

CLIMA CHE CAMBIA

uno sguardo
sulla Toscana



Progettazione e realizzazione:

Federica Zabini
Ramona Magno
Valentina Grasso

Autori

**Consorzio LaMMA, con un
ringraziamento particolare a:**

Giorgio Bartolini
Ramona Magno
Roberto Vallorani
Martina Petralli - CIBIC
Luciano Massetti - Ibimet



Regione Toscana



www.lamma.rete.toscana.it

Introduzione

Il presente lavoro nasce con l'intento di raccogliere e sintetizzare le principali tendenze climatiche in atto in Toscana negli ultimi decenni.

Nella cornice delle variazioni complessive osservate a livello mondiale e nell'Area Mediterranea, riportiamo sia le più importanti variazioni che emergono localmente relativamente ai principali parametri climatici che approfondimenti sull'ambiente urbano e sulla diffusione di patogeni veicolati da insetti non autoctoni. Nella seconda parte, centrata sugli impatti sul territorio dei recenti andamenti climatici, abbiamo esaminato l'evoluzione di diversi indici relativi alle risorse idriche, al suolo e al comportamento degli ecosistemi forestali.

La variabilità e le tendenze climatiche hanno infatti un forte impatto su tutti i sistemi territoriali e sulle attività umane ad essi collegate, anche perchè vanno a sommarsi agli altri fattori di degrado e sfruttamento del territorio (urbanizzazione, inquinamento dei suoli, sovrasfruttamento agricolo, pastorale e delle attività produttive, ecc.).

Il quadro generale

Lo studio del clima

Il clima è stato tradizionalmente studiato da geografi e naturalisti, in quanto alla base della diversificazione dei luoghi e delle caratteristiche socio-culturali dei loro abitanti. Lo studio scientifico delle dinamiche climatiche a livello globale è relativamente recente e solo dopo la seconda guerra mondiale la climatologia è stata ufficialmente riconosciuta come scienza. Così come le altre discipline che si occupano dello studio del Pianeta Terra, la climatologia ha un carattere multidisciplinare, e si sostanzia degli studi di fisica, astrofisica, geologia, chimica, oceanografia, biologia vegetale e molte altre "scienze della Terra".

Il clima è infatti un sistema straordinariamente complesso, fatto degli scambi e delle interazioni tra atmosfera, oceani, criosfera (ghiacciai), biosfera (flora, fauna, organismi viventi), litosfera (suolo, sedimenti, rocce). A complicare ulteriormente la situazione c'è il fatto che le dinamiche climatiche vanno studiate su scale spaziali e temporali molto ampie.

Infine, il comportamento della "macchina climatica terrestre" è legato anche a fenomeni che avvengono al di fuori della Terra, attività solare in primis, e da cui dipende la quantità di energia che arriva sul pianeta.

Cambiamenti climatici: definizione

Per cambiamenti climatici si intendono i cambiamenti nei valori medi e nelle variabilità delle principali caratteristiche di stato del clima che persistono nel tempo per un periodo sufficientemente prolungato, tipicamente superiore a qualche decade (IPCC, Fourth Assessment Report, 2007).

Il termine cambiamento climatico indica, pertanto, uno scostamento della variabilità meteorologica nei suoi aspetti di persistenza e quindi di frequenza dalla normale fluttuazione climatica, intesa come distribuzione degli eventi storicamente osservati tramite misure dirette ed indirette.

Principali segnali globali



Temperature e “riscaldamento globale”

Il segnale più importante che emerge dalle osservazioni a livello globale delle variazioni climatiche in atto è la crescita delle temperature. Per questo per molto tempo si è utilizzato il termine riscaldamento globale come sinonimo di cambiamento del clima. Negli ultimi anni si preferisce invece parlare di cambiamento climatico, facendo risaltare il fatto che il riscaldamento è un effetto che si è manifestato in modo evidente in molte ma non in tutte le zone del Pianeta e che, in generale, il cambiamento del clima assume caratteristiche diverse nelle varie regioni.

La **velocità di aumento della temperatura è quasi raddoppiata negli ultimi 50 anni rispetto al secolo**. Il pianeta sta sperimentando il periodo più caldo degli ultimi 130 anni (WMO, 2011).

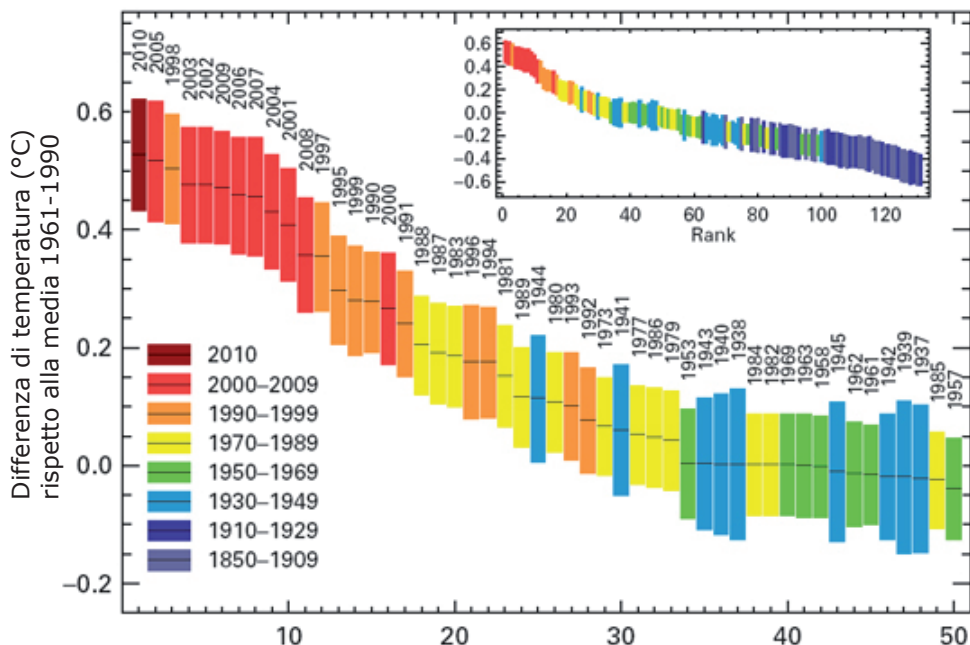


Fig. 1 - Classifica dei 50 anni più caldi a partire dal 1880 rispetto alla media del periodo di riferimento 1961-1990 (Fonte: Met Office Hadley Centre, UK, and Climatic Research Unit, University of East Anglia, United Kingdom).



Se consideriamo il mondo nella sua globalità, 9 dei 10 anni che detengono il record delle temperature più alte si concentrano nel decennio appena trascorso, con il 2010 che si è rivelato, assieme al 2005, in assoluto l'anno con l'anomalia termica più alta (+0.62 °C) rispetto alla media del periodo 1901-2000 (NOAA-NCDC).

Precipitazioni

I cambiamenti relativi ai parametri di temperatura influenzano anche i regimi precipitativi.

Per le precipitazioni, però, data la loro elevata variabilità spaziale e temporale, non si può individuare un trend univoco e statisticamente significativo nell'arco dell'ultimo secolo, come per le temperature. A livello regionale, tuttavia, le precipitazioni hanno subito un **generale aumento alle latitudini maggiori ed una diminuzione nella fascia tropicale**. Ulteriori cambiamenti si possono osservare, per quanto riguarda le piogge, nell'**aumento dei fenomeni precipitativi intensi e degli episodi siccitosi**. In effetti la variazione nelle occorrenze e nell'intensità dei cosiddetti eventi estremi è una delle caratteristiche del cambiamento climatico.

Basti ricordare alcuni fra gli episodi più significativi e recenti ed i conseguenti impatti:

- la prolungata ondata di calore che ha colpito la Russia nell'estate del 2010, la più calda degli ultimi 1000 anni (secondo il servizio meteorologico russo), ha avuto conseguenze anche sulle riserve idriche e favorito l'innescarsi di estesi incendi, nonché portato alla perdita di milioni di tonnellate di grano;

- la devastante siccità nel Corno d’Africa a cavallo del 2010-2011, che ha portato ad una crisi alimentare di vaste proporzioni, attualmente la più grave del pianeta;
- la persistente siccità negli Stati Uniti che ha cominciato a prendere piede nel sud-est del Paese fin dall’inverno del 2010 per poi “stabilizzarsi” nell’area centro-meridionale (in particolare sul Texas) a partire da Marzo 2011 fino a fine estate ed oltre, con Agosto indicato come il secondo più caldo in assoluto e Luglio il picco siccitoso per estensione (ha coinvolto il 12% degli Stati).

Eventi estremi e modifiche nella circolazione atmosferica

Le caratteristiche termiche e idrometriche dell’atmosfera sono fondamentali nel determinare la circolazione generale, ovvero gli spostamenti delle masse d’aria a scala planetaria.

Negli ultimi decenni, le verifiche empiriche sembrano indicare che le **modifiche registrate nella temperatura superficiale del mare (SST)** e nella **temperatura dell’aria** siano alla base di importanti variazioni in questi meccanismi.

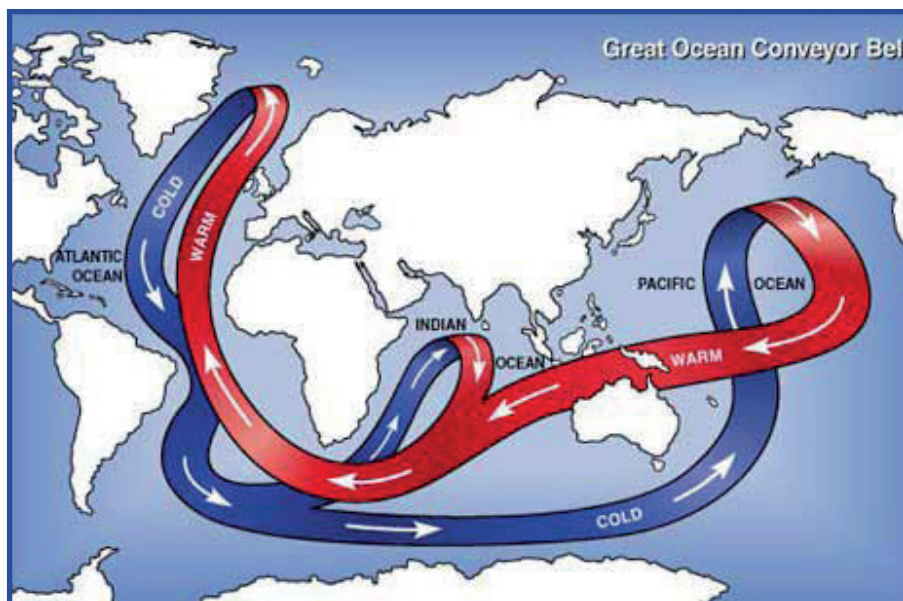
Più in generale, analizzando le maggiori anomalie verificatesi sul pianeta a partire dagli anni ‘90, emerge che molti degli eventi estremi rilevati con crescente frequenza trovano una spiegazione plausibile nelle modifiche della circolazione generale.

I cambiamenti nella circolazione di Hadley si riflettono sulla distribuzione dei centri di alta e bassa pressione, con effetti rilevanti sul Nord Atlantico e sui valori dell’indice NAO (Nord Atlantic Oscillation), calcolato come differenza di pressione fra il Mar d’Islanda e le Azorre. Valori positivi di questo indice causano un indebolimento delle correnti umide occidentali che provengono dall’Atlantico e si dirigono verso il Mediterraneo Occidentale. In questa situazione le perturbazioni atlantiche si spostano verso Nord provocando precipitazioni prolungate ed intense sull’Europa settentrionale e siccità nelle zone meridionali europee. Viceversa, valori negativi dell’indice sono associati a tempo umido sul Sud Europa e secco al Nord.

Le fluttuazioni interannuali dell’indice NAO sono alla base delle variazioni di precipitazione nel continente Europeo dove si sono riscontrati incrementi delle precipitazioni nel Nord e contrazioni nel bacino del Mediterraneo (circa 15% in meno).

Una delle conseguenze del deficit idrico è la diminuzione degli apporti fluviali verso il mare, oltre alle modifiche nella salinità e nella concentrazione dei nutrienti.

La variazione nelle temperature riguarda anche il mare ed in effetti nel Mediterraneo la temperatura superficiale del mare negli ultimi 30 anni indica un aumento di gran lunga superiore a quello registrato negli oceani globalmente (0.7 °C contro 0.3 °C) (ISAC, 2009). Inoltre, l'estate del 2009 ha mostrato anomalie consistenti nel periodo giugno-agosto con 1°C sopra la media in tutto il Mediterraneo



Science.nasa.gov



Andamento in Italia

Il riscaldamento globale non si traduce in un aumento omogeneo della temperatura in tutto il pianeta poiché alcune regioni possono presentare variazioni maggiori o minori rispetto alla media, dovute alle caratteristiche locali di orografia e morfologia del territorio, latitudine, esposizione ai venti, vicinanza del mare.

Anche in Italia il riscaldamento è stato intenso: fra i 10 anni record, più della metà sono concentrati nel decennio successivo al 2000 con anomalie superiori al grado centigrado, ben al di sopra dei valori record a livello globale, e con il 2003 anno in assoluto più caldo dell'ultimo secolo.

Temperature

L'aumento di temperatura osservato in Italia (elaborazioni dell'ISAC) è **paragonabile a quello registrato su scala europea** ed è mediamente nell'ordine di **+ 0.8 °C nel XX secolo** e di **1 °C ± 0.1 nel periodo che va dal 1865 al 2003**.

L'analisi delle serie stagionali ha mostrato differenze significative tra le diverse stagioni. In particolare, il forte riscaldamento che ha caratterizzato gli ultimi decenni è **evidente in primavera e in estate**, ma non in autunno e in inverno, stagioni nelle quali il trend è meno rapido.

A livello di estremi, recenti studi¹ hanno individuato, all'interno del periodo 1961-2004, un netto **incremento delle notti tropicali** (cioè con temperature minime superiori a 20°C) e **dei giorni con massime superiori a 25 °C**, entrambi con valori superiori a 10 giorni di aumento, ed una **diminuzione dei giorni con temperature inferiori a 0 °C**. Tali fenomeni sono da attribuire, rispettivamente, ad un riscaldamento del periodo estivo, a variazioni in primavera e/o autunno e ad inverni più miti.

Precipitazioni

Un cambiamento a livello nazionale è stato registrato anche nelle precipitazioni, anche se meno evidente rispetto alle tempe-

¹ Toreti A., Desiato F. 2008. *Changes in temperature extremes over Italy in the last 44 years*, International Journal of Climatology, 28, 733-745.

rature, con un **decremento pari al 5% per secolo**² da imputare per lo più ad una riduzione degli apporti primaverili. Più che i valori annui delle piogge quello che è cambiato è la loro **distribuzione stagionale e l'intensità**, con un aumento dei periodi siccitosi e degli episodi temporaleschi.

L'analisi dell'Istat

Recentemente l'Istat ha presentato un'analisi sull'andamento meteorologico in Italia basata sui dati rilevati da circa 150 stazioni meteorologiche, in collaborazione con il Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura – Unità di Ricerca per la Climatologia e la Meteorologia applicate all'Agricoltura (CRA-CMA1).³

L'analisi ha riguardato il decennio 2000-2009 confrontato con i dati del clima del trentennio 1971-2000 e ha confermato a livello nazionale il trend in aumento delle temperature massime e minime essendo queste, in ciascun anno, superiori alle medie del periodo di riferimento (con la sola eccezione per l'anno 2005 per la minima). Inoltre è da sottolineare l'andamento altalenante delle precipitazioni, con anni di forte siccità a cui fanno da contrappeso anni di precipitazioni lievemente sopra la media.

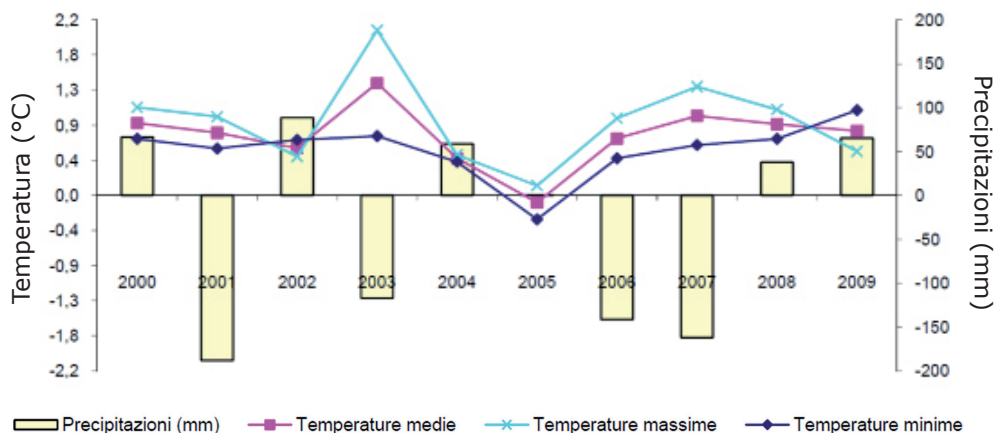


Fig. 3 – Andamento delle temperature massime, minime e medie e delle precipitazioni annuali in Italia nell'ultimo decennio (Fonte: CRA-CMA1)

² Brunetti M. et al. 2006. *Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series*. Int J Climatol 26:345-381.

³ ISTAT, "Andamento meteo-climatico in Italia. Anni 2000-2009", 1 aprile 2010.

“Tipi di tempo”

Il cambiamento nella circolazione generale dell’atmosfera è stato recentemente confermato da un’analisi relativa ai “tipi di tempo” ed alla loro evoluzione temporale.

I tipi di tempo descrivono tutte le configurazioni di circolazione atmosferica che possono presentarsi su una regione ed influiscono fortemente sui principali parametri meteorologici quali temperatura e precipitazione.

Uno studio effettuato da IBIMET-CNR sui dati giornalieri del periodo 1948-2007, ha definito i tipi di tempo più ricorrenti in Italia, la loro frequenza e i trend in atto. I risultati più significativi indicano che a partire dagli anni '70, nel periodo invernale, c'è stata una netta **diminuzione del numero di occorrenze dei tipi di tempo “Ciclonici”**.

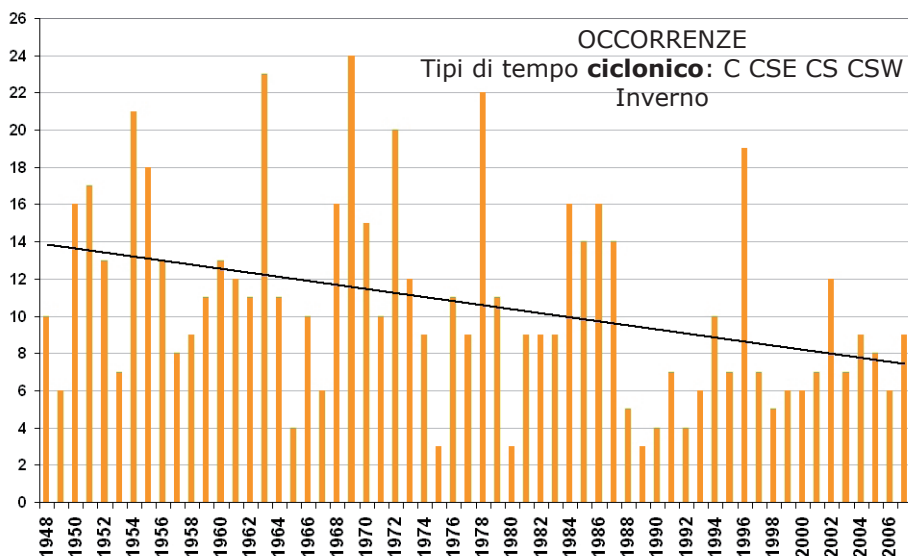
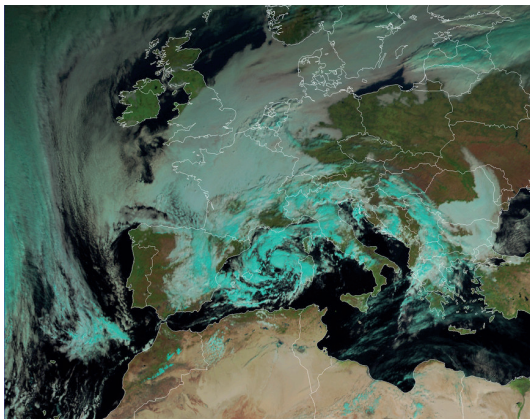


Fig. 4 - Occorrenze del tipo di tempo ciclonico del periodo invernale (IBIMET-CNR).

Come conseguenza, l'abbondante piovosità e le temperature al di sotto della media ad essi associate sembrano aver subito delle variazioni consistenti in minori piogge e temperature leggermente più alte.

Di contro, le occorrenze dei tipi di tempo "Anticiclonici" sono in aumento (Fig. 5) e pertanto sull'Italia centro-occidentale la tendenza è quella di un incremento dei periodi più asciutti e di alta pressione nel semestre più freddo, che portano a condizioni di scarso rimescolamento dell'aria.

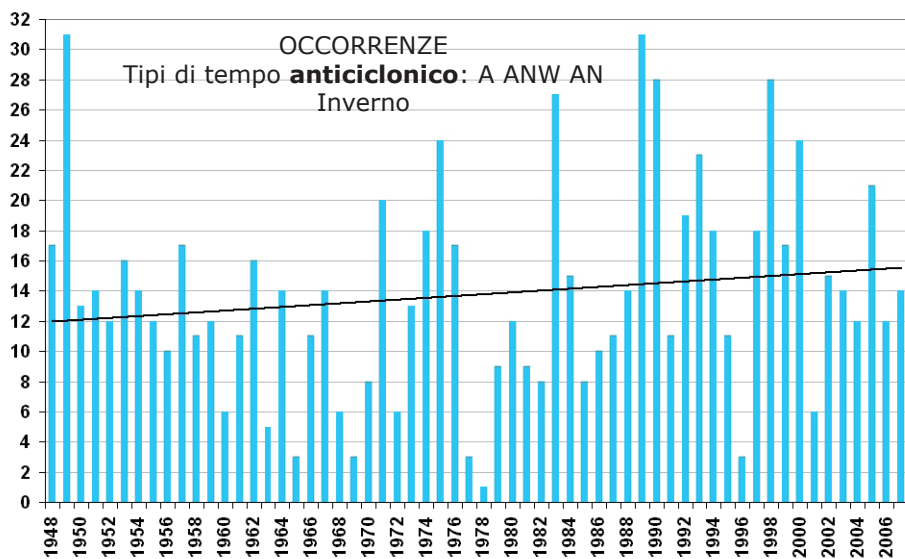
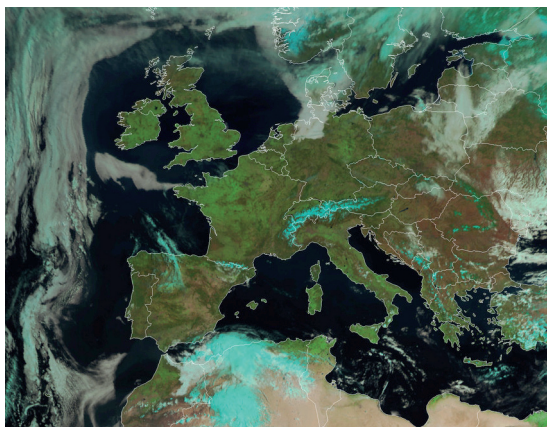


Fig. 5 - Occorrenze del tipo di tempo anticiclonico del periodo invernale (IBIMET-CNR).



Il clima in Toscana

Dal punto di vista climatico la regione, a causa della sua complessa conformazione, può essere suddivisa in due macro aree: l'**alta Toscana** che, con la sua accentuata orografia, protegge i settori meridionali dalle masse di aria fredda provenienti dai Balcani e determina, nel contempo, la concentrazione massima di precipitazioni nel periodo autunno-invernale, e la **Toscana centro-meridionale**, in cui il fattore più rilevante è la vicinanza al mare che mitiga soprattutto le temperature minime. La porzione orientale, inoltre, è caratterizzata dal cosiddetto effetto "valle interna", dove possono verificarsi fenomeni legati all'inversione termica, quali nebbie e gelate. La particolare posizione della Val di Chiana, circondata dai rilievi montuosi, le conferisce, invece, un clima più caldo e poco piovoso rispetto alle altre zone interne. Le aree più meridionali sono contraddistinte da fenomeni di aridità strutturale, dove il ricorso all'irrigazione nelle pratiche agricole è normale.

Anche la Toscana non è esente dal cambiamento climatico, con importanti ripercussioni sui sistemi fisici, chimici, biologici e su alcuni aspetti socio-economici legati alla salute, all'agricoltura, alle foreste, al turismo e alla distribuzione delle risorse.

Dall'analisi dei dati degli ultimi 5-6 decenni dei principali parametri climatici (in particolare temperatura e precipitazione) e di alcuni indici derivati relativi al territorio regionale toscano, si evince un trend che è in linea con quello delineato a livello nazionale e di bacino del Mediterraneo.



Lo studio condotto dall'IBIMET-CNR si basa sui dati termopluviometrici di 22 serie storiche disponibili nel periodo 1955-2007. Un'ulteriore analisi (LaMMA, 2010) ha messo a confronto i dati spazializzati sul territorio regionale della temperatura media annuale relativi agli ultimi 18 anni, vale a dire il periodo 1991-2008, con le mappe del trentennio di riferimento climatologico '61-'90.

Temperatura

+0,85°C negli ultimi 50 anni

Dal 1955 al 2007 in Toscana si è avuto un aumento delle temperature sia minime sia che massime ed una maggiore incidenza di eventi estremi di temperatura.

Negli ultimi 50 anni le temperature massime sono aumentate in media di +0,89°C, le minime hanno avuto un andamento leggermente inferiore, crescendo di +0,81°C.

Cambiamenti degli ultimi 20 anni

Prendendo in considerazione gli ultimi 18 anni (ovvero il periodo 1991-2008) e confrontandoli con il trentennio di riferimento climatologico 1961-1990, emerge un **aumento medio della temperatura annua di +0.5 °C**.

Come mostra la mappa (Fig. 6) un'anomalia di temperatura si è avuta praticamente su tutto il territorio toscano, ad eccezione delle poche zone in azzurro, corrispondenti ai rilievi maggiori centro-meridionali e quelli del Pratomagno, in cui la temperatura media è stata un po' più bassa.

La Garfagnana e la Lunigiana, in giallo-arancio, hanno avuto gli aumenti superiori alla media, arrivando in alcuni casi ad incrementi di addirittura 1°C.

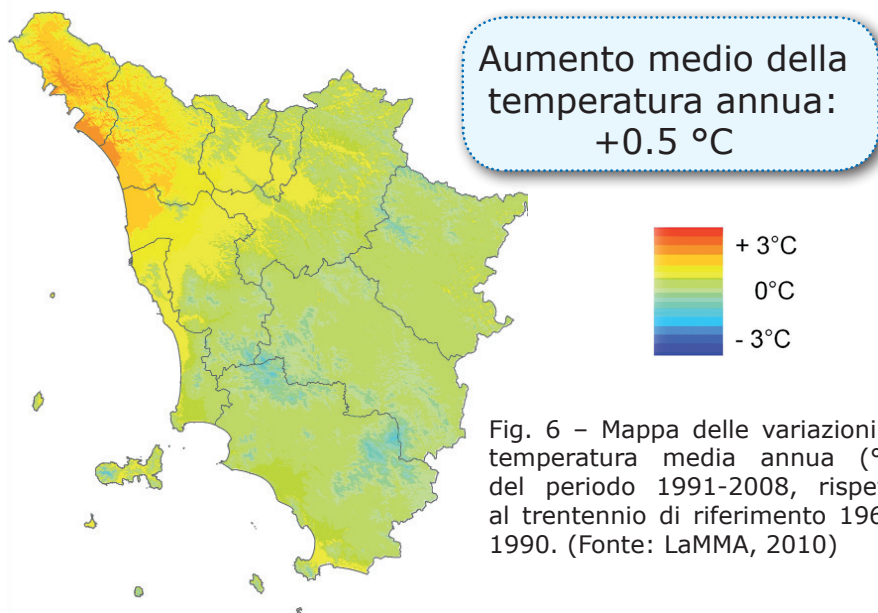


Fig. 6 - Mappa delle variazioni di temperatura media annua (°C) del periodo 1991-2008, rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: LaMMA, 2010)

Cambiamenti per stagione

L'aumento medio annuo della temperatura è stato di $0,5^{\circ}\text{C}$. Considerando le singole stagioni si vede che la tendenza all'aumento delle temperature è evidente in primavera ($+0,6^{\circ}\text{C}$), in estate ($+0,9^{\circ}\text{C}$) e, in maniera più lieve, in inverno ($+0,3^{\circ}\text{C}$), soprattutto a causa del maggior riscaldamento nella parte nord occidentale della regione. In Autunno, invece, non si notano variazioni significative.

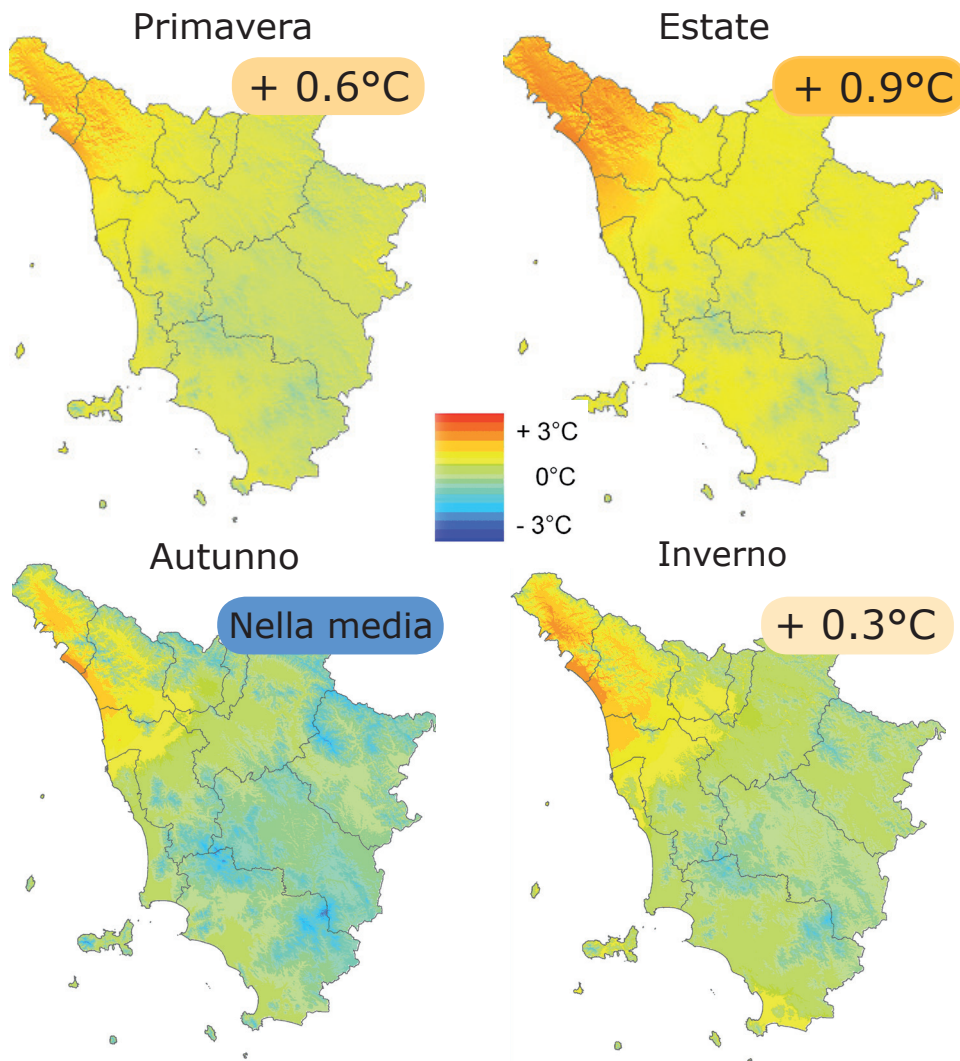


Fig. 7 – Mappe delle variazioni di temperatura media ($^{\circ}\text{C}$) primaverile, estiva, autunnale e invernale del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: LaMMA, 2010)

Precipitazioni

Le precipitazioni nel corso degli ultimi decenni hanno mostrato un trend negativo diffuso, con **valori medi regionali di -12%**.

La mappa mostra le anomalie di pioggia annua del periodo 1991-2008 rispetto al periodo di riferimento '61-'90.

Le differenze maggiori si riscontrano in Garfagnana, nella zona dell'Amiata ed in prossimità delle colline metallifere.

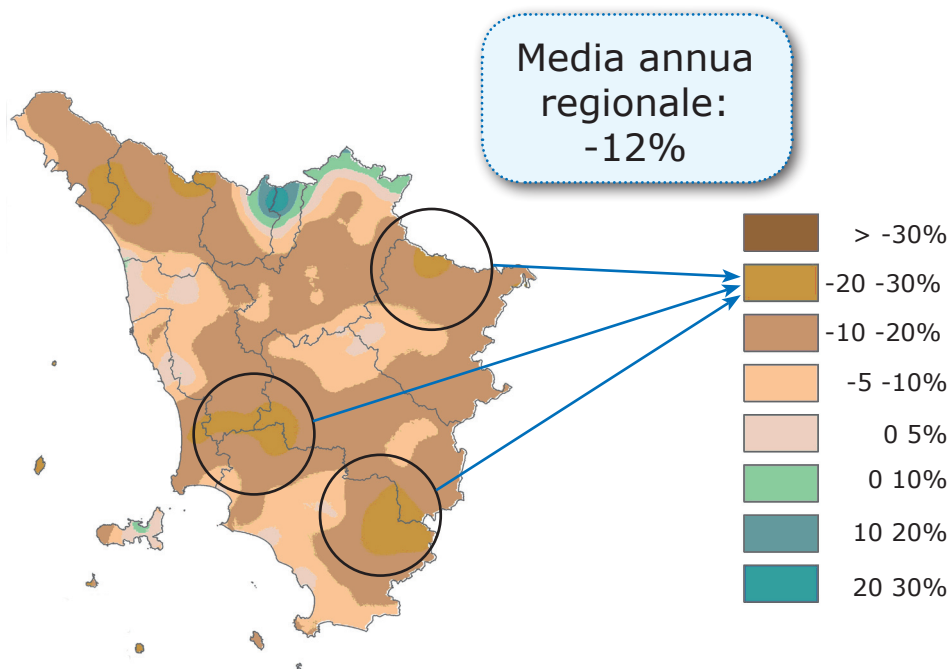


Fig. 8 – Mappa delle anomalie di pioggia annua (mm) del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: LaMMA, 2010)

Cambiamenti per stagione

A livello stagionale le mappe di variazione dei cumulati di pioggia del periodo '91-'08 rispetto al '61-'90 evidenziano una ancor più marcata contrazione dai primi mesi dell'anno fino a fine Estate, con valori che vanno da -16.8% in Primavera, a -20.5% in Estate e addirittura -25.5% in Inverno.

L'Autunno è l'unica stagione in controtendenza che, pur mantenendo delle zone in cui le precipitazioni sono ridotte, registra un incremento medio regionale di +7%, valore che però è insufficiente a compensare le riduzioni del resto dell'anno.

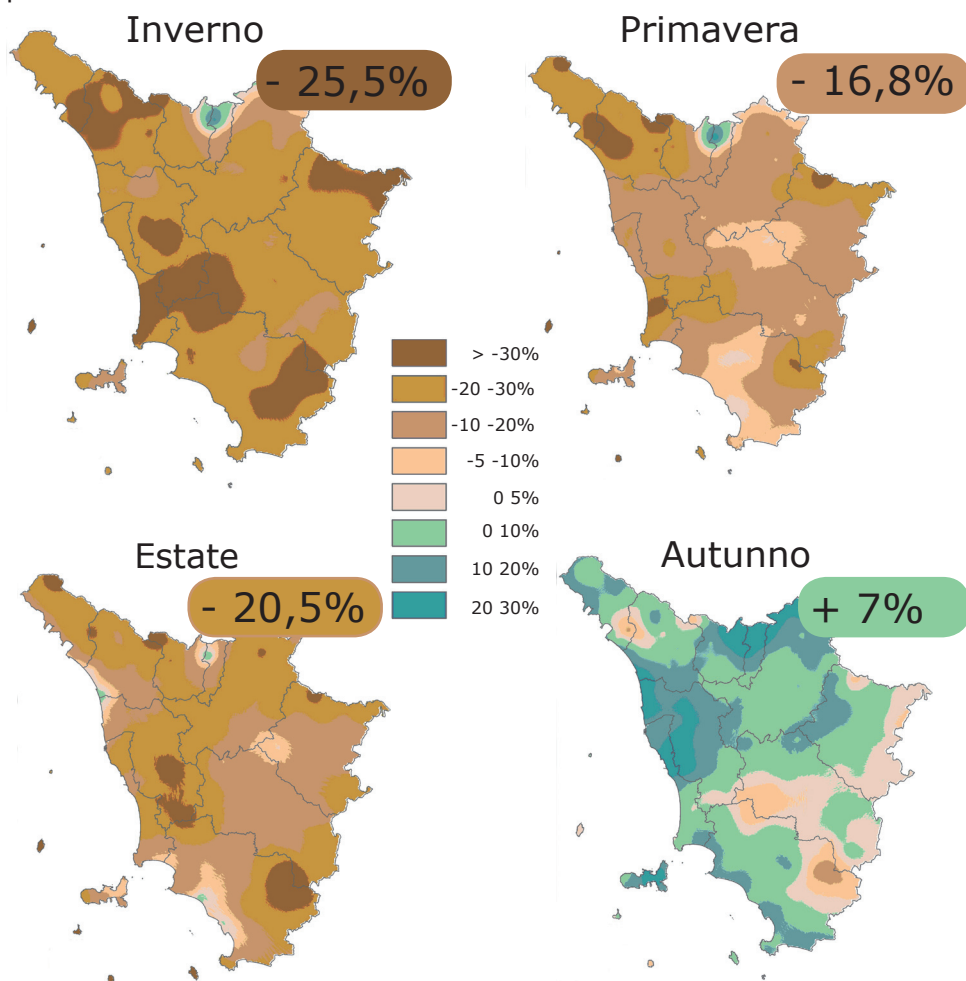


Fig. 9 – Mappe delle anomalie di precipitazione stagionale (mm) del periodo 1991-2008 rispetto al trentennio di riferimento 1961-1990. (Fonte: LaMMA, 2010)

Eventi estremi

L'aumento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi, come inondazioni, uragani, alluvioni, ondate di calore e siccità, è una delle caratteristiche del cambiamento climatico.

Le osservazioni e le analisi climatiche degli ultimi 50 anni evidenziano un incremento dei fenomeni estremi anche in Toscana, dove sono diventati più frequenti sia gli eventi estremi localizzati (Versilia 1996, Isola d'Elba 2002, Carrara 2003, Lunigiana 2011) sia quelli estesi a tutto il territorio regionale (1991-'92-'93).

Anomalie termiche

Così come a livello italiano, anche in Toscana le occorrenze degli eventi estremi di temperatura sono variate con un netto incremento delle massime e minime sopra il 90° percentile (Fig. 10).

Se da un lato ciò può comportare dei benefici per la vegetazione e le colture che hanno a disposizione stagioni di crescita più lunghe, dall'altro può avere degli impatti negativi sulla salute, sia per quanto riguarda il protrarsi dei periodi allergici che l'aumento di malori nelle fasce più sensibili dovute a temperature elevate anche di notte.

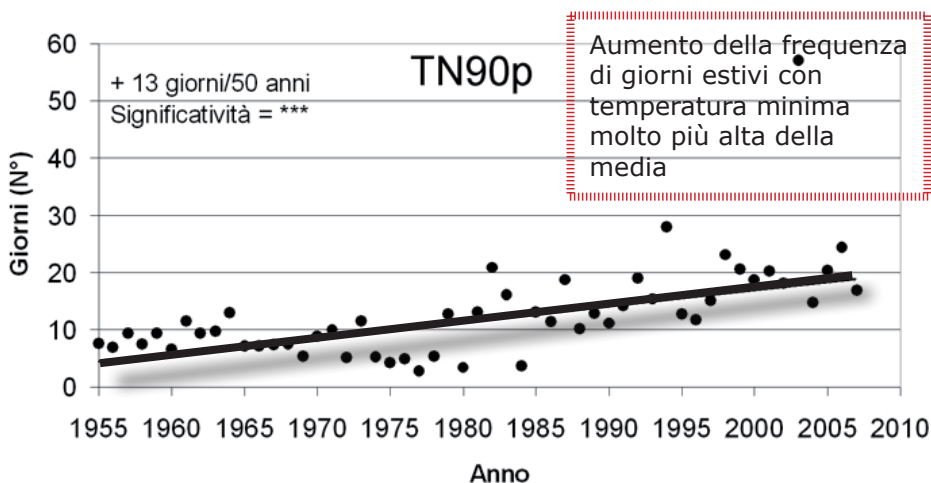


Fig. 10 - Trend degli indici di temperatura estrema.

TN90p = numero di giorni con temperatura minima superiore al 90 percentile (Estate) (Fonte: IBIMET-CNR).

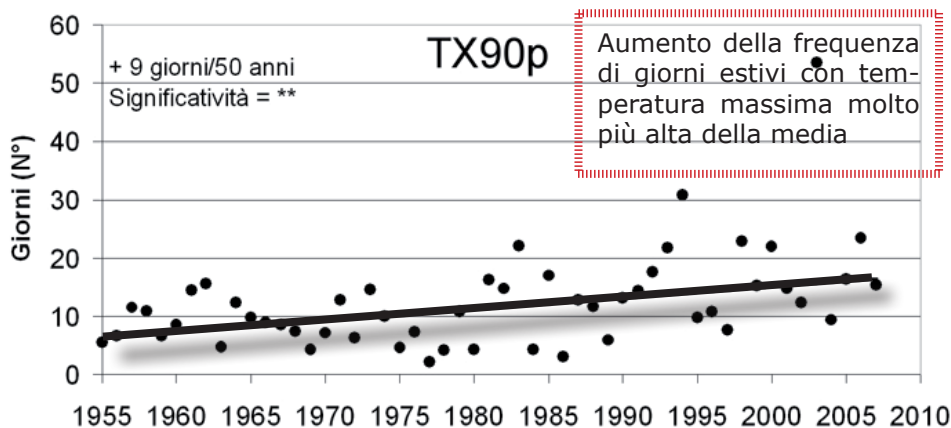


Fig. 11 - Trend degli indici di temperatura estrema. TX90p = numero di giorni con temperatura massima superiore al 90 percentile (Estate). (Fonte: IBIMET-CNR)

Ondate di calore

Le ondate di calore sono calcolate attraverso il WSDI-Warm Spell Duration Index, definito come un periodo di almeno 6 giorni consecutivi in cui la temperatura massima è superiore al 90 percentile rispetto al periodo di riferimento.

Nella Fig. 12 viene evidenziato l'aumento delle ondate di calore.

Le linee nere tratteggiate indicano la media relativa ai due periodi climatici messi a confronto 1955-1980 e 1981-2007.

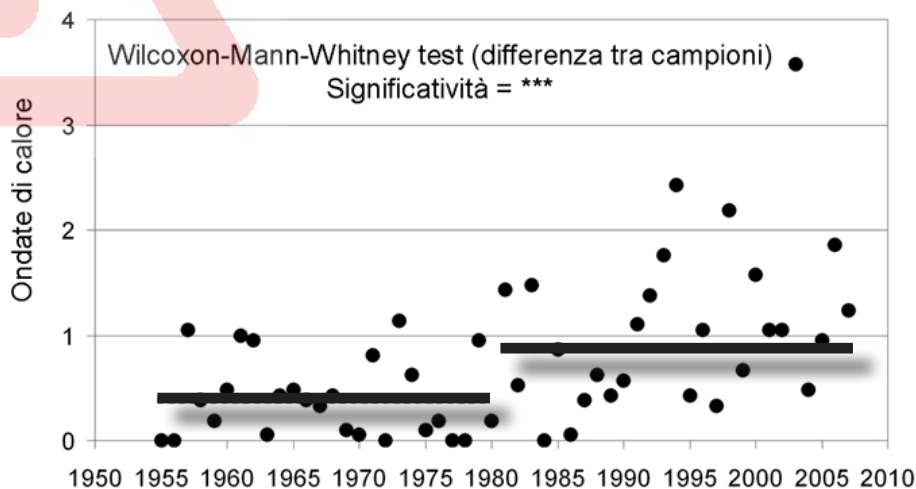


Fig. 12 - Numero di ondate di calore di lunga durata. (Fonte: IBIMET-CNR)

Estate 2011



L'estate 2011 (21 Giugno-22 Settembre) in Toscana è stata nel complesso più calda e più secca della media e caratterizzata da due fasi ben distinte:

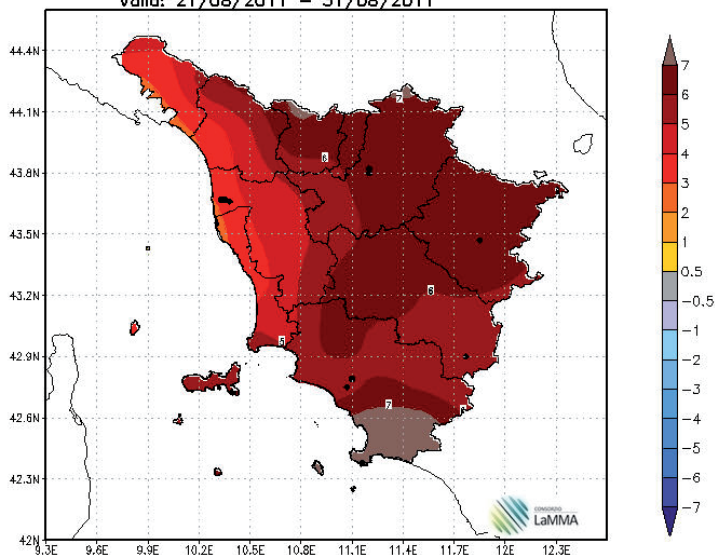
- 1) Una prima fase, **fino a fine luglio**, è stata variabile e ha presentato una alternanza di ondate di calore e incursioni di aria più fresca ma senza nel complesso particolari anomalie.
- 2) Una seconda fase, a partire **dai primi di Agosto** caratterizzata da condizioni di persistente stabilità atmosferica, che hanno favorito temperature decisamente superiori alle medie e pochissime piogge.

TEMPERATURE

Da metà Agosto a metà Settembre numerosi sensori termici regionali hanno registrato temperature massime costantemente superiori alle medie, in particolare nelle zone interne della regione:

- a Sesto Fiorentino dal 17 al 26 agosto non si è mai scesi al di sotto dei 36°C di massima.
- Firenze, Peretola il 21 Agosto ha raggiunto i 40.5 °C: si tratta del valore più alto nella terza decade di Agosto dal 1951 ed è il 6° valore più alto mai registrato in assoluto.

Decadal Maximum Temperature Anomaly [C]
Valid: 21/08/2011 – 31/08/2011



Climatological period: 1960–1990
Station number: 21/28 Interpolation Grid: 0.25 deg

Anomalia termica per le temperature massime registrata in Toscana nel corso dell'ultima decade di Agosto e delle prime due di Settembre 2011.

- Pisa, San Giusto il 22 agosto ha raggiunto i 38.5°C: è il valore più alto mai osservato dal 1951.

- la terza decade di Agosto sarà ricordata come una delle più calde degli ultimi decenni, con anomalie positive di temperatura massima fino a 6-7 °C nelle zone interne e in Maremma.

- anche Settembre è risultato eccezionalmente caldo tanto che a livello nazionale, secondo i dati del gruppo di Climatologia Storica dell'ISAC-CNR, risulta il secondo più caldo mai registrato dal 1800!

In Toscana le temperature sono state ben al di sopra delle medie del periodo, con scarti che hanno spesso superato i 3 °C, fino addirittura a oltre 4 °C (a Carrara).

PRECIPITAZIONI

- molte zone non hanno visto cadere una goccia di pioggia per tutto il mese di Agosto e i pluviometri di Firenze, Arezzo, Pisa e Grosseto non riportano nemmeno una segnalazione di pioggia.

- il mese di Agosto è risultato a livello nazionale l'8° più secco degli ultimi 200 anni (ISAC-CNR).

- Settembre è stato decisamente meno piovoso rispetto alla media climatologica 1961-90, con un deficit di pioggia nell'ordine del 50-75% (ISAC-CNR).

Eventi estremi di pioggia

Nonostante la tendenza delle ultime decadi in Toscana vada verso una diminuzione delle piogge e del numero dei giorni piovosi, ci sono segnali che indicano una tendenza verso un aumento dei fenomeni precipitativi molto intensi che possono avere ripercussioni importanti sul territorio dal punto di vista idrogeologico.

Se il numero complessivo di giorni molto piovosi è diminuito, è aumentata l'intensità delle precipitazioni, e quindi il loro contributo espresso in % sul totale cumulato annuo.

Dall'analisi di alcune serie storiche di precipitazione osservata con cadenza oraria è emersa anche una tendenza verso un aumento dell'intensità media oraria della pioggia.

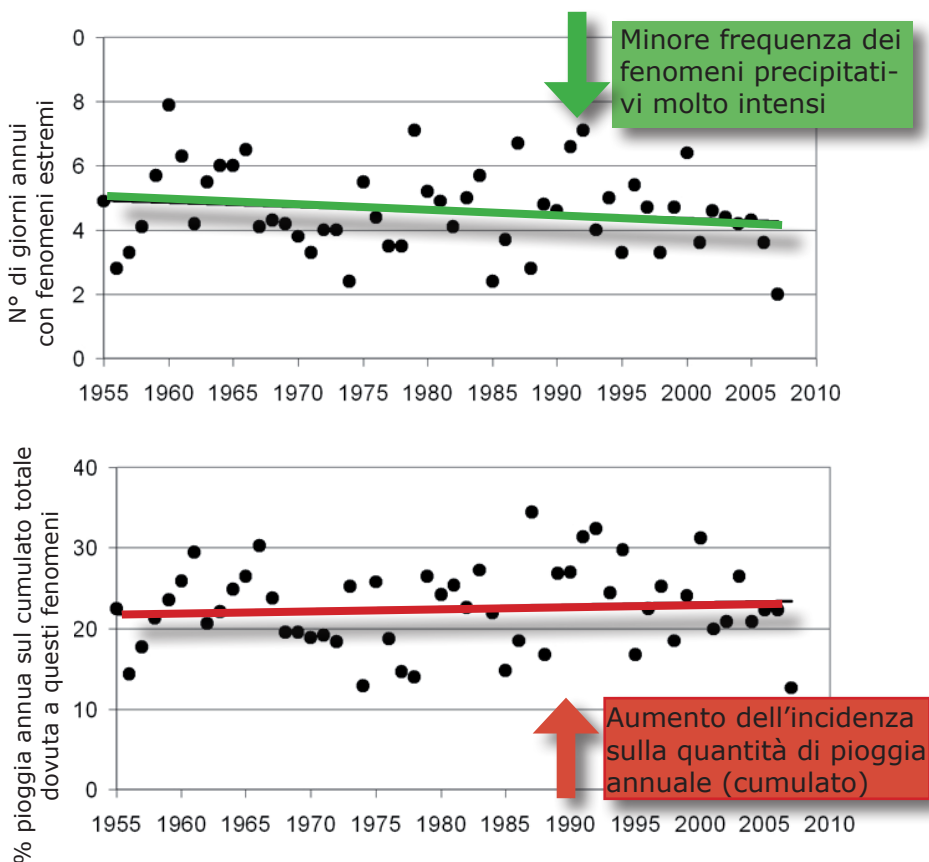


Fig. 13-14 – Numero di giorni con fenomeni estremi e % della pioggia annua sul cumulato totale dovuta a questi fenomeni (Fonte: IBIMET-CNR)

Alluvioni

Nella nostra regione, a partire dagli anni Novanta, la frequenza di precipitazioni a forte intensità è aumentata di ben tre volte.

19 giugno 1996

Alluvione dell'Alta Versilia, oltre 500 millimetri di pioggia in sole 6 ore - circa un terzo di quanta ne cade in media in un intero anno. 13 vittime, 4.000 abitazioni distrutte, 1500 senzatetto.

20 settembre 1999

Grosseto, 55 millimetri di pioggia in 1 ora.

23 settembre 2003

Massa Carrara, intensità fino a 80mm/h, cumulati oltre i 300 mm.

24-25 dicembre 2009

Province di Massa Carrara, Lucca, Pistoia, Prato. Il valore massimo giornaliero di 241,2 mm è stato registrato a Campagrina (LU) il giorno 24.

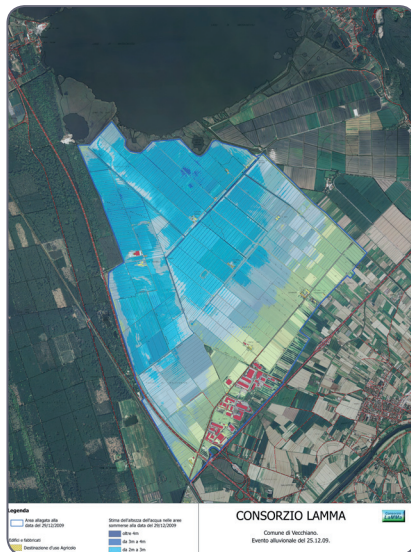
Nel bacino del **fiume Serchio**, nel periodo 21-25 dicembre, per le due stazioni di riferimento in quota Orto di Donna e Campagrina, sono stati registrati rispettivamente cumulati di pioggia pari a 665 e 623 mm, valori che rappresentano circa il 20-25% della pioggia media annuale registrata dalle due stazioni di monitoraggio.

Il 25 dicembre 2009 il Serchio fa registrare una piena eccezionale che causa la sua esondazione: a seguito dell'allagamento 350 famiglie vengono sfollate e 1000 persone rimangono isolate; una porzione dell'autostrada A11 ed il bivio dell'A12 vengono chiuse a causa di infiltrazioni che hanno creato voragini nel manto stradale.



In alto, una zona alluvionata a seguito dell'esondazione del Serchio nel 2009.

A destra, mappa, derivata da fotointerpretazione, delle zone e dei livelli raggiunti dall'acqua a seguito dell'esondazione. (LaMMA).



31 Ottobre 2010

Piogge molto intense sul nord-ovest, in particolare tra le province di Massa-Carrara e Lucca e sull'Appennino pistoiese.

Nella notte tra il 30 ottobre e 1 novembre i cumulati di pioggia più elevati hanno interessato le Alpi Apuane, con valori anche superiori ai 300-350 mm. I tempi di ritorno delle piogge sulle 24 ore, pari a eventi riproponibili ogni 10-30 anni (ed in alcune aree anche di 30-50 anni), sottolineano il carattere persistente delle precipitazioni occorse. Grazie anche al grado di saturazione già esistente nel terreno, la persistenza ed intensità delle piogge ha determinato gradi elevati di instabilità dei versanti e in alcuni casi smottamenti e frane.

24-25 Ottobre 2011

Nell'arco di 24 ore nella sola Lunigiana sono caduti 366 millimetri di pioggia. La media annuale in Lunigiana di precipitazioni, è di 1500 millimetri, quella di ottobre di 248 (per tutto il mese, però).

Dal 1955 la precipitazione maggiore registrata nell'arco di 24 ore nella zona, tra le più piovose della Toscana, risale al 1997: allora furono 285 i millimetri di acqua caduti.

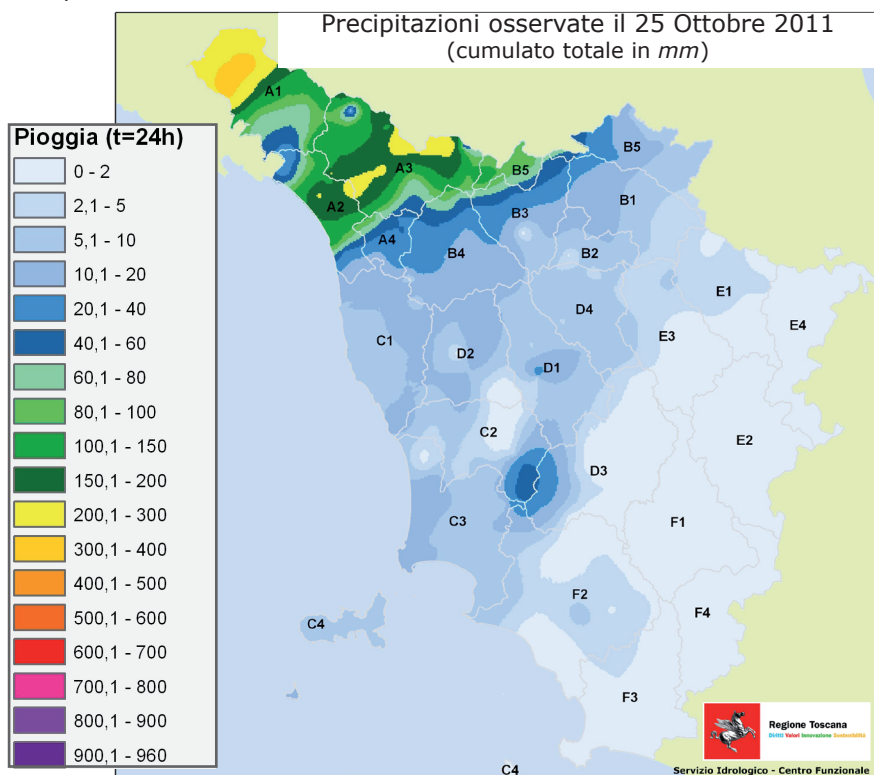


Fig. 15 - Precipitazioni registrate tra le ore 00.00 e le ore 24.00 del 25 ottobre 2011 (Centro Funzionale Regionale).

Vittime alluvioni e frane

Dal 1960 al 2010 in seguito a frane sono morte in Toscana 69 persone, 89 sono state ferite e 1 dispersa.

Le vittime a causa di inondazioni sono state nello stesso arco di tempo 70, 15 i dispersi e 361 i feriti, un numero davvero impressionante, che consegna alla nostra regione il primato in Italia, seguita con ampio distacco da Campania (126) e Piemonte (102).



INONDAZIONI

morti	70
dispersi	15
feriti	361



FRANE

morti	69
dispersi	1
feriti	89

Fonte: Storico degli eventi calamitosi (alluvioni, frane) in Italia, redatto dall'IRPI-CNR (Istituto di ricerca e protezione idrogeologica).

Piogge 2011

Il 2011 è stato un anno molto secco in Toscana, con tutte le conseguenze del caso sull'approvvigionamento idrico, il livello delle falde e dei fiumi, gli impatti sulla vegetazione e l'agricoltura.

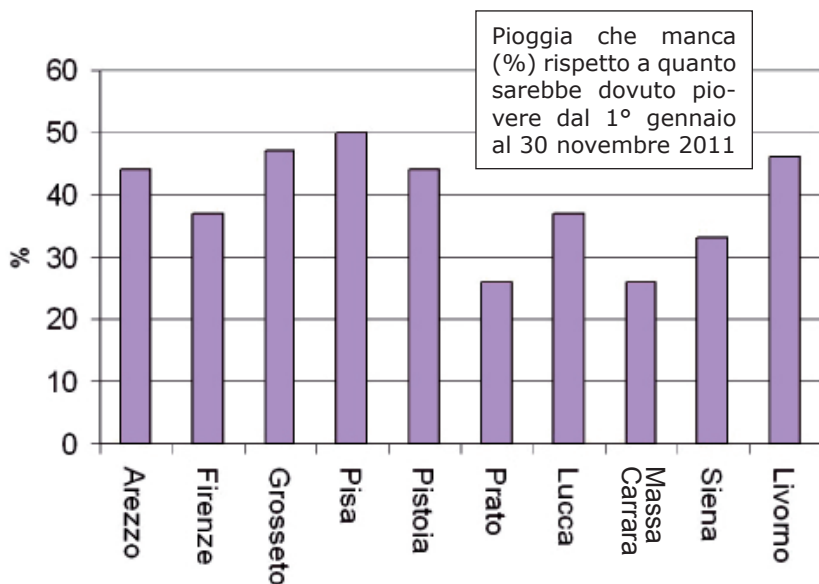
Le anomalie negative di pioggia si sono avute soprattutto nei mesi di Gennaio, Aprile, Maggio, Settembre, Ottobre e Novembre.

Solo nel mese di Marzo è piovuto più della media, in modo distribuito su tutta la regione; mentre a Febbraio e nei primi mesi estivi, quelli di Giugno e Luglio, si sono avute precipitazioni superiori alla media ma solamente a livello locale in specifiche porzioni di territorio. Inoltre, come è noto, i surplus estivi non sono certo quelli che "servono" ai fini del bilancio annuale.

Quindi, nel quadro regionale, l'unico surplus precipitativo veramente "efficace" è stato quello del mese di Marzo, a cui però fanno da contraltare i veramente "efficaci", in senso negativo, deficit precipitativi dei mesi di Aprile, Maggio, Agosto, Settembre, Ottobre e Novembre.

Il deficit di pioggia del 2011 ha riguardato tutta la Toscana, con anomalie negative che variano dal -20% (nel migliore dei casi) fino al -40% rispetto a quanto sarebbe dovuto piovare secondo la media.

Si noti che il deficit riguarda anche la Provincia di Massa Carrara, nonostante gli eventi alluvionali della Lunigiana.



Clima e salute: insetti e patogeni

Tra gli effetti indiretti del cambiamento climatico sulla salute umana ci sono quelli legati all'attività degli agenti infettivi che possono provocare patologie nell'uomo.

La distribuzione e l'abbondanza dei vettori delle malattie infettive sono determinate da vari fattori fisici (temperatura, precipitazioni, umidità e vento) e biotici (vegetazione, caratteristiche degli ospiti, parassiti ed intervento dell'uomo).

La Zanzara Tigre

La diffusione sull'intero territorio nazionale della Zanzara Tigre (*Aedes albopictus*, denominata anche "zanzara urbana"), oltre che dalle straordinarie capacità di adattamento tipiche di questa specie, è stata recentemente favorita dai cambiamenti climatici in atto.



L'aumento delle temperature e la variazione dei regimi pluviometrici sta di fatto portando ad un incremento dei livelli di infestazioni e del rischio sanitario ad esso collegato. La Zanzara Tigre è uno dei principali vettori di trasmissione di certi virus, in particolare gli arbovirus, tipici dei paesi centro africani e del Sud-Est asiatico.

Vita da zanzara

La Zanzara Tigre, così come la maggior parte degli insetti, è guidata in tutte le sue fasi di sviluppo (uova, larva, pupa, adulto alato) dalla temperatura, mentre la pioggia determina la schiusa delle uova.

Il suo habitat ideale è quello urbano rappresentato da quartieri residenziali ricchi di verde ornamentale dove l'apporto idrico artificiale è pressoché costante e dove la densità di caditoie pubbliche e private risulta molto alta¹. Tipicamente questo insetto si sviluppa tra maggio e ottobre con più picchi di infestazione nel corso della stagione di riproduzione in funzione dei regimi termici e pluviometrici; inverni particolarmente miti, come quello del 2006/2007, seguiti da inizi di primavera caldi possono indurre un inizio anticipato nella stagione di sviluppo.

¹ Per documentarsi sugli "usi e costumi" di questo insetto si consiglia il sito www.zanzaratigreonline.it

Prevedere lo sviluppo della Zanzara Tigre

Le caratteristiche ambientali, l'evoluzione meteo-climatica e la densità di popolazione di un territorio determinano il grado di infestazione della Zanzara Tigre e la potenzialità di trasmissione. Il Consorzio LaMMA ha attivato da alcuni anni attività di ricerca e sperimentazione² su un modello biometeorologico di dinamica di popolazione in grado di prevedere, sulla base di temperatura, pioggia e umidità, il ciclo di sviluppo della Zanzara Tigre.

Sulla base di tale modello viene calcolato sui capoluoghi di provincia della Toscana l'indice potenziale d'infestazione, ovvero un indice che descrive l'entità potenziale d'infestazione in siti già colonizzati dalla Zanzara Tigre³.

Andamento della zanzara tigre per l'anno 2011

L'inizio della stagione di sviluppo della zanzara tigre nell'anno 2011 è stata in linea con quanto mediamente accade per questa specie di insetto.

Infatti a partire dal mese di Maggio si sono verificati i primi avvistamenti anche se i livelli di infestazione si sono mantenuti su tassi bassi fino alla seconda metà di giugno. In conseguenza della prime brevi ondate di calore registratesi nell'ultima settimana di giugno e nella seconda settimana di luglio, i livelli di infestazione si sono portati su valori medio-alti facendo registrare il primo picco di infestazione della stagione.

Successivamente, in conseguenza ad una seconda metà di Luglio straordinariamente fredda ed instabile, si è verificata una drastica diminuzione dell'infestazione. La nuova ripresa della stagione di sviluppo è avvenuta a partire dalla prima/seconda settimana di agosto in concomitanza con un prolungato periodo di alta pressione caratterizzato da temperature sopra la media (in particolare tra la fine di agosto ed i primi giorni di settembre) e marcata stabilità atmosferica che è perdurato fino alla prima settimana di ottobre.

Tra il mese di agosto e quello di settembre i livelli infestazione della Zanzara Tigre sono rimasti decisamente alti, facendo registrare il

² Lo scopo della sperimentazione è quello di attivare un bollettino biometeorologico a supporto di attività di monitoraggio e lotta contro questo insetto, nonché quello di creare uno strumento divulgativo ed informativo in grado di aumentare il livello di sensibilizzazione sulla "Zanzara Tigre".

³ Il modello è ispirato ad un modello sviluppato dall'Università di Buenos Aires per la *Aedes Aegypti*, una specie molto simile alla nostra Zanzara Tigre (*Aedes Albopictus*). Uno studio specifico sul caso di Chikungunya del 2007 è stato condotto dal Consorzio LaMMA e dalla Fondazione per il Clima e la Sostenibilità in collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler e l'Istituto Superiore di Sanità.

secondo picco di infestazione, per poi diminuire fino a totale esaurimento nel corso del mese di ottobre, mese in cui sia l'abbassamento delle temperature che la diminuzione del fotoperiodo inducono questo insetto a produrre uova invernali (*dia pausanti*); questo aspetto bio-fisiologico è senz'altro "l'arma genetica" che ha permesso a questa specie di zanzara di origine tropicale di adattarsi in tempi record e colonizzare paesi a clima temperato come l'Italia a partire dai primi anni '90.

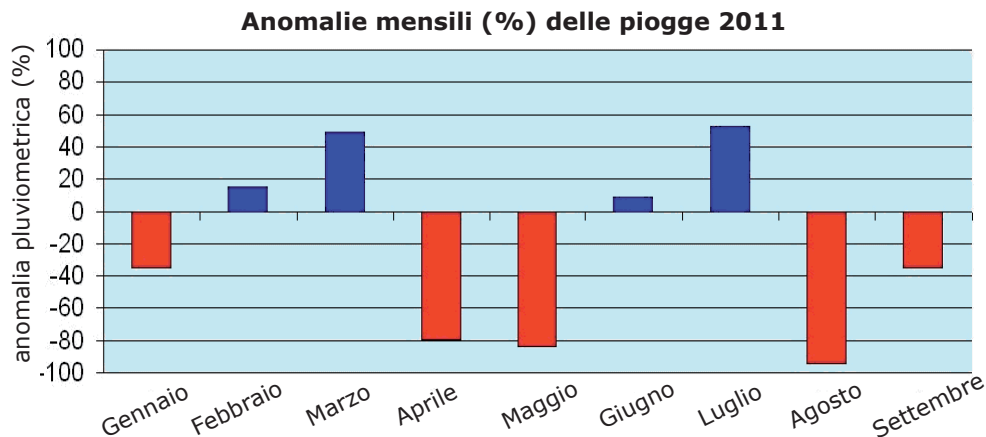


Fig. 16 - Anomalie mensili di pioggia nel 2011 (%) - media dei capoluoghi della Toscana.

Toscana - Agosto 2011

Previsione a 2 settimane del livello di infestazione di zanzara tigre (differenza % con la settimana precedente)

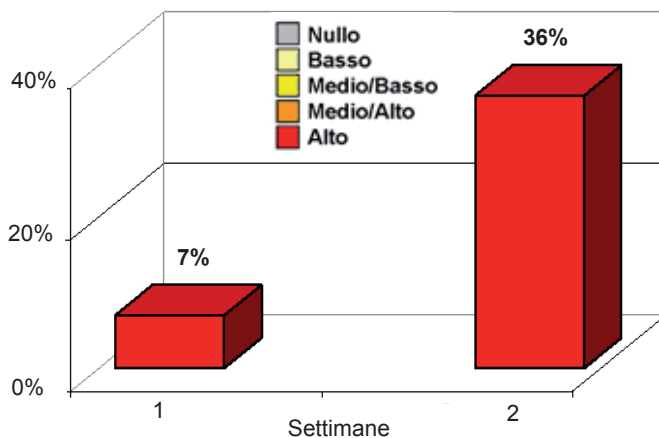


Fig. 17 - Previsione a 2 settimane del livello di infestazione di zanzara tigre (differenza % con la settimana precedente)

Le città e i cambiamenti climatici: applicazioni nella città di Firenze

Isola di calore urbana

La concentrazione della popolazione e degli edifici in una ristretta porzione di territorio ne alterano le caratteristiche al punto da creare un clima locale significativamente diverso dalle aree rurali circostanti.

Nelle città, infatti, sia nel periodo estivo che in quello invernale, si registrano temperature più elevate rispetto alle zone rurali circostanti: tale fenomeno, chiamato "isola di calore urbana" (Urban Heat Island - UHI), è espresso come la differenza di temperatura tra un punto al centro della città e un punto in una zona di campagna prossima all'area urbanizzata.

Gli studi di settore mostrano che l'effetto isola di calore è più accentuato durante l'inverno e prevalentemente nelle ore notturne per effetto del maggior assorbimento di calore e del più lento raffreddamento da parte delle superfici edificate. Tuttavia, un incremento delle temperature si riscontra anche nelle altre stagioni, anche se in misura minore.

Estate e ondate di calore

Alle nostre latitudini è durante l'estate che si possono avere le principali conseguenze sulla salute umana: nella stagione estiva, in corrispondenza delle ondate di calore, la temperatura dell'aria in città, oltre a raggiungere valori più elevati rispetto alle aree rurali circostanti nelle ore diurne, si mantiene elevata anche nelle ore notturne, riducendo la capacità di ripresa dell'organismo umano dalle condizioni di estremo calore a cui è stato sottoposto durante il giorno. Questo incremento di temperature fa sì che si possano creare situazioni particolarmente rischiose per la salute, per cui si registra aumenti nella mortalità delle persone anziane in concomitanza di eventi estremi (come l'ondata di calore del 2003 in Europa).



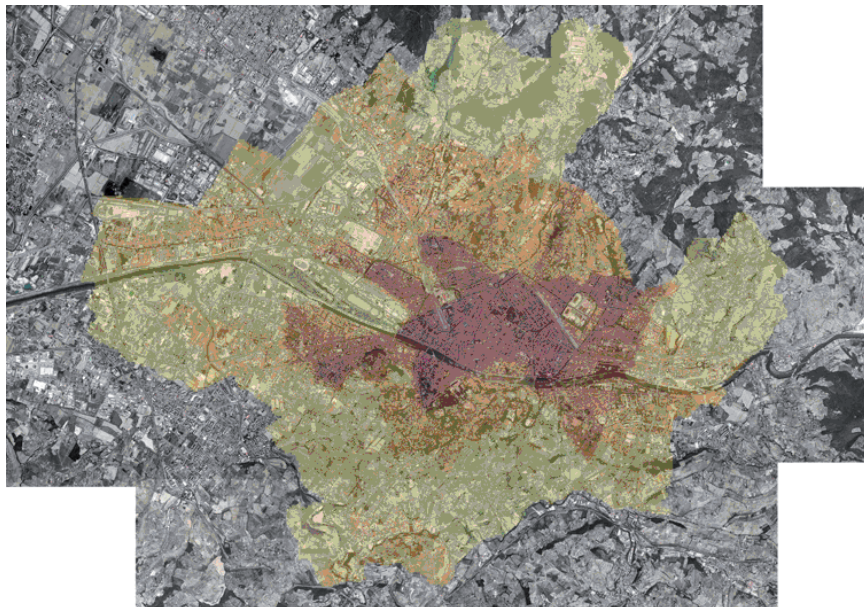


Fig. 18 – Esempio di mappatura termica della città di Firenze. Temperature più elevate nelle zone rosse e più basse nelle zone gialle)

Disomogeneità delle temperature in città

Ci sono delle zone della città caratterizzate da temperature più alte o più basse rispetto al resto del territorio cittadino. Tali variazioni di temperatura sono dovute principalmente al **tipo di materiali utilizzati** nelle diverse zone, alla presenza di aree verdi o di alberature stradali, al numero ed all'altezza degli edifici ed alla distanza tra questi.

Dallo studio effettuato a Firenze emerge che le stazioni posizionate nelle zone della città con edifici più alti e minore presenza di zone verdi, hanno valori medi di temperatura massima di circa 2 °C superiori rispetto alle altre stazioni.

Inoltre nel periodo invernale le zone maggiormente urbanizzate hanno avuto 8 **giorni di gelo** in meno (su 20 totali) rispetto alle zone con una percentuale maggiore di parchi ed aree verdi.

Nelle aree della città più urbanizzate ci sono state 30 **notte tropicali** in più (cioè giorni caratterizzati da temperature minime superiori ai 20 °C) rispetto alle aree più verdi (sul totale di 92 della stagione estiva) (Petralli et al., 2011).

Il ruolo della vegetazione

Le aree verdi svolgono un ruolo fondamentale nella mitigazione del fenomeno isola di calore.

Albedo

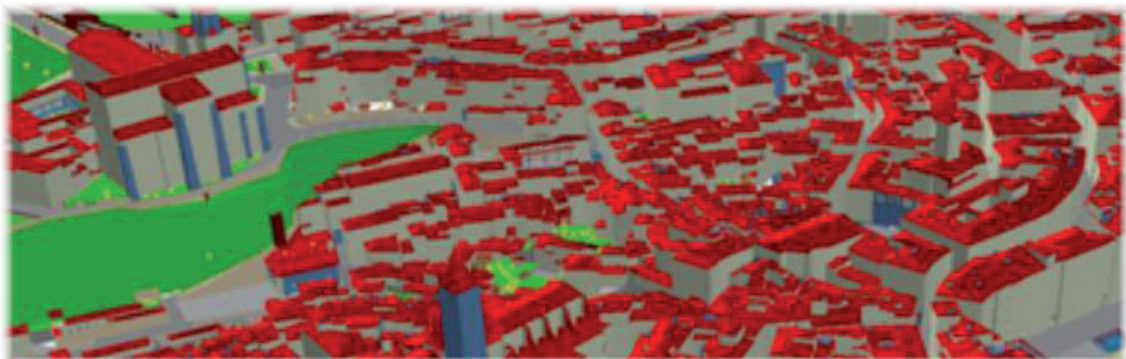
Prima di tutto per il diverso albedo che nei materiali generalmente utilizzati in ambiente urbano può raggiungere valori prossimi al 5%, mentre, nel caso della vegetazione, si mantiene generalmente intorno al 20 - 30%. Questo si traduce in un maggior assorbimento della radiazione solare da parte delle superfici urbane, che viene poi riemessa sotto forma di calore, mentre la vegetazione ne riemette una quantità minore perché, oltre ad assorbire una minore quantità di radiazione, ne utilizza una parte per la fotosintesi.

Permeabilità

Le superfici urbane su cui si trovano le piante sono permeabili (a differenza della maggior parte delle superfici urbane) per cui contribuiscono ad immagazzinare l'acqua piovana, che, quindi, resta disponibile per l'evaporazione e l'evapotraspirazione. Le superfici da cui evapora l'acqua, infatti, si raffreddano durante il processo evaporativo fornendo all'acqua il calore necessario per evaporare.

Ombreggiamento

La chioma degli alberi funge da filtro della radiazione solare, contribuendo a ridurre la quantità di radiazione che raggiunge l'asfalto e gli edifici, riducendo così la quantità di energia che questi possono accumulare e, di conseguenza, quella che poi restituiscono sotto forma di calore.



Asfalto vs. giardino

Confrontando l'andamento delle temperature in una zona asfaltata rispetto ad una zona a giardino è stato possibile notare che nell'area verde le temperature sono generalmente inferiori durante tutto l'arco della giornata, ma la differenza è maggiore durante la notte, perché i materiali naturali tendono a perdere il calore accumulato durante il giorno più velocemente.

Ma c'è giardino e giardino.

Se il giardino è costituito prevalentemente da una vegetazione erbacea e arbustiva i valori di temperatura massima sono generalmente simili tra strada e giardino, mentre se il soprassuolo è prevalentemente arboreo può essere inferiore di circa 3 - 4 °C.

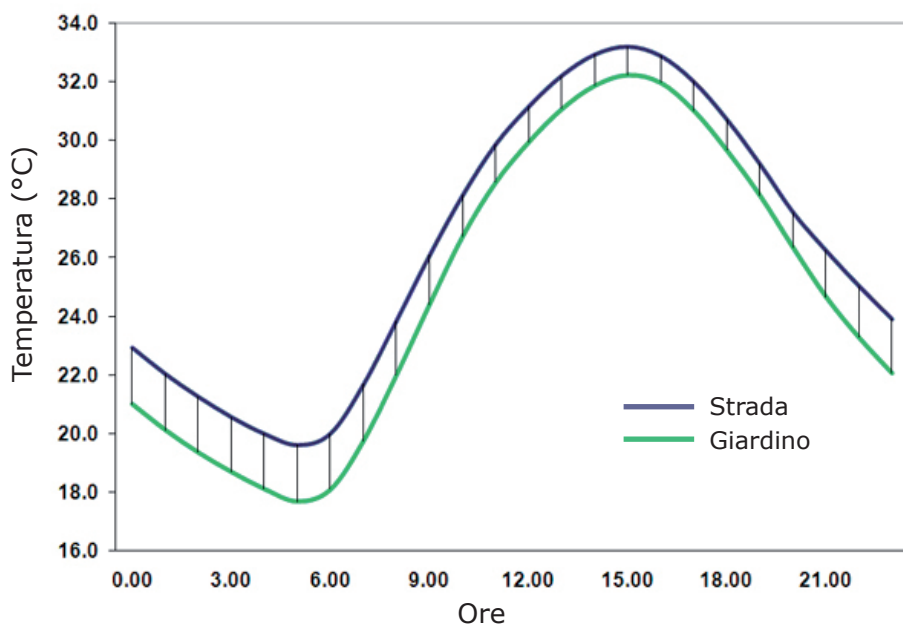


Fig. 19 - Andamento giornaliero delle temperature in una giornata estiva con alta pressione atmosferica, cielo sereno e assenza di ventilazione in una zona asfaltata ed in una zona a giardino, registrate in aree di Firenze con caratteristiche urbanistiche simili in termini di altezza e numero degli edifici per Km², distanza dal centro e numero di residenti per km² (Massetti et al., 2010).

Pianificare lo sviluppo urbanistico

Da tutto questo emerge l'importanza dell'uso del suolo e delle caratteristiche dei materiali utilizzati in ambiente urbano: ci sono studi, infatti, che sottolineano l'importanza di utilizzare materiali con alti

valori di albedo in modo da ridurre la quantità di radiazione solare assorbita dai materiali e rendere quindi la superficie delle strutture urbane costruite con questi materiali più fresche.

Un effetto simile si può ottenere grazie alla messa a dimora di alberi, che con la loro ombra possono ridurre la quantità di radiazione incidente sulle superfici urbane.

A livello urbano è, quindi, possibile individuare grandi aree che, in funzione delle caratteristiche urbanistiche, sono caratterizzate da temperature diverse: le zone della città con una maggiore densità ed altezza degli edifici sono quelle in cui sono stati osservati i valori di temperatura massima, minima e media giornaliera più elevati, mentre le zone con maggior presenza di aree verdi quelle con temperature più basse. Le applicazioni della mappatura termica urbana sono molteplici: dalla biometeorologia umana, identificando le aree della città a maggior rischio per la salute in determinate condizioni sinottiche, alla biometeorologia vegetale per l'individuazione delle zone in cui si possono verificare gelate oppure dove la fioritura delle piante può avvenire in anticipo rispetto ad altre, con conseguenze per chi soffre di allergie.

Bosco e prato: differenze

Nel parco delle Cascine, il parco più grande della città di Firenze, è stato condotto uno studio per quantificare le differenze di temperatura che si possono avere all'interno del parco, monitorando un'area a bosco ed una a prato nel periodo estivo, quando il parco è maggiormente frequentato.

Lo studio sottolinea che il tipo di vegetazione che caratterizza il parco urbano può determinare condizioni termiche estremamente diverse. Sia le aree a prato che quelle a bosco hanno, quindi, un effetto positivo sulla riduzione della temperatura in ambiente urbano: le parti a bosco mantengono le temperature più basse durante il giorno (soprattutto in virtù dell'ombreggiatura), mentre quelle a prato le riducono durante la notte (quando il bosco trattiene il calore irradiato dal suolo durante le ore notturne impedendone la dispersione) (Petralli et al., 2009).



Bibliografia essenziale

AA.VV. Clima, cambiamenti climatici globali e loro impatto sul territorio nazionale. (2009) ISAC-CNR (Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima-Consiglio Nazionale delle Ricerche). ISBN: 978-88-903028-0-0.

AA.VV. Sviluppo di un modello di previsioni climatiche per il territorio nazionale. Relazione finale del Progetto TEMPIO - Previsioni mensili di temperatura e precipitazioni a supporto della pianificazione dell'attività agricola. IBIMET-CNR, 2008.

Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2006). Temperature and Precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology* 26, 345–381.

Glickman, Todd S. (June 2000). *Glossary of Meteorology*. Boston: American Meteorological Society. ISBN 1878220497.

IBIMET-CNR, (2004), LaMMA (2010). PAL - Programma di Azione Locale di lotta alla siccità e alla desertificazione.

IPCC (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I. In: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L.), Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp.

Maselli F., (2004). Monitoring forest conditions in a protected Mediterranean coastal area by the analysis of multi-year NDVI data. *Remote Sens. Environ.*, 89: 423-433

Massetti L., Petralli M., Orlandini S. (2010). Cooling effect of an urban green area in the city centre of Florence, Italy. In: 13th European Forum on Urban Forestry "Urban People Meet Urban Forests". Tulln an der Donau (Austria), 25 - 29 May

Petralli M., Massetti L., Orlandini S. (2011). Five years of thermal intra-urban monitoring in Florence (Italy) and application of climatological indices. *Theoretical And Applied Climatology*, vol. 104(3-4), p. 349-356, ISSN: 0177-798X, doi: 10.1007/s00704-010-0349-9

Petralli M., Massetti L., Orlandini S. (2009). Air temperature distribution in an urban park: differences between open-field and below a canopy. In: 7th International Conference on Urban Climatology. Yokohama, 29 June - 3 July

Petralli M, Morabito M., Bartolini G., Torrigiani T., Orlandini S., Prokopp A. (2006). Ruolo delle aree verdi nella mitigazione dell'isola di calore urbana: uno studio nella città di Firenze. *Rivista italiana di Agrometeorologia*, vol. 1, p. 51-58, ISSN: 1824-8705

McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. (1993) The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society. Jan 17-23, 1993, Anaheim CA, pp. 179-186.

Myneni R.B., Williams D.L., (1994). On the relationship between FAPAR and NDVI. *Remote Sens. Environ.*, 49: 200-211

NOAA-NCDC State of the Climate. Global Analysis (2010). NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) – NCDC (National Climatic Data Center). <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2010/13>

Toreti A., Desiato F. (2008). Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology*. 91, 51–58

Waring H.R., Running S.W., (1998). *Forest ecosystems. Analysis at multiples scales*. 2nd edition. Academic Press, San Diego, USA, pp. 55.

WMO - Statement on the status of the global climate in 2010. WMO-World Meteorological Organization. Vol. 1074. ISBN 978-92-63-11074-9.

WMO. Press report, No. 872 - "Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks". December 2009.



Consorzio LaMMA
c/o CNR-IBIMET Area della Ricerca di Firenze

Via Madonna del Piano n.10
50019 Sesto Fiorentino (Fi)
Tel. +39 055 44 830.1
Fax +39 055 44 40 83

info@lamma.rete.toscana.it
comunicazione@lamma.rete.toscana.it

www.lamma.rete.toscana.it