

Anni 2002-2016

TEMPERATURA E PRECIPITAZIONE NELLE PRINCIPALI CITTÀ

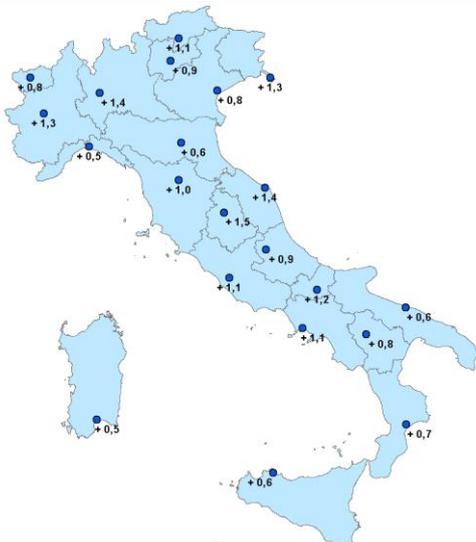
■ A partire dall'aggiornamento al 2016 della serie storica di dati giornalieri di stazioni termopluviometriche nelle città capoluogo di regione, sono presentati i valori medi di temperatura e precipitazione e gli indici di estremi climatici del periodo 2002-2016 in relazione a quelli del periodo climatico 1971-2000.

■ La temperatura media annua delle stazioni nel periodo 2002-2016 è di 15,5°C, in aumento di 1,0°C rispetto agli anni 1971-2000. Le anomalie - la differenza del valore medio del periodo 2002-2016 dal valore climatico - dopo il 1996 assumono sempre valori positivi e molto significativi, risultando comprese fra lo +0,5°C di Cagliari e Genova e il +1,5°C Perugia.

■ Aumentano i valori degli indici che descrivono gli estremi di caldo. Nel periodo 2002-2016 sono in media 110 i giorni estivi e 45 le notti tropicali, rispettivamente 17 e 14 in più rispetto alla media climatologica. Le anomalie hanno assunto valori positivi in tutti i capoluoghi. In aumento dal 2000 anche l'indice di durata dei periodi di caldo (onde di calore).

■ Parallelamente si riduce il numero di giorni con gelo (-3), di notti fredde (-9) e di giorni freddi (-11), a conferma di una tendenza al riscaldamento di quasi tutte le città.

ANOMALIA DI TEMPERATURA MEDIA DEL PERIODO 2002-2016 DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000 PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Valori assoluti in gradi Celsius



■ La precipitazione totale media annua delle stazioni, nel periodo 2002-2016, è stata pari a 778 mm, l'1,6% in più rispetto al valore climatico 1971-2000 (765,8 mm).

■ La variabilità spazio-temporale della precipitazione totale media annua nelle città si conferma elevata. Genova, seconda città per precipitazione totale media nel periodo osservato, segna l'anomalia negativa più alta (-206,2 mm); Palermo (+166,8) e Campobasso (+162,1) registrano le anomalie positive maggiori.

■ Nel periodo 2002-2016 i giorni piovosi sono in media 82, in linea con il valore climatico 1971-2000. Le anomalie oscillano tra +8 giorni di Palermo e -5 di Venezia.

■ Anche i giorni di precipitazione superiore a 20 mm non registrano particolari variazioni e si attestano in media sui 10 giorni l'anno. La variazione più alta è pari a 3 giorni piovosi, in meno per Milano e Genova, e in più Campobasso, Catanzaro, Palermo e Trento.

■ Negli ultimi quindici anni, il 24,7% della precipitazione totale media annua ricade nei giorni molto piovosi, con un valore medio pari a 192 mm.

ANOMALIA DI PRECIPITAZIONE TOTALE MEDIA DEL PERIODO 2002-2016 DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000 PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Valori assoluti in millimetri



Dati meteorologici nelle principali città

I dati e gli indicatori meteo-climatici si aggiungono all'insieme delle informazioni statistiche prodotte dall'Istat sul tema delle città, anche con l'obiettivo di fornire nuove opportunità di analisi congiunta con informazioni sullo stato dell'ambiente di primaria importanza.

L'aggiornamento della serie storica 1971-2016 delle statistiche meteo-climatiche di precipitazione e temperatura è stato effettuato avvalendosi dei dati giornalieri delle stazioni termo-pluviometriche di monitoraggio, situate all'interno o in prossimità del territorio dei 21 capoluoghi di regione, che in termini demografici rappresentano il 38,9% della popolazione italiana del 2016.

Le analisi delle condizioni meteo-climatiche delle città considerate sono effettuate a partire dai valori medi e da indici di estremi climatici di precipitazione e temperatura di un insieme di stazioni di misura¹, parametri significativi per descrivere il clima. Per osservare la variabilità dei fenomeni, in particolare vengono confrontati i valori medi del periodo 2002-2016 (ultimi 15 anni disponibili) con il valore climatico del trentennio 1971-2000, assunto come Normale Climatologica secondo le indicazioni internazionali².

Cresce la temperatura media nelle città

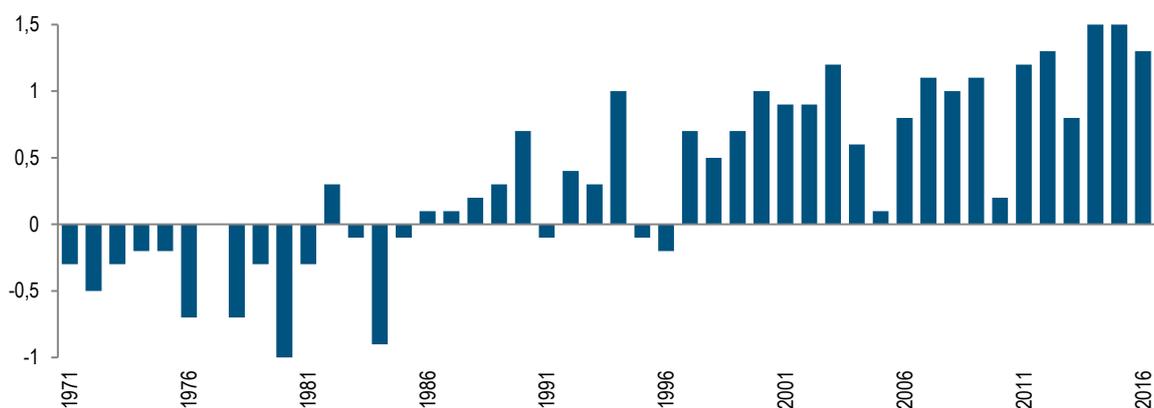
Le serie annuali 1971-2016 di temperatura media³, minima e massima osservate mostrano una tendenza generalizzata all'aumento per le stazioni esaminate. La crescita della temperatura media annua è accompagnata da un aumento dei valori degli indici che descrivono gli estremi di caldo, delle notti tropicali, dei minimi assoluti della temperatura minima e della temperatura massima, che presentano una prevalenza di anomalie positive a partire dalla metà degli anni '80.

Parallelamente si riduce il numero di giorni con gelo, notti fredde e giorni freddi, a conferma di una tendenza al riscaldamento di quasi tutti i capoluoghi di regione. Tali risultati sono in linea con alcuni studi meteorologici a scala nazionale che rilevano per la temperatura media un cambiamento di trend (*changepoint*) dai primi anni '80 in Italia, quando inizia un periodo di crescita più sostenuto della temperatura media.

Attraverso i dati delle stazioni considerate, viene calcolato l'indicatore temperatura media annua. Le differenze dei valori della temperatura media registrati nei vari anni dal valore climatico 1971-2000 (14,5°C) rappresentano le anomalie. Mentre nel decennio 1971-1981 le anomalie di temperatura media appaiono sempre negative, a partire dal 1985 si manifesta un cambiamento di tendenza e iniziano a prevalere nettamente anomalie positive (Figura 1).

FIGURA 1. ANOMALIE DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000

Anni 1971-2016, valori assoluti in gradi Celsius



¹ Le analisi, basate sui dati delle singole stazioni dei capoluoghi di regione prese in esame (riportate in tabella in Nota metodologica), fanno riferimento ai caratteri climatici specifici dell'area monitorata.

² Vedi Nota metodologica.

³ La temperatura media è la semisomma della temperatura massima e minima.

Dopo il 1996, esse assumono sempre valori positivi e molto significativi. In presenza di continui aumenti della temperatura media rispetto al valore climatico, in particolare gli ultimi tre anni si sono rivelati molto caldi. Il 2015, insieme al 2014, si presentano come gli anni con la temperatura media più elevata dell'intera serie temporale osservata (16,0°C), presentando un'anomalia di +1,5°C rispetto al valore climatico. Il 2016, con 15,8°C è il terzo anno più caldo dal 1971 registrando un'anomalia pari a +1,3°C.

In questi tre anni gli incrementi più consistenti si sono registrati a Milano, con un'anomalia che si è mantenuta sopra ai +2°C. Nel 2016 l'anomalia più alta si registra a Roma (in media +2,4°C).

Nel periodo 2002-2016 la temperatura media annua delle stazioni esaminate è pari a 15,5°C, in aumento di 1,0°C rispetto alla media climatologica 1971-2000 (Prospetto 1).

In tutti i capoluoghi di regione si osserva un incremento della temperatura media rispetto al valore climatico. La media delle variazioni percentuali risulta più elevata per i capoluoghi del Centro (+8,3%). Per quelli del Nord la variazione è in media pari a +7,2%, mentre al Sud si registra l'incremento medio più contenuto (+5,6%).

PROSPETTO 1. TEMPERATURA MEDIA E VARIAZIONE DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000 PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Anni 2002-2016, 1971-2000, valori assoluti in gradi Celsius e valori percentuali

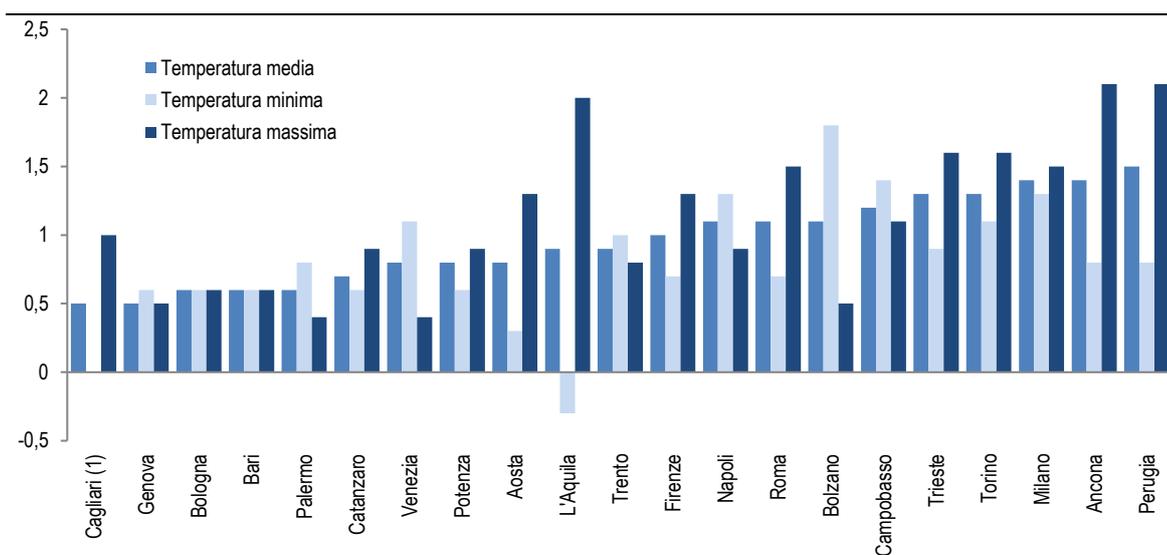
CAPOLUOGO DI REGIONE	Temperatura media		
	2002-2016	valore climatico 1971-2000	variazione % dal valore climatico
Torino	14,8	13,4	9,7
Aosta	11,8	10,9	7,4
Genova	16,5	16,0	3,2
Milano	15,4	14,0	10,1
Bolzano/Bozen	13,3	12,1	9,3
Trento	13,2	12,3	7,1
Venezia	14,9	14,1	5,4
Trieste	15,9	14,6	8,5
Bologna	15,2	14,6	3,9
Firenze	16,4	15,4	6,3
Perugia	14,9	13,5	10,8
Ancona	17,0	15,6	9,2
Roma	16,9	15,8	7,1
L'Aquila	12,8	11,9	7,3
Campobasso	13,5	12,2	10,2
Napoli	17,0	15,9	7,0
Bari	17,6	17,0	3,5
Potenza	13,5	12,7	6,1
Catanzaro	17,0	16,3	4,4
Palermo	19,1	18,5	3,3
Cagliari	18,3	17,8	2,8

I più alti valori medi del periodo 2002-2016 si registrano a Palermo (19,1°C) e Cagliari (18,3°C), seguiti da Bari (17,6°C), Catanzaro, Napoli e Ancona (17,0°C) e Roma (16,9°C). Il valore più basso, invece, si registra ad Aosta pari a 11,8°C.

Le anomalie di temperatura media, calcolate come differenza del valore medio del periodo 2002-2016 dal valore climatico 1971-2000, sono comprese fra un minimo di +0,5°C a Cagliari e Genova ed un massimo di +1,5°C a Perugia. La media delle anomalie di temperatura media annua dei capoluoghi per macro-area, evidenzia che le città del Centro registrano l'aumento maggiore rispetto al valore climatico (+1,2°C), seguite da quelle del Nord e del Sud, rispettivamente con un'anomalia media pari a +1,0°C e +0,8°C.

Analizzando i dati di temperatura massima e minima, le anomalie assumono valori positivi per tutti i capoluoghi di regione, fatta eccezione per la diminuzione della temperatura minima per L'Aquila (Figura 2). In buona parte delle città l'aumento della temperatura media è determinato soprattutto da un sensibile aumento delle temperature massime, pur in presenza di rialzi delle minime (come Ancona, Perugia, Aosta, Roma, Trieste, Firenze). In altre, invece, sono evidenti aumenti sia delle minime che delle massime su ordini di grandezza simili (Milano, Bologna, Bari e Genova) oppure incrementi della temperatura minima maggiori di quelli della temperatura massima (ad esempio Bolzano, Venezia, Trento, Napoli e Palermo).

FIGURA 2. ANOMALIE DI TEMPERATURA MINIMA, MEDIA E MASSIMA DEL PERIODO 2002-2016 DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000 PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Valori assoluti in gradi Celsius



¹ L'anomalia per Cagliari è pari a 0 perché la temperatura minima è in linea con il valore climatico del periodo 1971-2000.

Uno degli aspetti che caratterizza il riscaldamento dei sistemi urbani, è l'aumento del differenziale termico tra aree urbane e aree rurali. Sulla base dei dati forniti dalle stazioni meteorologiche situate negli aeroporti di alcuni capoluoghi, è stato possibile calcolare una stima di tale differenza per le città di più grandi dimensioni. La temperatura media del periodo 2002-2016 delle stazioni situate all'interno delle città esaminate è sempre superiore a quella delle stazioni ubicate fuori città. Le differenze assumono valori anche molto significativi, come nel caso di Torino (+1,7°C), Milano (+1,0°C), Roma e Firenze (+0,8°C).

In aumento gli indici rappresentativi degli estremi di caldo

Vengono calcolati un insieme di indici definiti dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), che sono stati definiti a livello internazionale⁴ per promuovere la ricerca sulla conoscenza del clima, armonizzare la produzione di informazioni rilevanti nell'analisi di tali fenomeni e rafforzare la comparabilità fra i dati dei paesi. Gli indici, espressi in numero di giorni, rappresentano uno strumento per valutare la variabilità climatica e la persistenza di alcuni fenomeni a diversa scala territoriale, sia in termini assoluti che relativi rispetto al valore climatico, evidenziando gli scostamenti da quest'ultimo, vale a dire le anomalie.

In riferimento ai dati delle stazioni considerate, per ogni capoluogo di regione, sono stati calcolati nove indici di *estremi climatici di temperatura* per gli anni della serie storica 1971-2016. Il valore medio del periodo 2002-2016 di ciascun indice è stato confrontato con il rispettivo valore climatico 1971-2000 (Prospetto 2).

⁴ Le metodologie degli indici sono state sviluppate nell'ambito delle attività del World Climate Research Program (WCRP), programma internazionale che ha l'obiettivo di coordinare la ricerca sul clima. Il WCRP, avviato nel 1980 dalla World Meteorological Organization (WMO) delle Nazioni Unite e dall'International Council for Science (ICSU), dal 1993 è supportato anche dall'Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) dell' UNESCO.

PROSPETTO 2. INDICI DI ESTREMI DI TEMPERATURA PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Anni 2002-2016, 1971-2000, valori medi in giorni

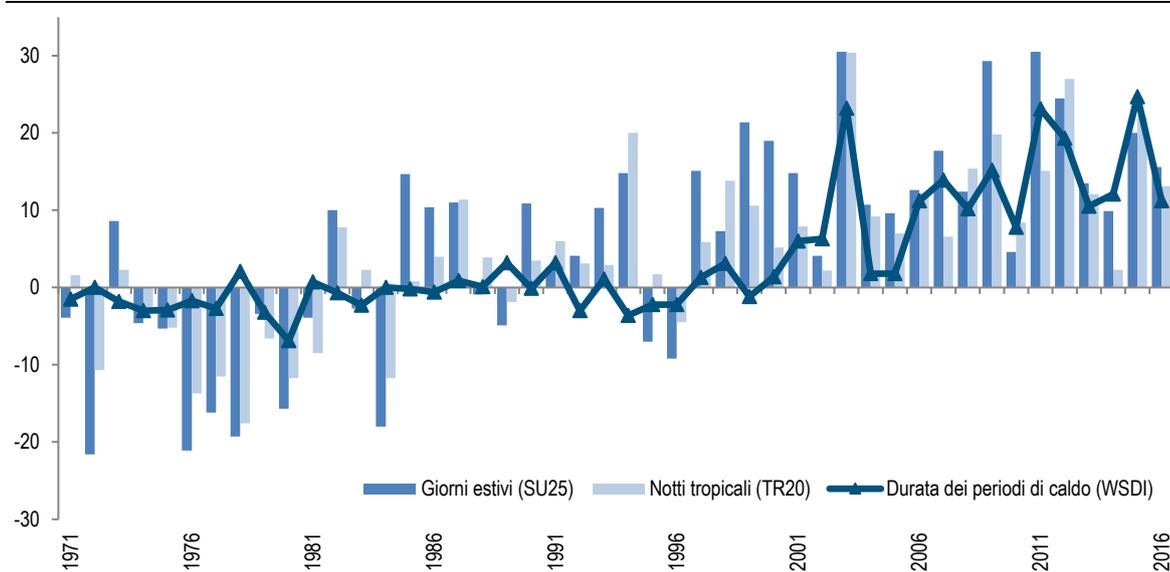
CAPOLUOGO DI REGIONE		Giorni estivi (SU25)	Notti tropicali (TR20)	Giorni caldi (TX90P)	Notti calde (TN90P)	Indice di durata dei periodi di caldo (WSDI)	Giorni con gelo (FD0)	Giorni freddi (TX10P)	Notti fredde (TN10P)	Indice di durata dei periodi di freddo (CSDI)
Torino	2002-2016	114	38	70	73	24	26	18	18	9
	1971-2000	88	22	34	33	9	35	35	34	10
Aosta	2002-2016	92	1	64	53	21	92	23	37	14
	1971-2000	67	1	31	30	16	89	31	30	11
Genova	2002-2016	79	67	51	59	13	2	27	26	11
	1971-2000	74	55	33	33	7	2	33	33	11
Milano	2002-2016	112	58	82	84	35	11	19	13	8
	1971-2000	93	35	33	33	14	20	34	33	15
Bolzano/Bozen	2002-2016	111	10	40	84	12	76	26	10	-
	1971-2000	100	1	28	25	10	96	28	27	8
Trento	2002-2016	96	11	54	53	17	50	23	14	6
	1971-2000	85	7	27	26	9	64	29	27	9
Venezia	2002-2016	80	61	53	75	22	11	33	16	9
	1971-2000	77	43	34	32	9	19	34	35	10
Trieste	2002-2016	100	60	101	72	41	8	20	24	12
	1971-2000	75	42	32	31	10	8	32	31	10
Bologna	2002-2016	115	48	52	55	16	18	27	23	9
	1971-2000	112	42	35	34	12	28	35	35	13
Firenze	2002-2016	129	38	79	64	30	16	25	23	7
	1971-2000	116	22	34	36	10	13	34	30	12
Perugia	2002-2016	111	25	103	71	44	19	17	25	9
	1971-2000	78	14	34	34	10	18	35	34	9
Ancona	2002-2016	130	68	96	63	43	5	15	26	15
	1971-2000	96	44	34	33	12	4	33	33	12
Roma	2002-2016	135	47	95	56	37	14	20	22	8
	1971-2000	115	32	33	33	10	14	34	33	13
L'Aquila	2002-2016	111	1	74	41	25	73	10	52	10
	1971-2000	88	1	35	34	11	63	35	34	10
Campobasso	2002-2016	72	27	56	66	20	24	28	21	10
	1971-2000	57	12	33	32	10	31	34	33	10
Napoli	2002-2016	129	54	59	84	15	6	22	16	8
	1971-2000	108	20	31	31	10	6	32	32	11
Bari	2002-2016	104	90	59	72	9	0	26	31	12
	1971-2000	92	69	34	33	13	0	34	33	12
Potenza	2002-2016	87	8	60	58	19	25	26	26	7
	1971-2000	78	5	34	34	9	28	35	34	10
Catanzaro	2002-2016	107	70	57	56	12	1	17	25	6
	1971-2000	92	53	33	32	13	1	33	33	12
Palermo	2002-2016	139	94	47	50	17	0	28	15	7
	1971-2000	131	73	35	35	8	0	35	34	11
Cagliari	2002-2016	145	60	77	33	23	0	24	34	10
	1971-2000	125	55	31	32	10	0	32	32	14

Gli indici di estremi di temperatura del periodo 2002-2016 confermano una tendenza al riscaldamento per i capoluoghi di regione, fenomeno già osservato per i valori medi di temperatura. Un aumento del valore degli indici rappresentativi degli estremi di caldo e delle notti tropicali, in crescita in tutte le stazioni oggetto d'analisi, è accompagnato da una diminuzione del valore di quelli che descrivono gli estremi di freddo e delle notti fredde.

Nel periodo 2002-2016 i **giorni estivi** (Indice SU25)⁵ delle stazioni esaminate sono stati in media 110 l'anno, 17 giorni in più rispetto al valore medio del trentennio 1971-2000 (93 giorni). L'indice presenta i valori più alti a Cagliari (146 giorni), Palermo (139) e Roma (135). Le anomalie hanno assunto valori positivi in tutti i capoluoghi di regione e sono Ancona e Perugia a registrare gli aumenti più elevati, rispettivamente pari a +34 e +33 giorni, quasi un mese in più all'anno con temperatura massima superiore ai 25,0°C. Il maggior numero di giorni estivi si registra nel 2011 (124 giorni), seguito dal 2003 (123) e dal 2009 (122) (Figura 3). In questi anni, nelle prime posizioni si collocano sempre le medesime città, come Firenze, Roma, Ancona e Cagliari con un numero molto elevato di giorni estivi di poco superiore, in media, ai 145 giorni.

Le **notti tropicali** (Indice TR20) nel periodo osservato sono state in media 45 l'anno, in aumento di 14 notti rispetto al valore climatico (31). La situazione fra le città appare molto diversificata, poiché si passa da un massimo di 94 a Palermo ad un minimo di 1 giorno ad Aosta e L'Aquila. Considerata la stazionarietà di queste ultime, in tutti i capoluoghi cresce il numero delle notti nelle quali la temperatura non scende al di sotto dei 20,0°C. Le anomalie positive più elevate si osservano a Napoli (+34 notti), Ancona (+24) e Milano (+22). Esaminando la serie 1971-2016 delle anomalie medie annuali, esse registrano valori sempre positivi rispetto alla media climatologica negli anni successivi al 1996, con valori superiori a 34 notti. Il 2003 ed il 2012 si presentano come gli anni con il maggior numero di notti tropicali dal 1971, rispettivamente 61 e 58, quando Palermo e Bari segnano sempre i valori più alti (che oscillano fra 99 e 105 notti).

FIGURA 3. ANOMALIE MEDIE ANNUALI DEGLI INDICI GIORNI ESTIVI, NOTTI TROPICALI E DURATA DEI PERIODI DI CALDO DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000. Anni 1971-2016, valori assoluti in giorni



Anche nel 2016 sono in aumento sia i giorni estivi che le notti tropicali. I primi sono stati in media 109 (+16 giorni rispetto al valore climatico) registrando i valori più alti a Cagliari (160 giorni), Palermo (149) e Roma (143). Le notti tropicali sono state 44 (+13 notti rispetto al valore climatico) e vedono in testa Palermo (94) e Bari (78).

⁵ In parentesi sono riportati i codici internazionali degli indici di estremi climatici dell'ETCCDI (vedi glossario).

L'**indice di durata dei periodi di caldo** (Indice WSDI), che conta in un anno il numero dei giorni di onde di calore⁶, nel periodo 2002-2016 registra un valore medio pari a 23 giorni, in aumento di 12 rispetto al valore climatico (11). Con 44 giorni, Perugia si colloca in prima posizione, seguita da Ancona (43) e Trieste (41), registrando tali città anomalie superiori a +30 giorni rispetto alla media climatologica. A Roma, l'indice raggiunge quota 38 giorni, con un aumento di 28 rispetto alla media climatologica. L'indice presenta valori in aumento anche a Milano e Firenze, con mediamente 20 giorni in più rispetto al periodo 1971-2000.

La serie 1971-2016 delle anomalie medie annuali dell'indice di durata dei periodi di caldo delle stazioni esaminate, mostra dal 2000 una tendenza all'aumento del numero di giorni caratterizzati da onde di calore, con anomalie rispetto alla media climatologica sempre positive e crescenti. L'indice raggiunge il suo massimo nel 2011 con 35 giorni, il valore più alto dell'intera serie temporale osservata, seguito dal 2015 (34). In tali anni, alcune città sembrano essere state maggiormente colpite dal fenomeno, come Perugia, Trieste, Milano e Roma. Anche il 2016, registra un'anomalia positiva (+11 giorni) seppur più contenuta, confermando sempre le suddette città nelle prime posizioni.

Mentre gli indici a soglia fissa, misurano il numero di giorni in cui si è verificato un evento estremo climatico in termini assoluti, quelli a soglia mobile danno informazioni in termini relativi, prendendo in considerazione l'evento più estremo verificatosi nel periodo climatologico di riferimento. Gli indici su giorni caldi e notti calde sono basati sui percentili e misurano il numero di giorni in un anno nei quali rispettivamente la temperatura massima e la temperatura minima hanno superato per almeno sei giorni consecutivi il 90°percentile del periodo climatologico di riferimento.

Nel periodo 2002-2016 i **giorni caldi** (Indice TX90P) sono in media 68 l'anno, 35 giorni in più del valore climatico (33). Le città con il maggior numero di giorni caldi sono Perugia (104) e Trieste (101), mentre quelle con il minor numero sono Bolzano (40) e Palermo (47). Gli incrementi più significativi si registrano a Trieste e Perugia (+69), seguite da Ancona e Roma (+62). Gli anni che presentano il numero più elevato di giorni caldi sono il 2012 (88) e il 2015 (82), quando alcuni capoluoghi presentano valori molto alti, con punte di 148 giorni a Perugia e 143 a Roma.

Le **notti calde** (Indice TN90P) sono state mediamente 63, in aumento di 31 notti rispetto al valore climatico (32). Sono Milano, Bolzano e Napoli le città che registrano il numero di giorni più elevato sia per valore dell'indice (84 notti) che dell'anomalia (superiore a +51). Gli anni con il maggior numero di notti calde sono stati il 2003 ed il 2014 (78), seguiti dal 2012 e dal 2015 (73 notti). L'indice assume valori molto superiori alla media climatologica in quasi tutte le città.

Parallelamente all'aumento degli indici rappresentativi degli estremi di caldo, si registra una riduzione, sia pure meno marcata, di quelli degli estremi di freddo. Nel periodo 2002-2016 il numero dei **giorni con gelo** (Indice FDO) delle stazioni sono in media 23 l'anno, in calo di 3 giorni rispetto al valore del 1971-2000 (26). Oltre la metà delle città esaminate segna una diminuzione dei giorni con gelo e sono due stazioni dell'arco alpino, Bolzano (-20) e Trento (-14) a presentare i maggiori decrementi. Di contro L'Aquila segna un aumento dei giorni con gelo di 10 giorni l'anno.

Il valore medio annuale dell'indice mostra una tendenza alla diminuzione del numero di giorni con gelo nel periodo più recente osservato, più marcata negli ultimi tre anni. Il 2014, con 10 giorni (l'anno con il valore più basso dal 1971) è seguito dal 2015 e 2016 (17). In particolare alcuni capoluoghi situati nel Nord del paese presentano le anomalie negative più consistenti, in media pari a -38 giorni con gelo l'anno a Bolzano, -31 a Trento e -26 a Torino.

I **giorni freddi** (Indice TX10P) sono in media 22 l'anno nel periodo 2002-2016, 11 in meno rispetto al valore climatico (33), con un massimo a Venezia (33 giorni) seguita da Campobasso e Palermo (28). Il 2005 si presenta come l'anno con il maggior numero di giorni freddi (36), mentre il 2015 è l'anno con il minor numero (11), seguito dal 2016 (14).

Le **notti fredde** (Indice TN10P) sono state 24 all'anno, 9 in meno rispetto al valore climatico (33). L'Aquila e Aosta segnano i valori più elevati, rispettivamente di 52 e 37 giorni. Le anomalie negative più alte si registrano a Milano (-20), Palermo e Venezia (-19). Gli ultimi tre anni sono

⁶ Nel calcolo di questo indice, un'onda di calore è un evento che ha una durata non inferiore a 6 giorni consecutivi, nei quali la temperatura massima è superiore al 90°percentile della distribuzione delle temperature massime giornaliere nello stesso periodo dell'anno sul trentennio climatologico 1971-2000.

quelli con il minor numero di notti fredde (-13 notti l'anno). Nel 2016 la diminuzione interessa tutte le città, escluse Aosta e L'Aquila, con un intervallo che va da -29 notti a Milano a -2 a Bari.

Nel 2002-2016 l'indice di durata dei periodi di freddo (Indice CSDI) è in media di 10 giorni, in calo di 1 giorno rispetto alla media climatologica 1971-2000. Il valore massimo del periodo analizzato si registra ad Ancona (15 giorni), seguito da Aosta (14), che segnano l'anomalia positiva più alta fra i capoluoghi (+3). Quanto alle anomalie negative sono i capoluoghi del centro-sud, come Catanzaro (-6), Roma e Palermo (-5), a presentare le diminuzioni più consistenti. Negli ultimi anni, si rileva che è cresciuto il numero dei capoluoghi per i quali, non essendosi verificati eventi di freddo anomalo per più di sei giorni consecutivi in un anno, l'indice non viene calcolato.

Una lettura integrata degli indici secondo i valori più alti delle anomalie medie registrate, evidenzia che alcune città sono state particolarmente interessate da fenomeni che favoriscono il riscaldamento (Prospetto 3).

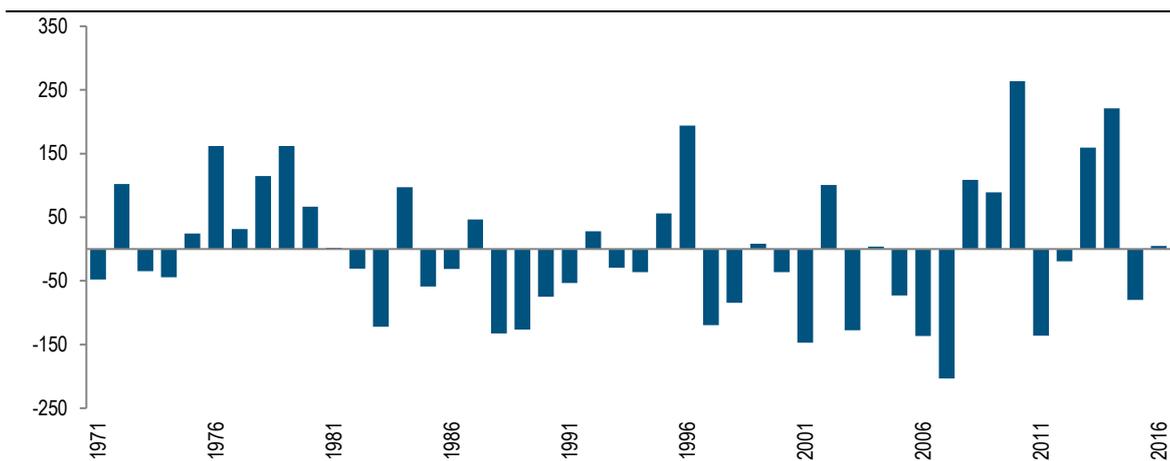
PROSPETTO 3. INDICI DI ESTREMI DI TEMPERATURA, PER LE PRIME TRE CITTÀ CON LE MAGGIORI ANOMALIE DEL PERIODO 2002-2016 DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000. Valori medi in giorni

Giorni estivi (SU25)	Notti tropicali (TR20)	Giorni caldi (TX90P)	Notti calde (TN90P)	Indice di durata dei periodi di caldo (WSDI)	Giorni con gelo (FD0)	Giorni freddi (TX10P)	Notti fredde (TN10P)
Ancona (+34)	Napoli (+34)	Trieste (+69)	Bolzano (+59)	Perugia (+34)	Bolzano (-20)	L'Aquila (-25)	Milano (-20)
Perugia (+33)	Ancona (+24)	Perugia (+69)	Napoli (+53)	Trieste (+31)	Trento (-14)	Ancona (-18)	Palermo (-19)
Torino (+26)	Milano (+23)	Ancona (+62)	Milano (+51)	Ancona (+31)	Bologna (-10)	Perugia (-18)	Venezia (-19)

Alta variabilità spaziale e temporale per la precipitazione

Sulla base dei dati della precipitazione totale media annua delle stazioni oggetto di analisi, vengono calcolate per ciascun anno le differenze dal valore climatico 1971-2000 (pari a 765,8 mm). La serie storica 1971-2016 delle anomalie evidenzia la variabilità del fenomeno osservato. Dalla seconda metà degli anni '90 le anomalie diventano più pronunciate, aumentando l'ampiezza delle fluttuazioni intorno al valore climatico, con una prevalenza di quelle negative (Figura 4).

FIGURA 4. ANOMALIE DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE MEDIA ANNUA DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000
Anni 1971-2016, valori assoluti in millimetri



Negli anni dal 2002 al 2016, crescendo la variabilità delle anomalie, sono presenti, allo stesso tempo, gli anni più piovosi e quelli meno piovosi dal 1971. Inoltre tutti i capoluoghi ad eccezione di Ancona, Catanzaro, Bologna e Campobasso, mostrano un aumento della variabilità degli scostamenti del periodo esaminato rispetto a quella del periodo climatico.

Per quanto riguarda le anomalie positive, la più elevata si registra nel 2010 (+264 mm) che, con una precipitazione totale media annua pari a circa 1.030 mm, risulta l'anno più piovoso dal 1971.

Tutti i capoluoghi di regione - ad eccezione di Bolzano - hanno segnato anomalie positive, con in testa Napoli (+558 mm), seguita da Perugia (+482 mm). I livelli di precipitazione annua più alti si sono registrati a Napoli, Catanzaro e Trento, pari quasi al doppio del valore climatico.

Il 2014, con 987 mm, è l'anno con la seconda anomalia positiva più alta (+221 mm) della serie temporale osservata. Aumenti dal valore climatico si registrano in tutte le città, ad esclusione di Napoli e Cagliari. Le anomalie più alte si hanno a Genova (circa +832 mm) e Trento (+711 mm), che segnano anche la precipitazione totale annua più consistente fra i capoluoghi. In particolare, con 2.103 mm quella di Genova è la più alta precipitazione totale annua registrata dal 1971 fra tutte le città esaminate.

Il 2007 presenta l'anomalia negativa più bassa dal 1971 (-204 mm) e, con una precipitazione totale media annua di circa 562 mm, è anche l'anno meno piovoso dell'intera serie esaminata. I capoluoghi più interessati da una diminuzione della precipitazione sono Genova (-713 mm), Milano (-506 mm) e Roma (-359 mm). Il 2006 ed il 2011, con un'anomalia negativa intorno a -136 mm, si posizionano fra gli anni meno piovosi del periodo 2002-2016. In entrambi gli anni, è Cagliari la città maggiormente colpita da una diminuzione delle precipitazioni.

Diversamente dai precedenti anni, il 2016 si presenta in linea con il dato climatologico e registra una precipitazione totale media annua delle stazioni di 771 mm. A conferma della variabilità spaziale, si osservano andamenti differenziati nei capoluoghi. Una metà mostra anomalie positive, che vanno dai +3,1 mm di Bolzano ai +407,6 mm di Bari, mentre i restanti capoluoghi anomalie negative che oscillano fra i -6,9 mm di Trento e i -440,3 mm di Genova.

Per apprezzare la variabilità del fenomeno in un periodo di tempo più ampio, il valore medio del periodo 2002-2016 della precipitazione totale media annua delle stazioni meteorologiche è confrontato con il valore climatico 1971-2000 (Prospetto 4).

PROSPETTO 4. PRECIPITAZIONE TOTALE MEDIA E VARIAZIONE DAL VALORE CLIMATICO NELLE STAZIONI METEOROLOGICHE PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Anni 2002-2016, 1971-2000, valori assoluti in millimetri e valori percentuali

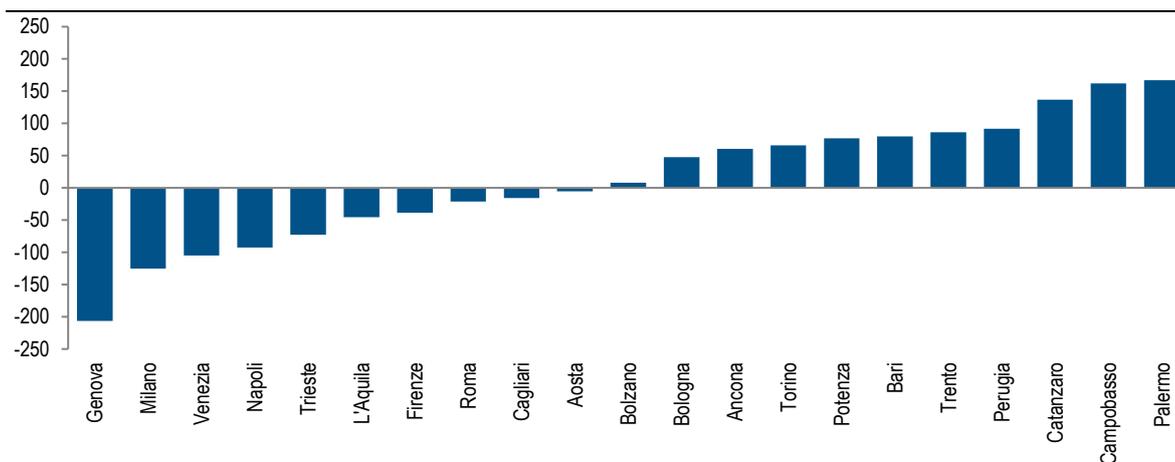
CAPOLUOGO DI REGIONE	Precipitazione totale media		
	2002-2016	valore climatico 1971-2000	variazione % dal valore climatico
Torino	938,1	872,1	7,6
Aosta	521,3	526,8	-1,0
Genova	1064,5	1270,7	-16,2
Milano	830,4	955,8	-13,1
Bolzano/Bozen	699,9	692,1	1,1
Trento	987,7	901,5	9,6
Venezia	700,0	804,8	-13,0
Trieste	914,0	986,4	-7,3
Bologna	802,4	755,0	6,3
Firenze	776,6	815,0	-4,7
Perugia	875,6	783,8	11,7
Ancona	736,1	675,4	9,0
Roma	768,2	789,3	-2,7
L'Aquila	640,6	686,1	-6,6
Campobasso	713,8	551,8	29,4
Napoli	883,7	976,1	-9,5
Bari	609,5	529,7	15,1
Potenza	754,3	677,2	11,4
Catanzaro	1096,9	960,1	14,3
Palermo	636,5	469,7	35,5
Cagliari	387,6	403,5	-4,0

La precipitazione totale media annua delle stazioni nel periodo 2002-2016 è stata pari a 778 mm, l'1,6% in più rispetto al valore climatico. La variabilità della precipitazione totale media annua nei capoluoghi si conferma elevata.

Nel periodo 2002-2016 alcune città sono state interessate da livelli di piogge più consistenti come Catanzaro (1.096,9 mm) e Genova (1.064,5 mm), seguiti da Trento (987,7 mm) e Torino (938,1 mm). Le città con i volumi di precipitazione più bassi sono state Cagliari (387,6 mm), Aosta (521,3 mm) e Bari (609,5 mm).

Un'analisi delle anomalie rispetto al valore climatico 1971-2000, evidenzia che nel periodo più recente solo Aosta e Bolzano presentano valori prossimi alla media climatologica (Figura 5).

FIGURA 5. ANOMALIE DELLA PRECIPITAZIONE TOTALE MEDIA ANNUA DEL PERIODO 2002-2016 RISPETTO AL VALORE CLIMATICO 1971-2000 PER CAPOLUOGO DI REGIONE. Valori assoluti in millimetri



Degli altri capoluoghi, poco meno della metà registra anomalie negative. Genova segna quella più alta con -206,2 mm (pari ad una variazione del -16,2%), restando comunque la seconda città per volume di precipitazione totale media annua. Una diminuzione di precipitazione rispetto al valore climatico è significativa anche a Milano e Venezia pari rispettivamente a -125,3 mm e -104,8 mm di pioggia (circa il 13% in meno rispetto al valore climatico).

I restanti capoluoghi sono interessati da anomalie positive. Nel periodo 2002-2016 Palermo e Campobasso presentano i maggiori incrementi (rispettivamente +35,5% e +29,4%) mantenendo volumi di precipitazione inferiori alla media delle stazioni esaminate e registrando anomalie positive di poco superiori ai +162 mm.

Considerando le stazioni dei capoluoghi del Nord, si osserva una diminuzione media delle precipitazioni di -34 mm nel periodo osservato rispetto al valore climatico. Di contro, il Sud e il Centro presentano in media aumenti rispettivamente pari a +58,6 mm e +23,2 mm.

Più contenute le anomalie degli indici estremi climatici di precipitazione

Per i capoluoghi di regione sono stati calcolati 6 indici di estremi climatici di precipitazione della metodologia dell'ETCCDI (Prospetto 5).

Nel periodo 2002-2016, gli indici confermano la variabilità spaziale e temporale dei fenomeni esaminati, tuttavia, diversamente dagli indici di temperatura, non sembrano emergere indicazioni nette sulle variazioni dei valori registrati per la maggior parte delle stazioni.

Fra gli indici definiti da un valore soglia, i **giorni piovosi** (Indice R1), con almeno 1 mm di precipitazione, forniscono una misura del fenomeno precipitazione nelle aree monitorate. Nel periodo 2002-2016, i giorni piovosi sono stati 82 all'anno, in linea con il valore climatico. Le anomalie dell'indice rispetto alla media climatologica sono comprese tra +8 giorni di Palermo e -5 di Venezia.

PROSPETTO 5. INDICI DI ESTREMI CLIMATICI DI PRECIPITAZIONE PER CAPOLUOGO DI REGIONE

Anni 2002-2016, 1971-2000, valori medi in giorni e millimetri

CAPOLUOGO DI REGIONE		Giorni con precipitazione >1 mm	Giorni con precipitazione >20 mm	Giorni con precipitazione >50 mm	Giorni consecutivi con pioggia (CWD)	Giorni consecutivi senza pioggia (CDD)	Precipitazione nei giorni molto piovosi (R95P)
		(R1)	(R20)	(R50)			
Torino	2002-2016	73	15	2	6	26	268,9
	1971-2000	75	14	1	6	27	196,8
Aosta	2002-2016	72	5	1	5	25	121,2
	1971-2000	69	6	1	5	25	140,6
Genova	2002-2016	74	17	4	6	25	267,6
	1971-2000	78	20	5	6	24	367,2
Milano	2002-2016	77	13	1	7	26	148,8
	1971-2000	78	16	1	6	26	203,7
Bolzano/Bozen	2002-2016	77	9	0	6	27	152,5
	1971-2000	78	8	0	6	26	163,9
Trento	2002-2016	113	12	0	8	24	262,5
	1971-2000	113	9	1	9	26	199,7
Venezia	2002-2016	74	9	1	5	26	167,3
	1971-2000	79	11	1	6	24	188,2
Trieste	2002-2016	89	12	1	6	25	199,1
	1971-2000	91	14	1	7	23	228,3
Bologna	2002-2016	79	11	1	5	25	210,9
	1971-2000	78	10	1	5	24	183,2
Firenze	2002-2016	83	10	1	7	24	163,8
	1971-2000	84	10	1	7	24	193,0
Perugia	2002-2016	90	11	1	6	24	214,5
	1971-2000	85	9	1	6	24	179,0
Ancona	2002-2016	84	9	1	7	26	181,4
	1971-2000	79	8	1	5	24	167,0
Roma	2002-2016	77	10	1	6	27	178,5
	1971-2000	77	11	1	6	28	186,6
L'Aquila	2002-2016	87	5	0	5	23	118,4
	1971-2000	89	6	0	6	23	144,0
Campobasso	2002-2016	88	8	0	6	21	223,4
	1971-2000	81	5	0	5	24	125,8
Napoli	2002-2016	81	14	2	8	26	235,5
	1971-2000	82	15	2	7	26	255,3
Bari	2002-2016	74	7	1	5	25	153,2
	1971-2000	67	6	1	5	27	136,2
Potenza	2002-2016	96	7	0	7	23	155,5
	1971-2000	89	6	0	6	25	142,9
Catanzaro	2002-2016	94	16	3	7	27	315,4
	1971-2000	87	13	2	7	27	260,3
Palermo	2002-2016	74	7	1	7	30	189,6
	1971-2000	66	4	1	5	30	121,0
Cagliari	2002-2016	57	4	0	5	30	104,9
	1971-2000	59	3	0	5	30	112,8

I capoluoghi che presentano il maggior numero di giorni piovosi sono Trento (113) seguito da Potenza (96) e Catanzaro (94). Cagliari, invece, registra il minor numero di giorni (57) ed anche il valore più basso di intensità media giornaliera di precipitazione (6,7 mm). L'intensità media giornaliera di precipitazione calcolata per le stazioni esaminate risulta in media pari a circa 9,5 mm negli ultimi quindici anni, in linea con il valore climatico. La stazione con la più alta intensità media giornaliera di pioggia è quella di Genova (14 mm), seguita da Torino (12,8 mm).

I **giorni di precipitazione superiore a 20 mm** (Indice R20) identificano eventi di precipitazione molto intensa che nel periodo 2002-2016 sono stati in media 10 - in linea con il valore climatico - oscillando fra i 4 giorni di Cagliari e i 17 giorni di Genova. Lo scostamento più elevato dalla media 1971-2000 è stato pari a 3 giorni, in meno per Milano e Genova e in più per Campobasso, Catanzaro, Palermo e Trento. A partire dal 2008, l'indice, pur in presenza di oscillazioni, evidenzia un aumento del numero di giorni con precipitazione molto intensa. In corrispondenza degli anni 2010, 2014 e 2013 il valore dell'indice ha superato sempre il valore medio del periodo 2002-2016.

I **giorni con precipitazione superiore a 50 mm** (Indice R50) sono in media 1 giorno all'anno, in linea con il valore climatico. Le città che presentano i valori più elevati dell'indice sono Genova (4 giorni), Catanzaro (3) e Torino (2). Nel capoluogo ligure, in particolare, nel 2014 si sono verificati 11 giorni di precipitazione estremamente intensa, il valore più alto dal 1971. Il fenomeno ha avuto una frequenza simile a Genova anche negli anni 1977 (9 giorni), 1990 (10), 1992 (9) e 1997 (8).

Nel periodo 2002-2016 entrambi gli indici di durata **giorni consecutivi con pioggia** (Indice CWD) e **giorni consecutivi senza pioggia** (Indice CDD) presentano variazioni molto modeste rispetto alla media climatologica. I giorni consecutivi con pioggia sono stati mediamente 6, con i valori più alti a Trento (8), Napoli e Firenze (7). I giorni consecutivi senza pioggia sono stati mediamente 25, con un massimo a Cagliari e Palermo (30), seguite da Catanzaro, Bolzano e Roma (27).

L'indice di **precipitazione nei giorni molto piovosi** (Indice R95P) rappresenta il totale annuale delle precipitazioni nei giorni piovosi superiori al 95° percentile del periodo climatologico. Negli anni 2002-2016, il 24,7% della precipitazione totale media annua delle stazioni esaminate (corrispondente ad un valore medio di 192 mm) si è concentrata nei giorni molto piovosi, con un massimo a Catanzaro (28,8%), seguito da Torino (28,7%) e Genova (25,1%) ed un minimo a Cagliari (27,1%).

Confrontando il valore medio del periodo 2002-2016 col valore climatico (185,5 mm), le più alte anomalie positive si registrano a Campobasso (+97,2 mm), Torino (+72,1 mm) e Palermo (+68,6 mm). Diminuzioni si hanno invece a Genova (-99,6 mm) e Milano (-54,9 mm). L'indice ha registrato nel 2010 e 2014 i valori più elevati del periodo osservato, raggiungendo rispettivamente il 26,1% e 24,2%. Nel 2016, il valore medio dell'indice è in linea con il dato climatologico e si attesta sul 24,1% della precipitazione totale media annua con una significativa variabilità tra le città.

Gli indici, secondo i valori più alti delle anomalie medie registrate, evidenziano variazioni contenute nelle città osservate (Prospetto 6).

PROSPETTO 6. INDICI DI ESTREMI DI PRECIPITAZIONE, PER LE PRIME TRE CITTÀ CON LE MAGGIORI ANOMALIE DEL PERIODO 2002-2016 DAL VALORE CLIMATICO 1971-2000. Valori medi in giorni e millimetri

Giorni con precipitazione >1 mm (R1)	Giorni con precipitazione >20 mm (R20)	Giorni consecutivi con pioggia (CWD)	Giorni consecutivi senza pioggia (CDD)	Precipitazione nei giorni molto piovosi (R95P) (mm)
Palermo (+8)	Trento (+5)	Palermo (+2)	Venezia (+2)	Campobasso (+97,2)
Campobasso (+7)	Campobasso (+3)	Ancona (+2)	Trieste (+2)	Torino (+72,1)
Bari (+7)	Catanzaro (+3)	Campobasso (+1)	Ancona (+2)	Palermo (+68,6)

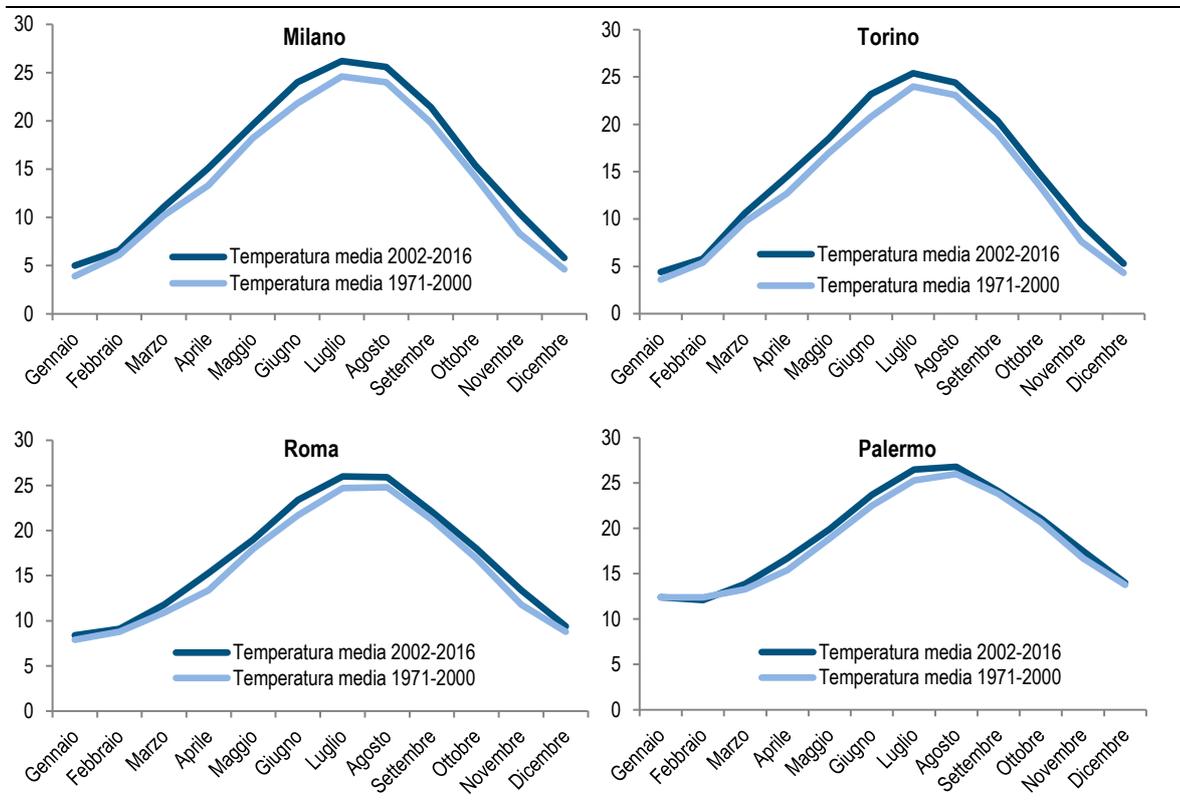
Stretta la relazione tra condizioni climatiche e qualità dell'aria nelle città

La variabilità climatica e l'occorrenza di fenomeni intensi stanno interessando le città in maniera diversa in base a posizione geografica, orografia dei territori e dimensione dell'area urbana nonché secondo la tipologia dei fenomeni meteo-climatici osservati. Intensità, discontinuità e persistenza degli eventi climatici impattano sulla fragilità dei sistemi urbani.

La presenza di una diffusa cementificazione, superfici asfaltate che prevalgono su aree verdi, emissioni di autoveicoli, di impianti industriali e di sistemi di aria condizionata amplificano gli effetti di un aumento della temperatura dell'aria. Ciò contribuisce a determinare un riscaldamento urbano, caratterizzato dall'aumento del differenziale termico tra aree urbane e aree rurali e dalla riduzione di quello fra temperatura diurna e notturna, dando vita alle così dette isole di calore (*Urban Heat Islands UHI*).

Statistiche ed indicatori meteorologici e di eventi estremi climatici relativi alle città rappresentano informazioni rilevanti nella costruzione di sistemi integrati di dati per analizzare contesti complessi come quelli urbani e impatti di fenomeni non lineari interagenti di natura ambientale, sociale ed economica. A questo scopo è necessario utilizzare informazioni ad una scala sia spaziale che temporale pertinente agli obiettivi delle analisi. I valori delle temperature medie a livello mensile mettono in evidenza aspetti di variabilità climatica legati alla stagionalità (Figura 6).

FIGURA 6. TEMPERATURE MEDIE MENSILI PERIODO 2002-2016 E PERIODO CLIMATOLOGICO 1971-2000.
Valori assoluti in gradi Celsius



Confrontando le temperature medie mensili del periodo 2002-2016 con quelle del periodo climatico 1971-2000, sulla base dei dati giornalieri delle stazioni di alcuni grandi capoluoghi di regione, si osserva che la quasi totalità di mesi ha segnato un aumento delle temperature, che appare più significativo nelle stagioni estreme (inverno-estate) rispetto alle intermedie (primavera-autunno). L'incremento della temperatura media ha impatti rilevanti, a parità di pressioni ambientali collegate al metabolismo socio-economico dei sistemi urbani che incidono sulla qualità dell'ambiente (come ad esempio l'uso di risorse naturali e combustibili). Condizioni e variabilità climatiche su base mensile possono determinare un peggioramento o la mitigazione dell'inquinamento nelle città.

Confrontando i dati meteo climatici con quelli sull'inquinamento atmosferico e sulle politiche per lo sviluppo del verde urbano⁷, emergono interessanti relazioni fra fenomeni già complessi di per sé, esemplificate in particolare per i capoluoghi di maggiori dimensioni.

L'inquinamento da *ozono troposferico* (O₃) si manifesta principalmente nel periodo estivo, poiché la reazione chimica che lo produce è legata alla fotosintesi nelle ore di massimo irraggiamento. Nel periodo 2013-2016, considerando il *valore obiettivo a lungo termine dell'ozono per la protezione della salute umana*⁸, le analisi mostrano che l'associazione con l'indice rappresentativo delle onde di calore (WSDI) e con la media delle temperature massime dei mesi estivi (giugno-agosto) è molto significativa nelle città (Prospetto 7).

PROSPETTO 7. INQUINAMENTO ATMOSFERICO DA O₃ (OZONO TROPOSFERICO), PM₁₀ (POLVERI SOTTILI CON DIAMETRO <= 10 µm) E NO₂ (BIOSSIDO DI AZOTO) NEI CAPOLUOGHI DI REGIONE. Anni 2013-2016, valori assoluti in giorni e valori percentuali

CAPOLUOGO DI REGIONE	O ₃ (a)				PM ₁₀ (b)				NO ₂ (c)			
	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016	2013	2014	2015	2016
	giorni	giorni	giorni	giorni	%	%	%	%	%	%	%	%
Torino	39	43	57	52	100	100	100	100	100	67	75	50
Aosta	25	10	59	44	0	0	0	0	0	0	0	0
Genova	71	87	141	181	0	0	33	0	70	67	75	63
Milano	20	45	52	100	100	100	100	100	0	86	75
Bolzano/Bozen	35	0	48	20	0	0	0	0	33	0	50	0
Trento	50	19	62	29	0	0	0	0	50	50	50	50
Venezia	45	31	77	50	100	100	100	100	20	20	20	40
Trieste	89	14	32	14	0	0	0	0	33	33	50	0
Bologna	75	44	55	46	33	0	33	0	33	33	33	33
Firenze	31	18	78	49	50	0	0	0	50	50	50	50
Perugia	5	17	36	16	0	0	33	0	0	0	0	0
Ancona	12	6	17	7	0	0	0	0	0	0	0	0
Roma	42	25	40	23	31	31	46	8	62	46	62	62
L'Aquila	2	2	27	14	0	0	0	0	0	0	0	0
Campobasso	0	7	18	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Napoli	34	57	39	31	88	25	50	33	63	63	67	67
Bari	11	9	19	4	0	0	0	0	0	0	20	20
Potenza	50	3	58	37	0	0	0	0	0	0	0	0
Catanzaro	51	23	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0
Palermo	0	1	3	0	0	67	20	13	44	29	57	33
Cagliari	8	38	34	1	0	33	33	33	57	0	0	0

Fonte: Istat, Rilevazione Dati ambientali nelle città

(a) O₃: numero massimo di giorni di superamento del valore obiettivo a lungo termine per la protezione della salute umana.

(b) PM₁₀: percentuale di centraline, con misurazioni valide, che hanno superato più di 35 volte nell'anno il valore limite giornaliero per la protezione della salute umana.

(c) NO₂: percentuale di centraline, con misurazioni valide, che hanno superato il valore limite annuale per la protezione della salute umana.

⁷Istat, Rilevazione Dati ambientali nelle città - Anni 2013-2016 (<https://www.istat.it/it/archivio/207482>).

⁸ Secondo la normativa (cfr. il d. Lgs. 2010/155) il valore obiettivo a lungo termine corrisponde ad una concentrazione di 120 µg/m³ di ozono, media mobile di 8 ore massima giornaliera, da non superare più di 25 volte nell'anno.

Fra i capoluoghi di regione, dove la situazione per l'ozono permane critica in tutto il periodo esaminato - ovvero sempre sopra i 25 giorni di sfioramento dell'obiettivo - in testa si trova Genova, con un peggioramento crescente nel periodo (da 39 a 181 giorni di sfioramento) accompagnato da un sensibile incremento del valore dell'indice sulle ondate di calore. Seguono Torino, Venezia, Bologna e Napoli che, negli anni esaminati, presentano oscillazioni concomitanti a quelle dei corrispondenti indici sulle ondate di calore e delle temperature massime estive. A Milano, Firenze, Aosta, Potenza e Trento, invece, si rileva un forte incremento del numero di giorni sopra l'obiettivo di 25 a partire dal 2015 e si conferma, con una leggera attenuazione, anche nel 2016 in corrispondenza dell'aumento dei giorni continuativi di caldo e delle temperature massime estive. Nei rimanenti capoluoghi di regione o provincia autonoma⁹ nel 2016 il numero di giorni di superamento dell'obiettivo, nonostante alcune situazioni critiche negli anni precedenti, rimane sotto i 25 giorni.

Passando a considerare la qualità dell'aria urbana relativamente alla *materia particolata* PM₁₀¹⁰ e al *biossido di azoto* (NO₂)¹¹ emerge chiaramente come le situazioni più negative, per uno o entrambi gli inquinanti, in alcuni capoluoghi si sono verificate in corrispondenza di diminuzioni delle precipitazioni durante i mesi autunnali e invernali. Tra il 2013 e il 2016, a Torino e Milano si mantiene costante la criticità del PM₁₀, con il 100% di centraline con più di 35 giorni di superamento del limite giornaliero.

Si osserva anche per il biossido di azoto un peggioramento negli anni 2014 e 2015. In questi anni le precipitazioni nei mesi autunnali e invernali hanno segnato forti decrementi e, parallelamente, la percentuale di centraline oltre al limite annuale è salita dal 67% al 75% a Torino e da 0% all'86% a Milano. Nel 2016 si registra una modesta attenuazione del fenomeno in entrambe le città e, in presenza di maggiori volumi di precipitazione, la percentuale di centraline oltre al limite annuale scende a Torino fino al 50% e a Milano al 75%. Simili andamenti relativamente all'NO₂ si osservano anche a Genova, Roma e Napoli, dove invece per il PM₁₀ la situazione appare meno critica in tutti gli anni considerati. Diversa la situazione di Venezia dove si mantiene critica la qualità dell'aria per la concentrazione del PM₁₀, mentre per il biossido di azoto un peggioramento si registra solo nel 2016, nonostante la riduzione delle precipitazioni iniziata l'anno precedente. Il superamento dei limiti fissati dalla normativa determina effetti negativi sulla salute umana ed espone le istituzioni pubbliche nazionali e locali a procedure di infrazione da parte dell'Unione Europea.

Milano e Roma risultano fra le città più calde nei mesi estivi del 2016, con valori elevati dell'indice sulle ondate di calore e della temperatura massima; tali condizioni meteo climatiche si sono manifestate anche negli anni precedenti. Da segnalare gli interventi di mitigazione degli effetti del clima messi in campo nel 2016 nel comune di Milano. Sono stati, infatti, messi a dimora ben 7.881 nuovi alberi (a seguito delle nascite dell'anno) ed effettuati interventi per rinverdimento di aree di nuova edificazione o oggetto di significativa ristrutturazione. Sono state inoltre realizzate opere di incremento del patrimonio arboreo in aree scoperte di competenza degli edifici esistenti, trasformazione di lastrici solari in giardini pensili e rinverdimento di pareti di edifici.

⁹ Roma, Bolzano, Perugia, Campobasso, Trieste, L'Aquila, Catanzaro, Ancona, Bari, Cagliari e Palermo.

¹⁰ Essendo il PM₁₀ volatile e con concentrazioni in atmosfera minori all'aumentare delle piogge e maggiori in assenza di queste (a parità di altre condizioni), l'indicatore permette di cogliere le situazioni più critiche, che possono creare danni sanitari anche nel breve periodo, normalmente concentrate in autunno inverno.

¹¹ Essendo il biossido di azoto soggetto a volatilità limitata e a permanenza in atmosfera anche per periodi medio-lunghi, l'indicatore permette di misurare l'inquinamento collegato ad un rischio per la salute non contingente, ma con effetti negativi più duraturi sulla popolazione esposta.

Glossario

Cambiamenti climatici (CC): Spostamento dalla media climatica ottenuta dalle rilevazioni di lungo termine (almeno trenta anni) delle variabili osservate (temperatura minima, temperatura massima, temperatura media, precipitazione), influenzato direttamente o indirettamente da attività umane che possono alterare la composizione dell'atmosfera.

Indicatore sulla qualità dell'aria urbana per il PM10: L'indicatore è ottenuto calcolando la percentuale di centraline attive di monitoraggio dell'aria con misurazioni valide (cfr. il d. Lgs. 2010/155) che hanno superato il limite giornaliero (50 µg/m³) della concentrazione media di polveri sottili (PM10) più di 35 giorni nell'anno.

Indicatore sulla qualità dell'aria urbana per il biossido di azoto (NO₂): L'indicatore è ottenuto calcolando la percentuale di centraline attive di monitoraggio dell'aria con misurazioni valide (cfr. il d. Lgs. 2010/155) che hanno superato il limite della concentrazione media annua (40 µg/m³) di biossido di azoto (NO₂).

Indici di estremi di precipitazione:

- **giorni con pioggia (indice R1):** giorni nell'anno con precipitazione giornaliera ≥ 1 mm.
- **giorni consecutivi senza pioggia (indice CDD – Consecutive Dry Days):** numero massimo di giorni con precipitazione giornaliera < 1 mm.
- **giorni piovosi consecutivi (Indice CWD - Consecutive Wet Days):** numero massimo di giorni con precipitazione giornaliera > 1 mm.
- **numero di giorni con precipitazione estremamente intensa (Indice R50):** giorni nell'anno con precipitazione giornaliera ≥ 50 mm.
- **numero di giorni con precipitazione molto intensa (Indice R20):** giorni nell'anno con precipitazione giornaliera ≥ 20 mm.
- **precipitazione nei giorni estremamente piovosi (Indice R99P):** giorni estremamente piovosi - somma in mm nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori 99° percentile.
- **precipitazione nei giorni molto piovosi (Indice R95P):** giorni molto piovosi - somma in mm nell'anno delle precipitazioni giornaliere superiori al 95° percentile.
- **precipitazione totale annua (Indice PRCP TOT):** somma in millimetri della precipitazione annuale.

Indici di estremi di temperatura:

- **giorni caldi (indice TX90P):** numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è superiore a 90° percentile.
- **giorni con gelo (indice FD0):** numero dei giorni nell'anno con temperatura minima $< 0^{\circ}\text{C}$.
- **giorni estivi (indice SU25):** numero di giorni nell'anno con temperatura massima $> 25^{\circ}\text{C}$.
- **notte tropicali (TR20):** numero di giorni con temperatura minima $> 20^{\circ}\text{C}$.
- **giorni freddi (indice TX10P):** numero di giorni in cui la temperatura massima giornaliera è inferiore al 10° percentile.
- **indice di durata dei periodi di caldo (indice WSDI, Warm Spell Duration Index):** numero di giorni nell'anno in cui la temperatura massima è superiore al 90° percentile per almeno 6 giorni consecutivi.
- **indice di durata dei periodi di freddo (indice CSDI, Cold spell duration index):** numero di giorni nell'anno in cui la temperatura minima è inferiore al 10° percentile per almeno 6 giorni consecutivi.
- **notte calde (indice TN90p):** numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera superiore al 90° percentile.
- **notte fredde (indice TN10p):** numero di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile.

Normale Climatologica: in base a dei criteri stabiliti nel 1935 dalla World Meteorological Organization (WMO) delle Nazioni Unite, le medie climatologiche di riferimento sono calcolate in tutto il mondo sul medesimo intervallo di 30 anni, denominato *normale climatologica*. Tale periodo è sufficientemente ampio per ricavare indicatori di tendenza e indici di variabilità di fenomeni

meteorologici e per lo studio del clima nel lungo periodo. Le medie riferite al periodo climatico, applicando i criteri definiti dalla WMO sono chiamati *valori normali* o *valori climatici*. Le scadenze dei periodi normali di riferimento sono periodicamente aggiornate per tener conto del cambiamento del clima. Fino a qualche anno fa, il periodo di riferimento normale si ripeteva ogni 30 anni, tuttavia, i rapidi cambiamenti del clima degli ultimi decenni hanno indotto la WMO a introdurre una nuova periodicità per le normali climatologiche (1971-2000, 1981-2010)..

NO₂: il biossido di azoto è un inquinante gassoso a prevalente componente secondaria, in quanto è il prodotto dell'ossidazione del monossido di azoto (NO) in atmosfera; solo in proporzione minore viene emesso direttamente in atmosfera.

O₃: l'ozono troposferico è un inquinante secondario che si forma in atmosfera attraverso processi fotochimici in presenza di inquinanti primari quali gli ossidi di azoto (NO_x) e i Composti organici volatili (Cov).

PM₁₀: una delle numerose frazioni in cui viene classificato il particolato, materiale presente nell'atmosfera in forma di particelle microscopiche.

Precipitazione: Insieme delle particelle delle nubi spinte verso il basso da venti discendenti fino a raggiungere il suolo. Le particelle allo stato liquido vengono definite pioviggine, pioggia, rovescio, temporale, rugiada e brina; le particelle allo stato solido vengono definite neve o grandine.

Stazioni di misura meteorologiche: è un insieme di strumenti di misura che permettono di controllare le condizioni fisiche dell'atmosfera in un dato luogo relativamente ai suoi parametri fondamentali, a fini meteorologici e climatici.

Temperatura dell'aria: livello termico dell'atmosfera esistente in un punto e in un determinato momento. Rappresenta il livello energetico dell'aria, cioè l'energia cinetica media associata alle molecole dell'aria per effetto del riscaldamento dalla radiazione solare.

Nota Metodologica

Obiettivi conoscitivi

Negli ultimi decenni è sensibilmente aumentato l'interesse verso la conoscenza delle variazioni climatiche e degli eventi estremi climatici. Tali informazioni sono fondamentali per valutare le conseguenze su ambiente naturale, salute umana, sistemi socio-economici e sistemi urbani. I crescenti fabbisogni informativi hanno determinato lo sviluppo di *framework statistici* collegati allo studio del clima, sviluppati dai organismi internazionali¹², per fornire metodologie condivise nella produzione di dati e indicatori comparabili fra i paesi.

Ampie serie temporali di dati, basati su osservazioni giornaliere di variabili meteorologiche, sono alla base dell'applicazione di modelli per lo studio di fenomeni climatici ed il calcolo di indicatori, a diversa scala temporale e spaziale. Gli indici statistici sono per lo più riferiti a fenomeni legati a precipitazione e temperatura e alla loro variabilità. La variabilità climatica si riferisce a fluttuazioni relative a variazioni di parametri meteorologici rispetto ai valori medi di un lungo periodo (almeno trenta anni) preso come riferimento, denominato Normale Climatologica.

Effetti di eventi estremi climatici sono particolarmente evidenti anche nei sistemi urbani, caratterizzati da un'elevata concentrazione di persone e infrastrutture. Molte città hanno registrato pesanti impatti causati da fenomeni di variabilità climatica negli ultimi due decenni, peraltro stimata in aumento nel futuro prossimo. Piogge estremamente intense e alluvioni, periodi con assenza di piogge, aumento della temperatura dell'aria, ondate di calore che persistono per giorni e notti, diminuzioni dei giorni freddi sono eventi che aumentano i rischi per sicurezza e salute delle persone anche nelle città italiane. Tali fenomeni possono inoltre causare danni alle infrastrutture e al patrimonio artistico e culturale, criticità nello svolgimento delle attività economiche e nell'erogazione di servizi essenziali quali risorse idriche, energia e trasporti.

¹² Commissione Economica per l'Europa delle Nazioni Unite (UNECE), IPCC, Commissione Europea ed Eurostat, Agenzia Europea per l'ambiente (EEA), UNESCO.

I dati e gli indicatori meteo-climatici si aggiungono all'insieme delle informazioni statistiche prodotte dall'Istat sul tema delle città, anche con l'obiettivo di fornire nuove opportunità di analisi congiunta con informazioni sullo stato dell'ambiente di primaria importanza.

Le analisi delle condizioni meteo-climatiche delle città considerate sono effettuate a partire dai valori medi e da indici di estremi climatici di precipitazione e temperatura di un insieme di stazioni di misura, parametri significativi per descrivere il clima. Per osservare la variabilità dei fenomeni in un arco temporale sufficientemente ampio, in particolare vengono confrontati i valori medi del periodo 2002-2016 (ultimi 15 anni disponibili) con il valore climatico del trentennio 1971-2000, assunto come Normale Climatologica, secondo le indicazioni internazionali.

Lo studio presentato si basa su un'applicazione degli indici di estremi climatici di temperatura e precipitazione definiti dall'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) della World Meteorological Organization (UN). Nei limiti delle serie di dati disponibili, in particolare vengono confrontati i valori medi di indici di temperatura e precipitazione, delle stazioni dei capoluoghi di regione del periodo 2002-2016 con quelli del periodo climatico 1971-2000. Alcuni di questi risultati, integrati con dati della rilevazione Istat *Dati ambientali nelle città*, hanno consentito di sviluppare per gli anni confrontabili (2013-2016) analisi specifiche sulla relazione fra condizioni-variabilità climatiche e qualità dell'aria per alcuni capoluoghi osservati.

I dati delle stazioni meteorologiche prese in esame, situate all'interno o in prossimità del territorio di ciascun capoluogo di regione, forniscono misure dei fenomeni climatici delle specifiche aree monitorate. Pertanto, lo studio degli indicatori meteorologici e degli indici di eventi estremi climatici fa riferimento ai caratteri climatici delle aree monitorate.

Fonti di dati

Inserita nel Programma statistico nazionale (codice IST-02190), *Dati meteo-climatici ed idrologici* è una rilevazione corrente che raccoglie dati di variabili meteorologiche ed idrologiche presso Enti Gestori delle reti di stazioni di misura nel territorio nazionale. Nell'ambito della rilevazione avviata nel luglio 2017, sono stati raccolti dati su base giornaliera direttamente presso 65 Enti che gestiscono le reti di stazioni di misura meteo-climatiche ed idrologiche relative ai capoluoghi di Regione e di Provincia:

- a livello nazionale, Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo ENAV, Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria CREA-AA, ENEA, CNR;
- a livello locale, Regioni, Province Autonome, Servizi idrografici regionali, Università, Protezione civile, Agenzie Regionali per la Protezione Ambientale, consorzi di bonifica e di difesa provinciali e/o regionali.

Metodologia dell'indagine

Si tratta di una rilevazione corrente dell'Istat il cui periodo di riferimento dei dati è l'anno. Le unità di rilevazione sono gli Enti Gestori delle stazioni di misura, le unità di analisi sono le singole stazioni di misura meteorologiche ed idrometriche. I dati sono stati richiesti attraverso auto-compilazione di tracciati record in formato excel, effettuando anche l'aggiornamento di informazioni dell'anagrafiche relative a Enti Gestori e stazioni, quali denominazione Ente e stazione, stazioni gestite o dismesse, comune di appartenenza, coordinate piane, altitudine s.l.m., stato dell'attività della stazione. Per ogni singola stazione, vengono richiesti i dati giornalieri delle misurazioni delle variabili meteo-climatiche osservate: altezza delle precipitazioni, temperatura minima, temperatura massima, temperatura media, umidità.

Ai fini dell'aggiornamento della banca dati Istat per gli anni 1971-2016, il campo di osservazione dell'indagine ha riguardato circa 680 stazioni di misura, ognuna delle quali è geo-referenziata e proiettata al sistema di riferimento UTM zona 33 con datum WGS84; la quota altimetrica di ogni stazione è verificata utilizzando il Digital Elevation Model a 20 metri (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale).

Per quanto riguarda la qualità dei dati, essi sono sottoposti a numerosi controlli di validità da parte degli organismi titolari delle reti di monitoraggio prima di essere rilasciati. Ulteriori verifiche sono state fatte sulle serie annuali dei dati forniti, anche attraverso le procedure di calcolo degli indicatori. Sono stati raccolti dati e informazioni su 484 stazioni termo-pluviometriche situate

all'interno o in prossimità del territorio dei capoluoghi sia di regione che di provincia. I dati raccolti sono stati sottoposti a procedure statistiche di controlli di qualità relative a omogeneità, completezza e coerenza delle serie temporali. Tali controlli hanno riguardato le serie storiche dei dati mensili e annuali dei parametri meteorologici e le serie dei vari indicatori calcolati. La qualità dei dati acquisiti dai rispondenti, in molti casi non si è rivelata adeguata ai requisiti richiesti, poiché le serie di dati giornalieri risentivano soprattutto degli effetti negativi dello spostamento fisico della stazione di misura (cambiamenti nell'orientamento e/o sostituzione della strumentazione) oppure dell'interruzione del servizio di rilevamento della stazione per periodi anche molto significativi. Questo tipo di problematiche determina per alcune stazioni la mancanza di lunghe serie di dati giornalieri complete e omogenee per tutti i parametri meteorologici osservati.

Sono pervenuti dati e informazioni relative a 484 stazioni, delle quali 122 sono situate all'interno del territorio comunale dei capoluoghi di regione. Quest'ultime sono state considerate come insieme di partenza per gli obiettivi di studio contenuti in questo Report. I controlli di qualità applicati alle serie temporali di dati, hanno determinato una forte diminuzione delle stazioni da utilizzare per le analisi, scese a 43. Tali stazioni selezionate hanno fornito la base dati per la stima di indicatori di parametri meteorologici e indici estremi di temperatura e precipitazione riferiti ai capoluoghi di regione, nei periodi osservati. Fra le 43 stazioni esaminate, 10 sono ubicate negli aeroporti. Quest'ultime sono state utilizzate per confronti con i dati delle stazioni situate all'interno delle città, in particolare per stimare il differenziale termico fra aree urbane e periurbane. Fa eccezione la stazione di Napoli Capodichino che, in mancanza di altre serie di dati complete, è stata utilizzata come rappresentativa delle condizioni climatiche del contesto urbano.

Le 43 stazioni usate per le analisi sui capoluoghi di regione, sono riportate nel Prospetto A.. In particolare sono state utilizzate 27 stazioni per la temperatura e 34 per la precipitazione ai fini delle analisi.

PROSPETTO A. STAZIONI TERMOPLUVIOMETRICHE NEI COMUNI CAPOLUOGO DI REGIONE E QUOTA S.I.M.

Stazione meteorologica	quota s.l.m. (mt.)	Stazione meteorologica	quota s.l.m. (mt.)
Torino Città	238	Perugia Santa Giuliana	417
Torino Caselle - aeroporto	301	Ancona Torrette	6
Aosta città	583	Roma Collegio Romano	49
Aosta Saint Christophe	545	Roma Collegio Romano-bis	56
Milano Brera*	122	Roma Macao Ufficio idrografico	55
Milano Juvara**	122	Roma Eur**	33
Milano Linate - aeroporto	107	Roma Monte Mario**	124
Bozen	254	Roma Valle	20
Trento Laste	312	Roma Pratolungo -Settecamini**	30
Venezia Istituto Cavanis	20	Roma Fiumicino - aeroporto	2
Venezia Mestre**	4	Roma Ciampino - aeroporto	105
Venezia Tessera - aeroporto	2	L'Aquila	595
Trieste	2	Campobasso	793
Trieste Istituto Nautico	10	Napoli Capodichino - aeroporto	72
Genova Università	21	Bari Idrografico	8
Genova Staglieno**	60	Potenza	811
Genova Sestri	3	Catanzaro	334
Bologna Idrografico	53	Palermo (Osserv. Astronomico)	37
Bologna San Luca**	286	Palermo Punta Raisi - aeroporto	34
Bologna Borgo Panigale - aeroporto	37	Cagliari	76
Firenze Ximeniano	51	Cagliari Elmas - aeroporto	5
Firenze Peretola** - aeroporto	37		

*stazione che misura solo la temperatura

**stazione che misura solo la precipitazione

Per valorizzare tutte le serie di dati complete e disponibili per le stazioni selezionate, considerando le peculiarità del metodo utilizzato, per alcune città gli indicatori sono stati calcolati in media¹³. A tale scopo, sono state considerate stazioni limitrofe e con caratteristiche dei parametri esaminati statisticamente coerenti.

Classificazioni

Nella rilevazione vengono utilizzate: classificazioni territoriali dell'Istat (regioni); classificazioni meteorologiche e climatiche della World Meteorological Organization (UN) e dell'Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI).

Diffusione

Strumenti di diffusione dei risultati della rilevazione sono: Comunicato Stampa (Statistica Report)

Segni convenzionali

Nelle tavole statistiche sono adoperati i seguenti segni convenzionali:

Linea (-):

- a) quando il fenomeno non esiste;
- b) quando il fenomeno esiste e viene rilevato, ma i casi non si sono verificati.

Quattro puntini (...): Il fenomeno esiste, ma i dati non si conoscono per qualsiasi ragione.

Arrotondamenti

Per effetto degli arrotondamenti in migliaia o milioni operati direttamente dall'elaboratore, i dati delle tavole possono non coincidere tra loro per qualche unità (di migliaia o di milioni) in più o in meno. Per lo stesso motivo non sempre è stato possibile realizzare la quadratura verticale o orizzontale nell'ambito della stessa tavola.

Numeri relativi

I numeri relativi (percentuali, quozienti di derivazione, eccetera) sono generalmente calcolati su dati assoluti non arrotondati, mentre molti dati contenuti nel presente volume sono arrotondati (al volume, al milione, eccetera). Rifacendo i calcoli in base a tali dati assoluti si possono pertanto avere dati relativi che differiscono leggermente da quelli contenuto nel testo.

¹³ Per la temperatura: Roma, Genova, Trieste, Aosta. Per la precipitazione: Roma, Firenze, Bologna, Genova, Trieste, Venezia, Aosta.