traumi fisici e/o mentali) e peggioramento della qualità dell'acqua. Il deflusso superficiale può provocare il trasporto verso i corpi idrici (superficiali e sotterranei) degli inquinanti presenti sul territorio, sia urbano che rurale.
- **Indiretti**; non immediati, sono più duraturi e riguardano l'interruzione delle attività economiche e sociali (perdita della produzione industriale e agricola) o dei servizi (infrastrutture di trasporto, attività scolastiche, assistenza sanitaria, ecc.) e la maggiore vulnerabilità dei sopravvissuti.



# URBAN CLIMATIC MAP

## Casi di studio

**SACRAMENTO**  
Urban Heat  
Island



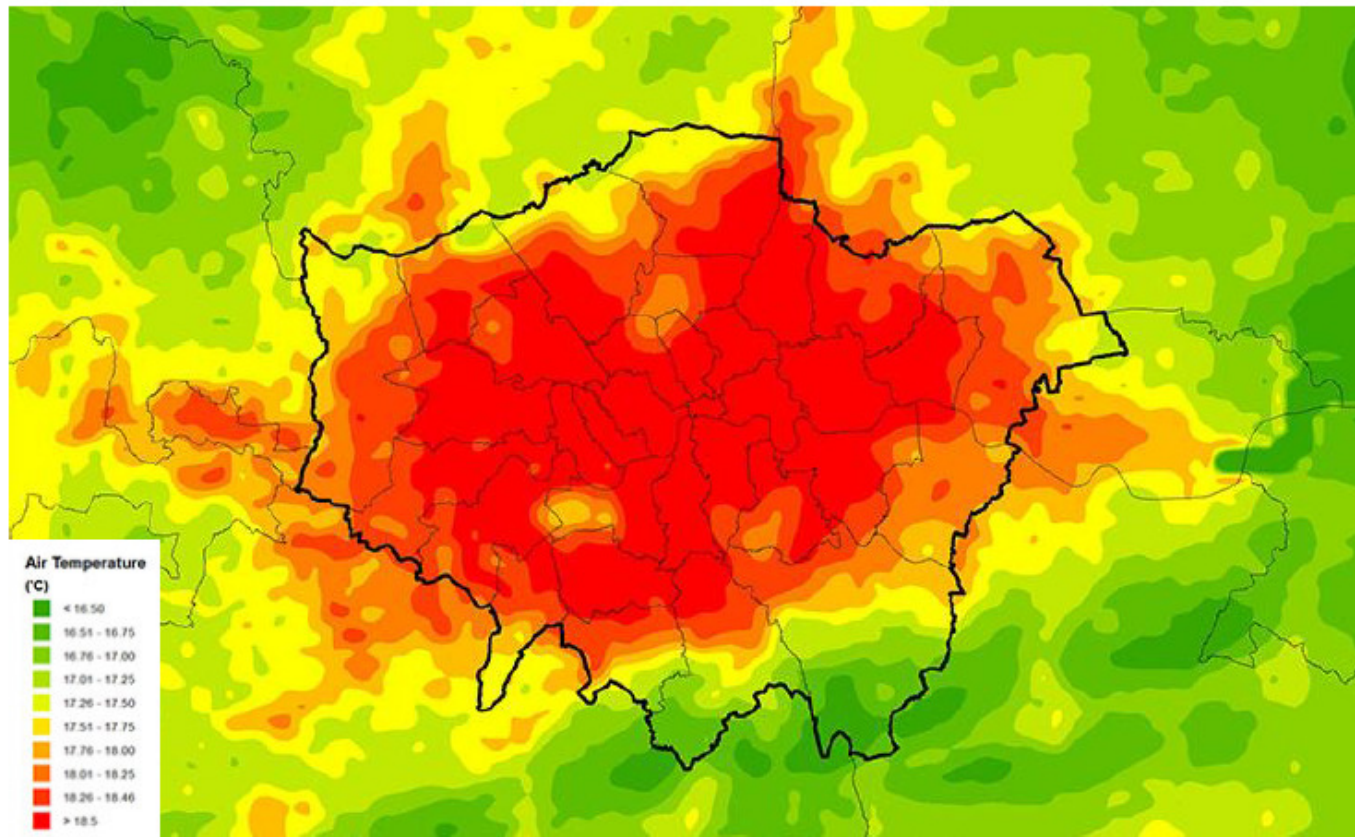
Infrared thermal image of Sacramento, California, 20 November 1998 [NASA, 1998]



# URBAN CLIMATIC MAP

## Casi di studio

**GREATER LONDON**  
Urban Heat  
Island

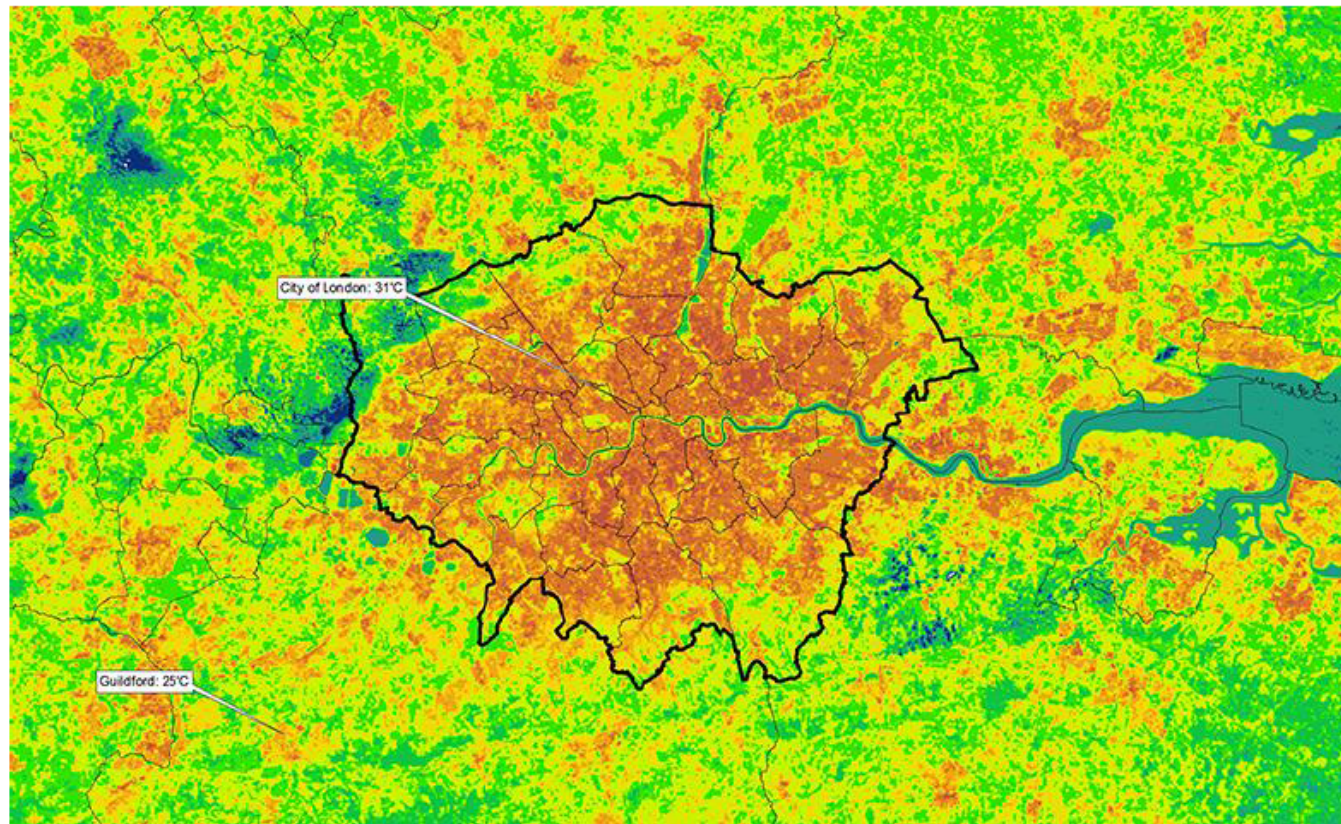


Visualisation of air temperature across Greater London and the surrounding counties on a summers day. © Arup/University College London [Arup, 2015]

# URBAN CLIMATIC MAP

## Casi di studio

### GREATER LONDON Urban Heat Island



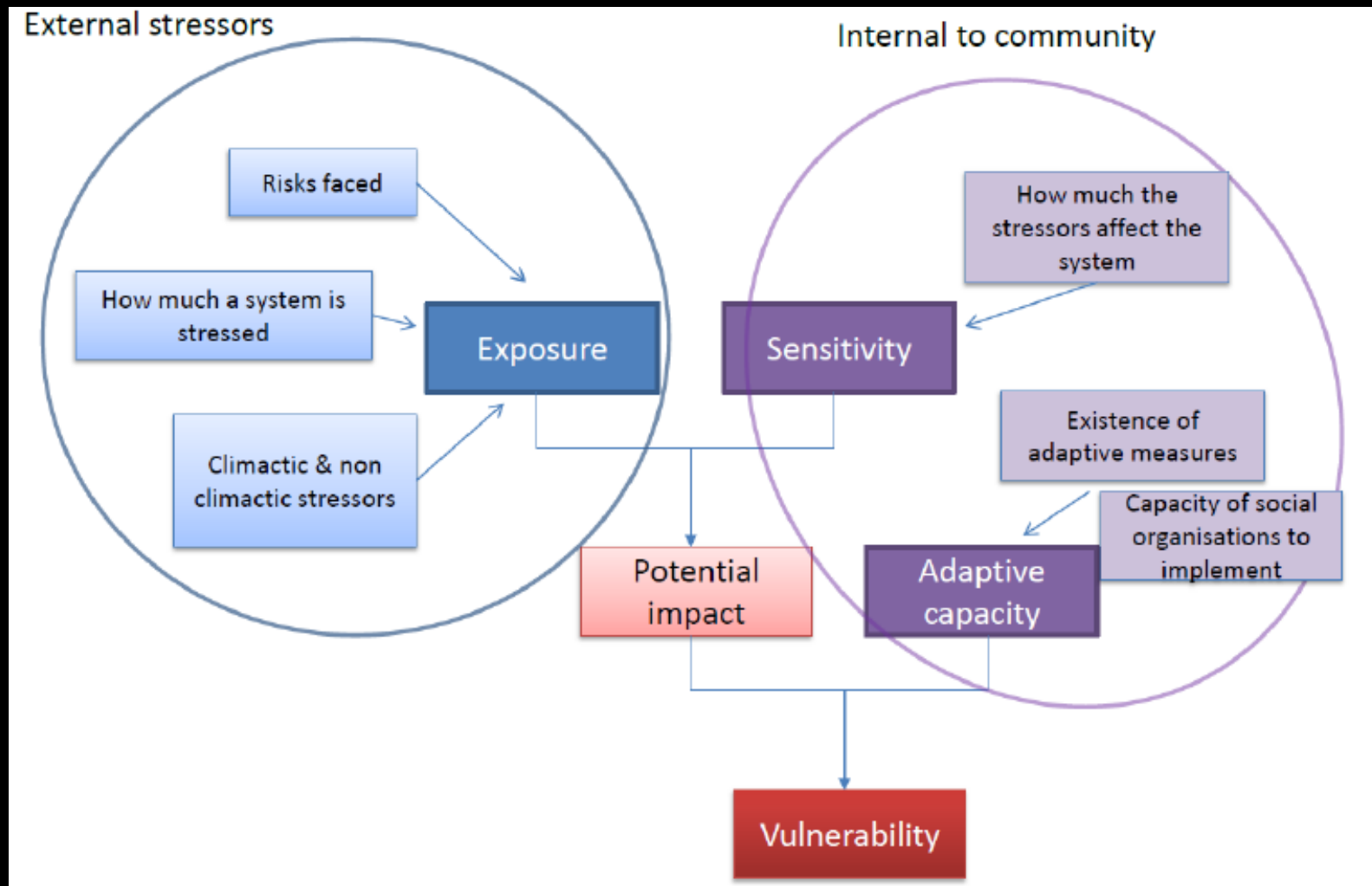
Visualisation of Land Surface Temperature across Greater London and the surrounding counties on a summers day. © Arup/UK Space Agency (Arup, 2015)



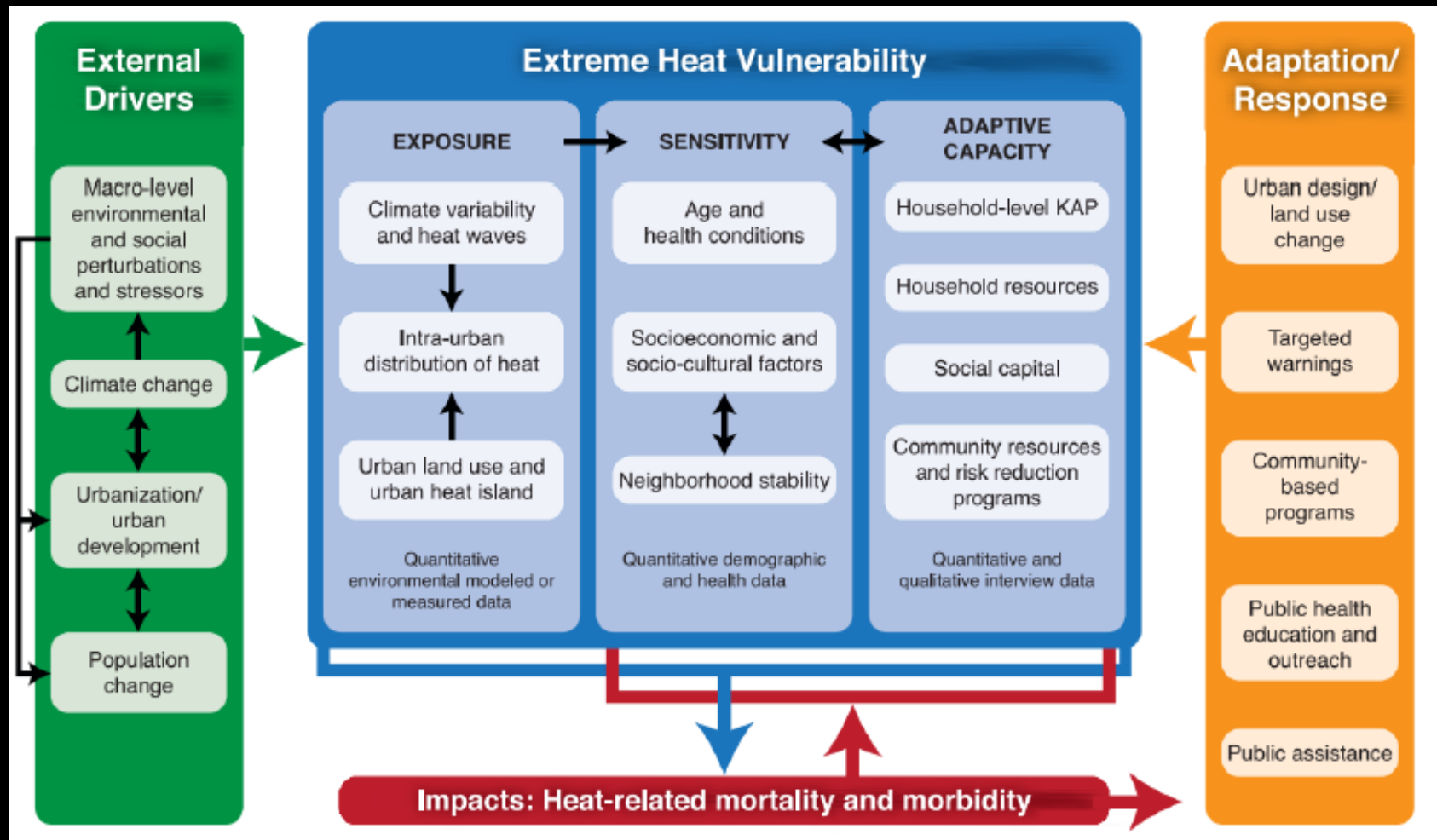
# VULNERABILITA' AI CAMBIAMENTI CLIMATICI – Casi di studio



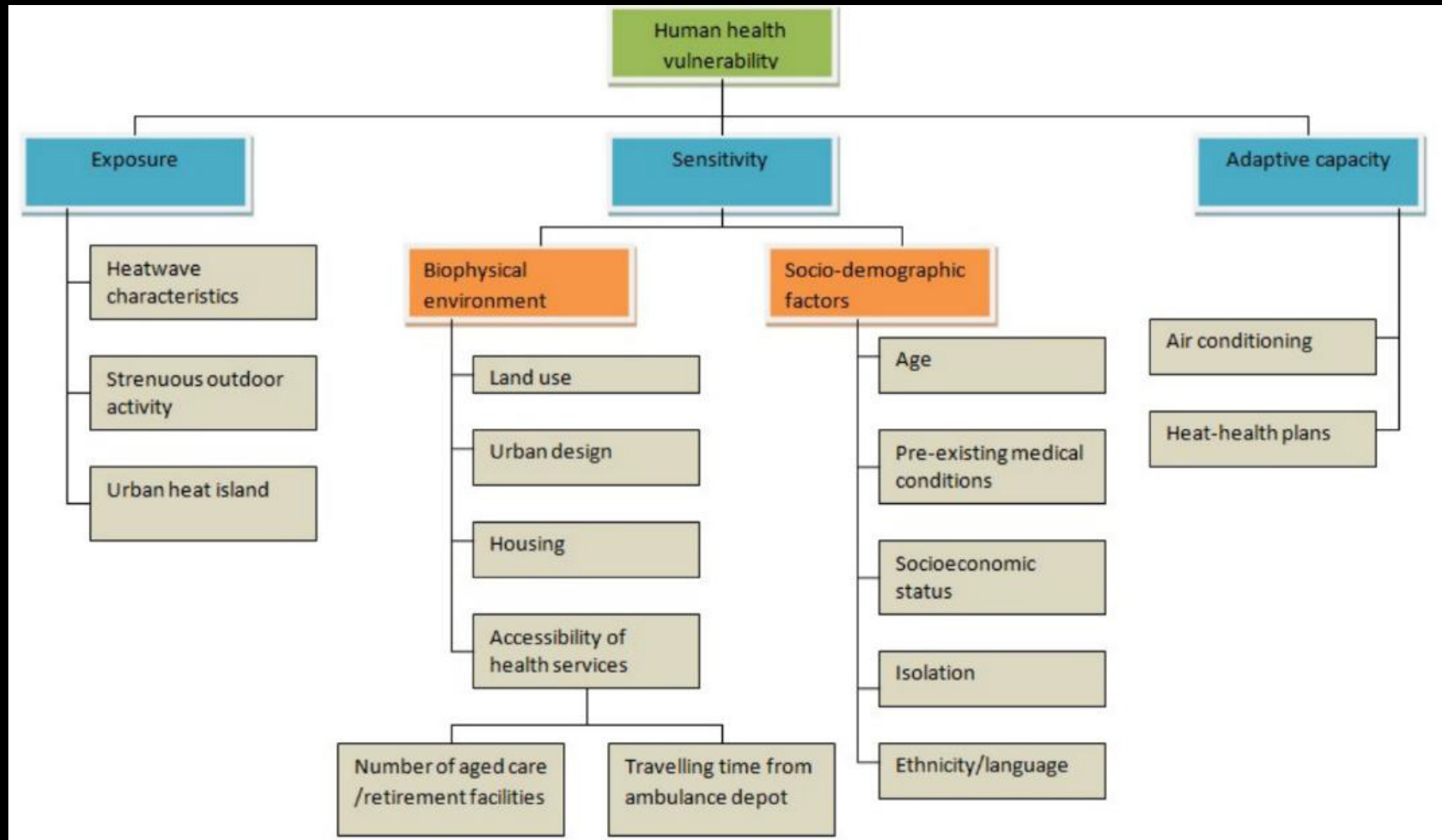
# HEAT VULNERABILITY FRAMEWORK



# HEAT VULNERABILITY FRAMEWORK



# HEAT VULNERABILITY FRAMEWORK





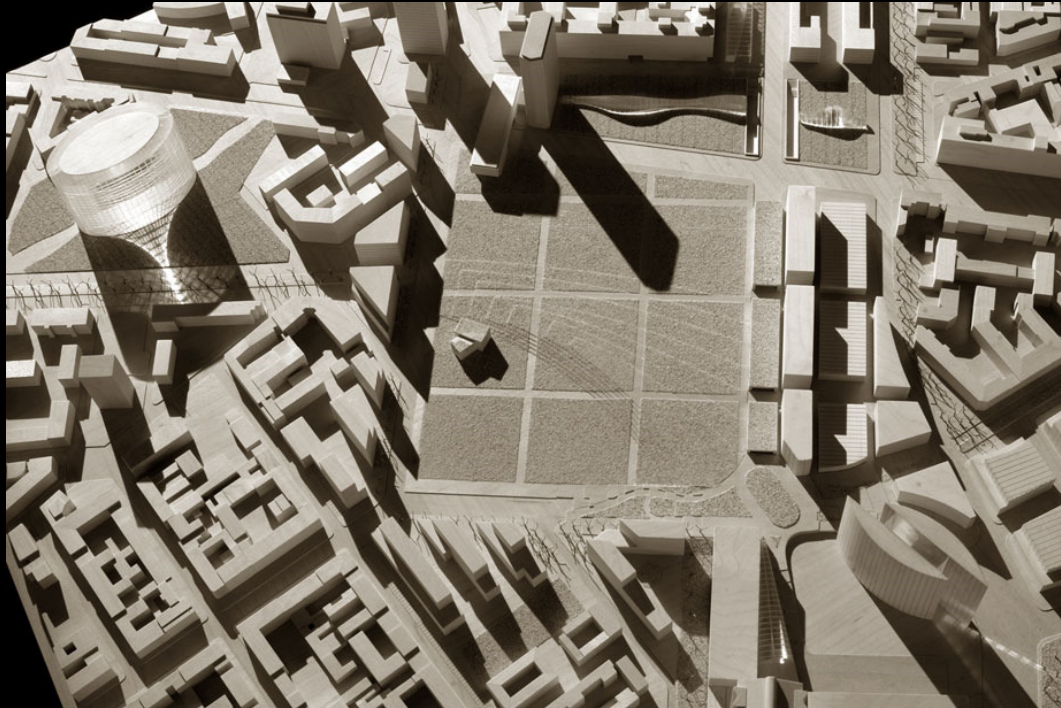


**I fenomeni meteo-climatici che producono fenomeni di impatto sulle città ed in particolare sulle popolazioni urbane, così come la struttura stessa del sistema urbano possa influenzare il clima e la meteorologia a livello locale. Infatti, se da un lato i sistemi atmosferici a larga scala spaziale così 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.**

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



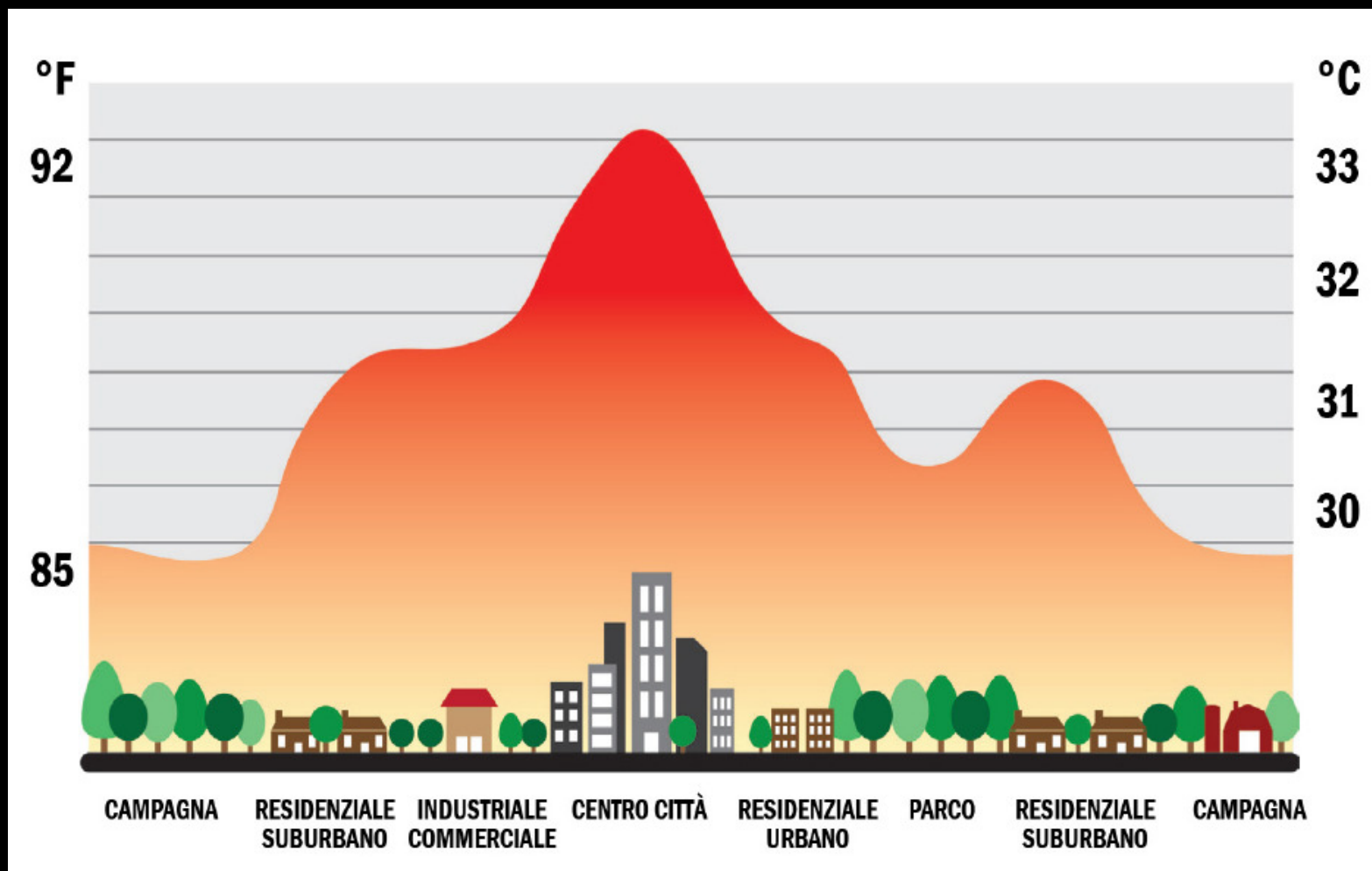
**Lo studio delle relazioni che regolano il rapporto fra clima e città ha origine antiche ed il primo lavoro sistematico è dovuto a Luke Howard (1772-1864) che nel 1833 pubblicò "The climate of London" che, di fatto, segna la nascita della climatologia urbana come scienza applicata.**



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.

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

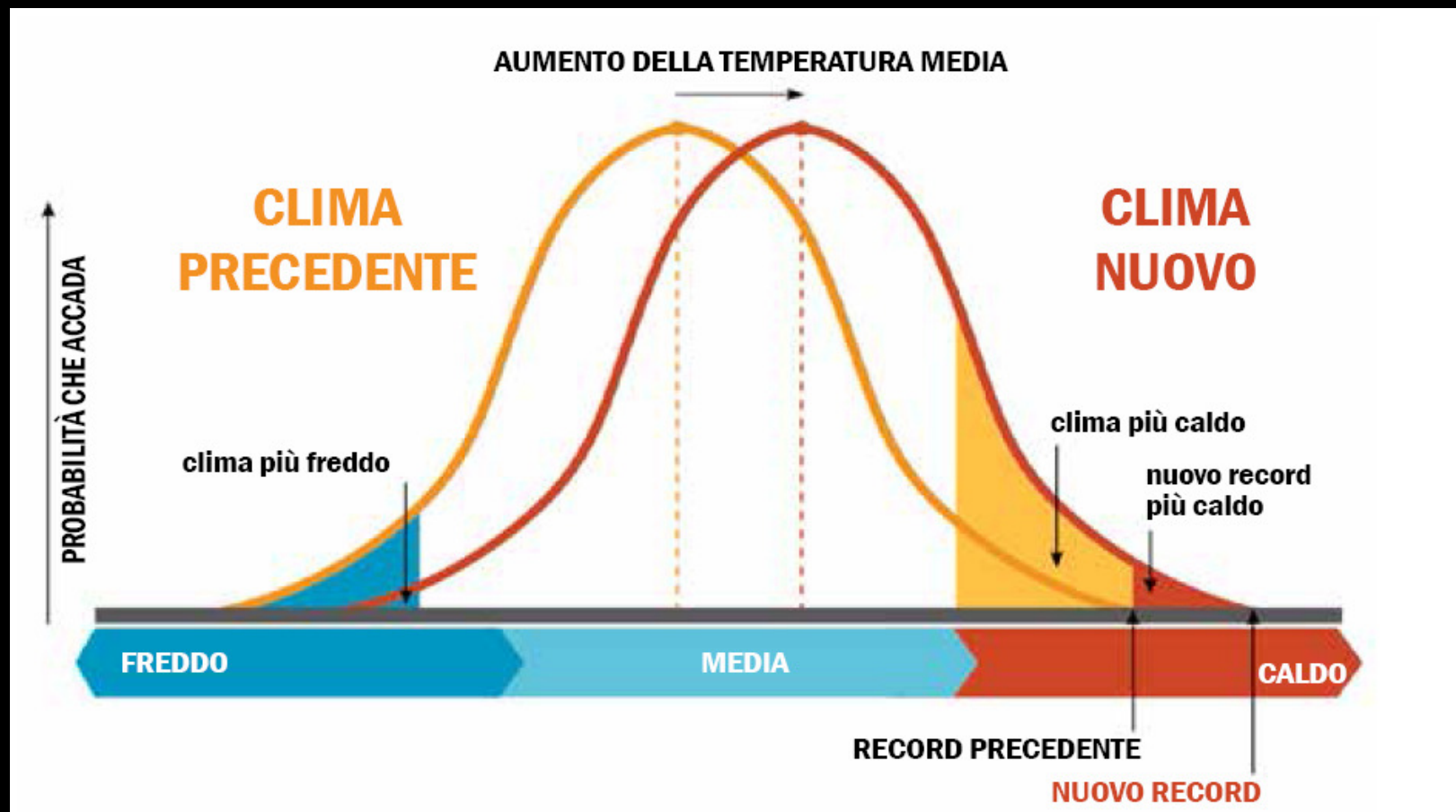




**Rappresentazione grafica dell'isola di calore urbano.**

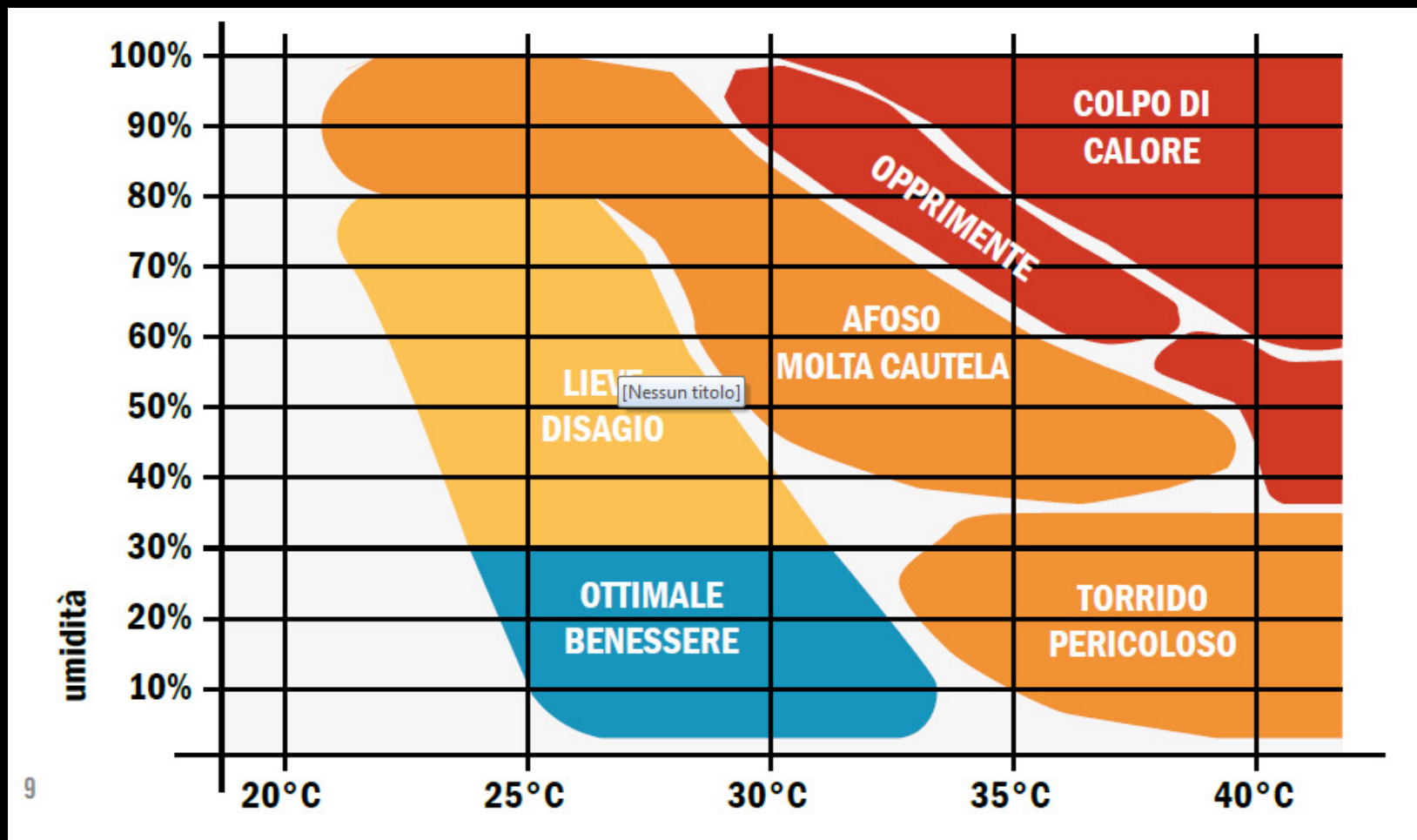
"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"





Andamento decade delle onde di calore e grafico che sintetizza l'aumento delle temperature

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



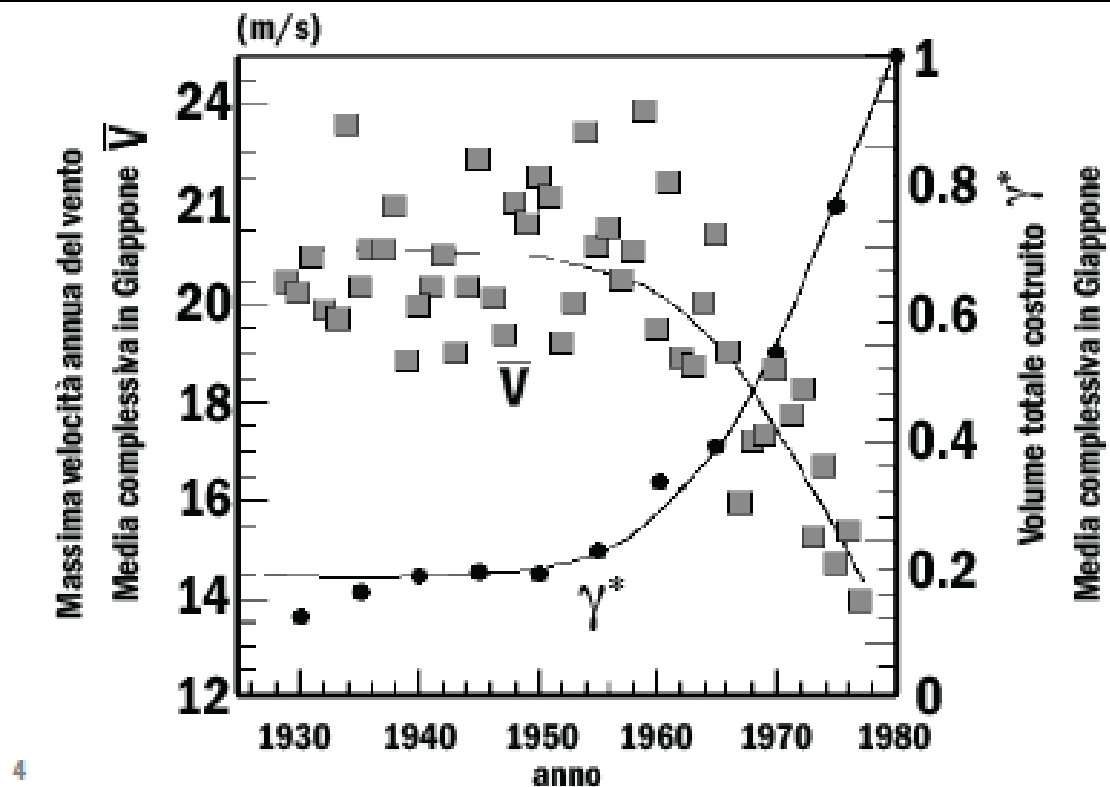
9

### Classi di comfort

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

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.

Evoluzione delle relazioni tra la velocità del vento e il volume totale del costruito in Giappone.



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

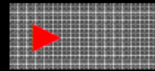
## Mutamenti climatici rilevanti per le città

- ▶ **Aumento delle temperature, ondate di caldo**
- ▶ **Diminuzione delle precipitazioni, scarsità di approvvigionamento idrico**
- ▶ **Aumento rischio di incendi**
- ▶ **Aumento della intensità delle precipitazioni e della frequenza di eventi estremi**
- ▶ **Incremento del livello del mare, anche in corrispondenza di tempeste**

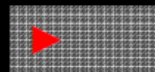
"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



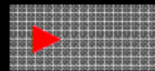
## **Perché le città sono vulnerabili? (Etc/Acc 2010)**



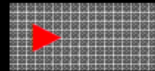
**L'asfalto, il cemento e le altre superfici artificiali assorbono le radiazioni solari e producono *isole di calore***



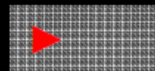
**Le ondate di calore incrementano la domanda di energia e acqua**



**Le superfici impermeabili sovraccaricano le reti drenanti durante le piogge intense; aumenta la franosità**



**I corpi idrici presentano comportamenti non rispondenti ai modelli idraulici fondati su dati storici**



**Le aree verdi della città sono stressate dalla alta frequentazione e dalle siccità**

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

## Perché le città sono vulnerabili? (Etc/Acc 2010)

- ▶ **Eventi estremi possono interrompere il flusso di energia, acqua e beni di consumo nelle città**
- ▶ **La crescita urbana, soprattutto nella forma dello sprawl, può interessare aree inondabili**
- ▶ **La concentrazione di popolazione rende più pericolose le nuove patologie**
- ▶ **Le fasce deboli (immigrati recenti, poveri, anziani) sono intrinsecamente più esposte agli effetti negativi**

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

# Cunei verdi: Berlino

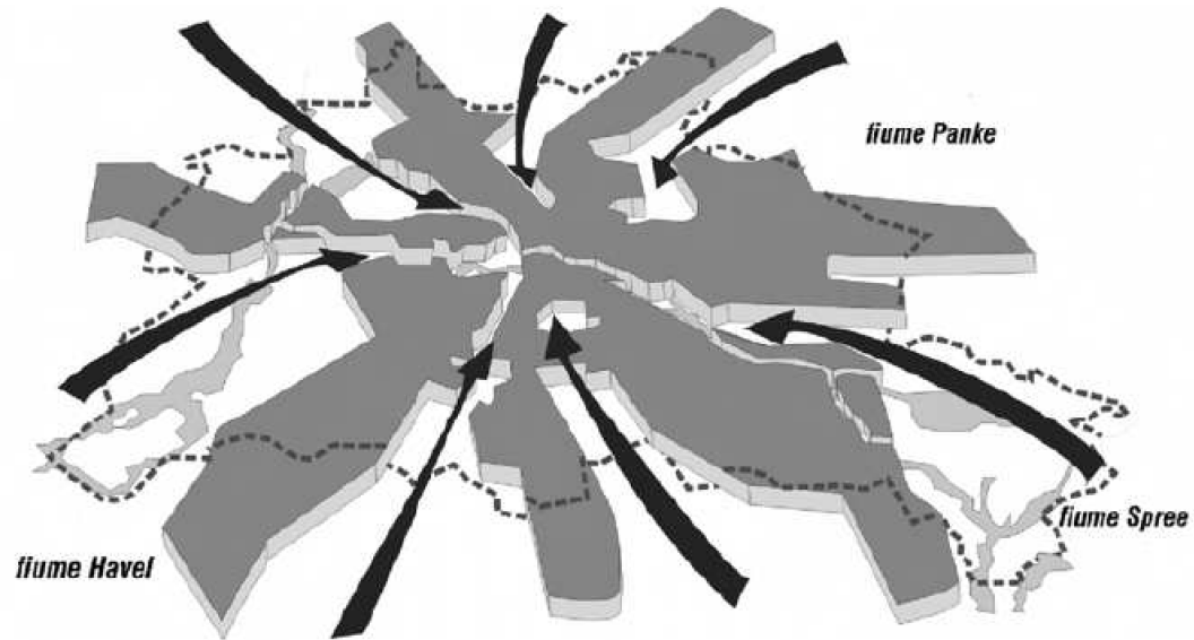


Fig. 16.3 – Risvolti positivi dei "cunei verdi" sulla ventilazione della città. Fonte: Acea, Metropolitan areas and rivers, 1996.

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

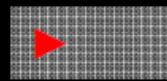


## Redigere un Piano di adattamento in ambito urbano comporta aumentare le conoscenze e tradurle in politiche ed azioni

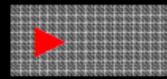
- ▶ Definire le caratteristiche dei mutamenti alla scala urbana (downscaling dei modelli climatici)
- ▶ Stimare gli effetti che tali mutamenti indurranno sulla popolazione, sugli insediamenti, sulle infrastrutture, sulla biodiversità, ecc (risk assessment)
- ▶ Articolare politiche per le differenti parti della città (recommendation map) e organizzarle in modo coerente (Climate Plan)

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

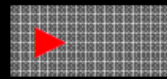
**Il Piano di adattamento urbano assicura il coordinamento delle politiche e delle azioni di governo tese ad arginare gli effetti negativi dei mutamenti climatici; per svolgere il suo compito deve tuttavia presentare alcune caratteristiche;**



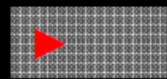
**Interscalarità**



**Trasversalità**



**Condivisione sociale**



**Operatività mirata**

"Effetti del cambiamento  
climatico in ambito urbano"

## **Interscalarità; influire sui diversi livelli decisionali**

**(simulazione estratta dal Documento Tecnico Pluriennale presentato il giorno 13 dicembre 2011, presso l'Aeroporto di Fiumicino, da ADR)**



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"





**Interscalarità; influire sui  
singoli investimenti  
pubblici e privati**

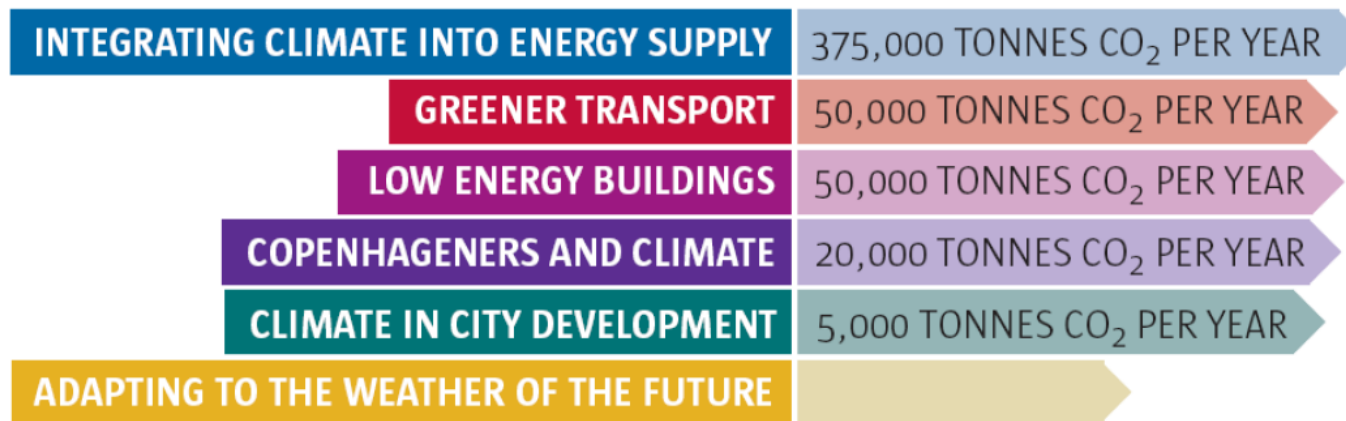
"Effetti del cambiamento  
climatico in ambito urbano"

**Trasversalità; proporre una strategia di adattamento che operi in campi diversi creando sinergie positive**



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

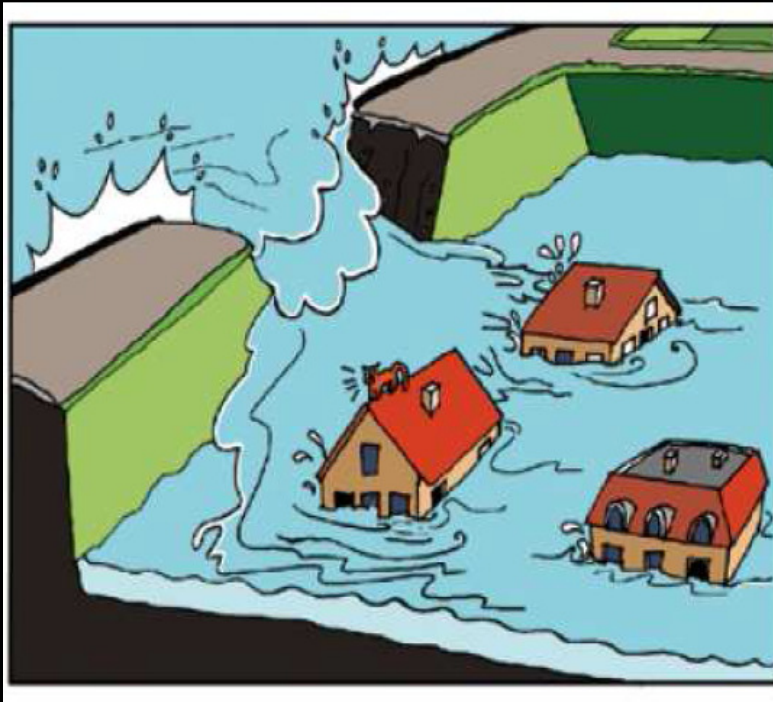
## I campi di azione del Climate Plan di Copenhagen



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



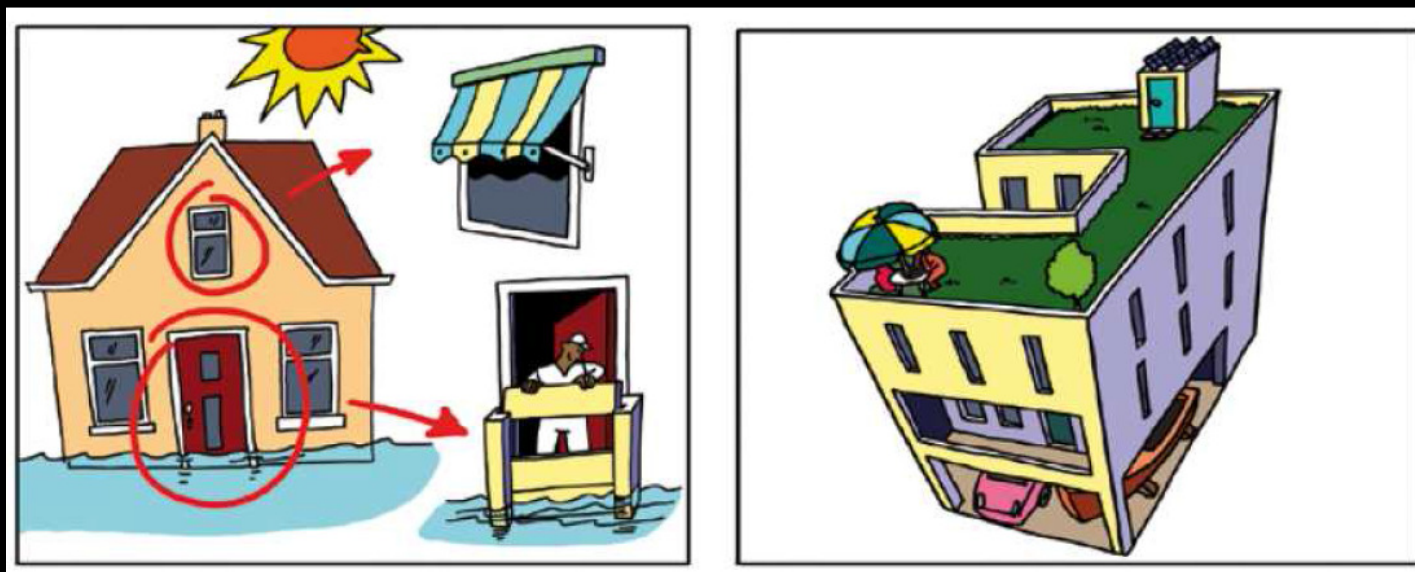
**Condivisione sociale; esplicitare le ragioni delle scelte che coinvolgono i cittadini**



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



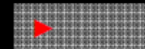


**Condivisione sociale; esplicitare le ragioni delle scelte che coinvolgono i cittadini**



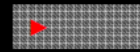
"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

## **Operatività mirata: proporre politiche ed azioni concrete e fattibili**

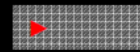
-  **Privilegiare le strategie “no regret” che comportino benefici anche indipendentemente dal Climate Change: tutela dai rischi, riduzione consumo del suolo, miglioramento qualità energetica edifici, trasporti pubblici**
-  **Favorire le strategie reversibili rispetto a quelle irreversibili (contenere artificializzazioni e crescita della città)**
-  **Investire in interventi che, con costi limitati, incrementino i margini di sicurezza (reti drenanti)**

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

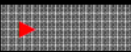
## **Operatività mirata: proporre politiche ed azioni concrete e fattibili**



**Privilegiare investimenti con tempi di ritorno brevi (qualità edifici in zone soggette ad uragani, forestazioni a crescita veloce)**



**Privilegiare gli adattamenti “soft” (finanziari e istituzionali) rispetto a quelli “hard”: efficienza dell’allerta vs grandi opere di difesa arginale sensibilizzazione alla riduzione dei consumi, alla gestione dei rifiuti, etc.**



**Considerare i possibili conflitti tra strategie diverse: costruzione di difese spondali e tutela della biodiversità, costi energetici e ricorso a dissalatori**

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"

# Processo di adattamento



"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"



# Riferimenti bibliografici

## Cambiamenti climatici ed eventi meteorologici estremi

- UNFCCC (1992): *United Nations Framework Convention on Climate Change*, FCCC/INFORMAL/84, UNFCCC Secretariat, Bonn, Germany, 24 pp.
- WMO (2004): *Establish guidelines for implementation of a demonstration project of severe weather forecasting. A definition of severe weather*, Workshop On Severe and Extreme Events Forecasting, Tolosa, 26-29 Ottobre 2004.
- UNEP (2005): *Vital Climate Change Graphics*, GRID-Arendal, United Nations Environment Programme.
- Giorgi, F. (2006): *Climate change hot-spots*, in: *Geophysical Research Letters*, 33.
- Greco, D., Biggeri, A. et al. (2006): *Linee guida per preparare piani di sorveglianza e risposta verso gli effetti sulla salute di ondate di calore anomalo*, Direzione Generale Prevenzione Sanitaria del Ministero della Salute, Centro Nazionale Prevenzione e Controllo Malattie, Roma.
- US EPA (2006): *Excessive Heat Events Guidebook*, EPA 430-B-06-005. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- IPCC (2012): *Climate Change: New Dimensions in Disaster Risk, Exposure, Vulnerability, and Resilience*, in: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, a Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA.
- Alessandri, A. et al. (2014): *Robust assessment of the expansion and retreat of Mediterranean climate in the 21st century*, in: *Nature Scientific Reports*, 4:7211.
- Castellari S., Venturini S. et al. (2014): *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.
- IPCC (2014a): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (1132 pp.).
- IPCC (2014b): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- C40 (2015): *City Climate Hazard Taxonomy, C40's classification of city-specific climate hazards*, C40 Cities, Bloomberg Philanthropies, ARUP.
- Pescaroli, G. (2015): *A definition of cascading disasters and cascading effects: Going beyond the "toppling dominos" metaphor*, in: *Planet@Risk*, 2(3): 58-67.

## Sitografia

- LIMES (2007): *Il clima dell'energia*, <http://temi.repubblica.it/limes/il-tempo-che-fara>
- AMS (2012): *Glossary of Meteorology-Heavy rain*, [http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heavy\\_rains](http://glossary.ametsoc.org/wiki/Heavy_rains)
- WMO-SWIC (2015): *Heavy Rain/Snow*, <http://severe.worldweather.org/rain/b1/index.html>

## Cambiamenti climatici in ambiente urbano

- Oke, T. R. (1982): *The energetic basis of the urban heat island*, in: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 108: 1-24.
- Oke, T. R. (1987): *Boundary Layer Climates*, 2 ed., Routledge, New York.
- Oke, T. R. (1995): *The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects*, in: *Wind Climate in Cities*, a cura di Cermak J.E. et al., Kluwer Academic Publishers (pp. 81-107).
- Getter, K. L. e Rowe, D. B. (2006): *The Role of Extension Green Roofs in Sustainable Development*, in: *HortScience*, 41(5): 1276-1285.
- Nott, J. (2006): *Extreme events: a physical reconstruction and risk assessment*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Voogt, J. A. (2006): *How researchers measure Urban Heat Islands*, 2006.
- Gartland, L. (2008): *Heat Islands. Understanding and mitigating heat in urban areas*, Earthscan, Londra
- Falconer, R. (2009): *EWA Expert Meeting on Pluvial Flooding in Europe. Final Report*, European Water Association, Bruxelles.
- Houston, D. et al. (2011): *Pluvial (rain-related) flooding in urban areas: the invisible hazard*, Project Report, Joseph Rowntree Foundation, Bristol (<https://www.jrf.org.uk/report/pluvial-rain-related-flooding-urban-areas-invisible-hazard>).
- Lardet, P. et al. (2011): *ISIS FAST for national and catchment scale pluvial flood modelling – Application to national pluvial flood mapping for Scotland*, Halorow.

"Effetti del cambiamento climatico in ambito urbano"