

# Eventi di calore intenso passati e futuri sulle città italiane nelle nuove simulazioni climatiche ad alta risoluzione

Lo sviluppo di proiezioni climatiche su scala territoriale contribuisce alla pianificazione di interventi preventivi per superare la logica dell'emergenza

DOI 10.12910/EAI2016-009

di **Alessandro Dell'Aquila** e **Sandro Calmanti**, *ENEA*

L'interesse nei confronti della variabilità climatica e delle sue mutazioni su scala locale, negli ultimi anni, si è allargato ben oltre la comunità scientifica, per coinvolgere in maniera sempre più diretta le amministrazioni locali. Gli eventi estremi, come nel caso delle ondate di calore, generano gravi ripercussioni sulle infrastrutture e sulla salute dei cittadini. Attraverso l'attività di ricerca e lo sviluppo di proiezioni climatiche su scala territoriale è possibile contribuire alla pianificazione di interventi preventivi, superando la logica dell'emergenza.

Le proiezioni climatiche disponibili per aree non sempre concordano pienamente sui possibili cambiamenti attesi per il prossimo futuro, in particolare nella rappresentazione di eventi di calore intenso. Occorre dunque comunicare correttamente agli utenti finali l'idea di incertezza associata alle proiezioni climatiche future. Parallelamente, la comunità scientifica deve puntare a migliorare le capacità dei modelli climatici nel riprodurre correttamente tali eventi e più in generale il clima osservato, per rendere più affidabili e fisicamente consistenti le proiezioni climatiche futuri.

In tale contesto, il Laboratorio Modellistica Climatica e Impatti dell'ENEA, che dal 2011 al 2014 ha coordinato il progetto europeo sui servizi climatici nell'area del Mediterraneo, denominato CLIM-RUN (Climate Local Information in the Mediterranean region: Responding to User Needs [www.climrun.eu](http://www.climrun.eu)), sta realizzando una serie di studi e prodotti informativi riguardanti gli eventi di calore intenso nelle proiezioni climatiche future prodotti da diversi Modelli Climatici Regionali (MCR) ad alta risoluzione.

## I Modelli Climatici Regionali

I Modelli Climatici Regionali (MCR) producono scenari climatici ad alta risoluzione (20 km ed oltre) per una data regione usando come forzanti a scala più grande Modelli Climatici Globali (MCG) meno risolti (risoluzione tra i 100 e i 200 km). I MCR migliorano sensibilmente la qualità delle proiezioni climatiche rispetto ai modelli globali MCG, soprattutto in regioni ad orografia complessa [1] e in prossimità delle regioni costiere [2]

I MCR hanno l'obiettivo generale di produrre dati a scala locale per gli studi di valutazione di impatto e adattamento alle fluttuazioni climatiche. Il principale vantaggio che si ha nell'uso di tali modelli rispetto ai modelli climatici globali è la possibilità di limitare le risorse di calcolo necessarie, pur mantenendo una elevata risoluzione spaziale. Tale risoluzione consente una più accurata descrizione dell'interazione fra la dinamica atmosferica e la superficie terrestre, sia dal punto di vista delle interazioni aria-mare che dal punto di vista dell'interazione con la topografia e degli effetti dell'uso del suolo. Fino a pochi anni orsono la maggior parte dei MCR erano essenzialmente composti da una componente atmosferica accoppiata ad un modulo che descriveva l'evoluzione della biosfera e forzata alla superficie marina da una temperatura superficiale del mare (TSM) prescritta. Anche se tale configurazione di MCR può essere sufficiente per molte applicazioni, ci sono casi in cui l'interazione aria-mare a piccola scala può influenzare sostanzialmente la struttura spaziale e temporale del clima regionale. Un esempio tipico è l'Oceano Indiano e dei suoi effetti sul monzone, per i

quali è stato chiaramente dimostrato che le interazioni aria-mare sono essenziali nel descrivere lo sviluppo del monzone asiatico [3].

Un altro importante esempio è costituito dalla regione mediterranea. Questa regione è caratterizzata da linee di costa frastagliate, una penetrazione di mare e terre emerse (penisola italiana ed ellenica) ed un'orografia estremamente complessa (Balcani, Alpi, Appennini e Pirenei), presenza di isole grandi (Baleari, Sicilia, Sardegna, Corsica, Creta e Cipro) e piccole. Dal punto di vista atmosferico, tale complessità morfologica porta alla formazione di fenomeni meteorologici intensi. Un tipico esempio è il maestrale, che soffia attraverso le valli del Rodano e della Garonna nel Golfo del Leone e in tutta la Corsica e la Sardegna attraverso lo stretto di Bonifacio. Un altro esempio è la bora, che soffia da nord-est attraverso una serie di valli, in Adriatico. Diverse località costiere del Mediterraneo centrale (ad esempio il Golfo di Genova) e orientale (ad esempio l'isola di Cipro) sono anche centri di ciclogenisi intensa indotta dall'orografia [4]. I processi fisici sopra accennati, tra le altre cose, hanno due caratteristiche fondamentali. In primo luogo, derivano da una forte interazione aria-mare e, in secondo luogo, avvengono a scale spaziali piccole. Ciò indica che un Modello Climatico Regionale accoppiato Atmosfera-Oceano (MCRAO) ad alta risoluzione è uno strumento ottimale, se non necessario, per fornire simulazioni accurate del clima passato, presente e futuro della regione mediterranea. Questo anche in considerazione del fatto che il bacino del Mediterraneo è stato identificato come una delle regioni più sensibili al riscaldamento globale [5] e quindi

potenzialmente molto vulnerabile ai cambiamenti climatici che potrebbero verificarsi nei prossimi decenni.

In questo contesto negli ultimi anni sono nate diverse iniziative a livello internazionale per la produzione di simulazioni regionali ad alta risoluzione sull'area euro-mediterranea, fra cui il progetto europeo FP6 ENSEMBLES [6] e l'iniziativa internazionale coordinata Med-CORDEX [7] i cui archivi sono ospitati dall'ENEA ([www.medcordex.eu](http://www.medcordex.eu)) che contribuisce anche con simulazioni climatiche prodotte con il suo modello numerico accoppiato Atmosfera-Oceano ENEA-PROTHEUS. Ad oggi la banca dati contiene oltre 110.000 file di dati per un totale di 4,5 TB. Sempre ad oggi, 125 ricercatori di 29 Nazioni del mondo hanno scaricato in tutto oltre 400.000 file dati (per un totale di quasi 14 TB). Tale iniziativa consta di simulazioni regionali a medio-alta risoluzione spaziale (da 50 km fino a circa 10) centrate sul dominio mediterraneo riportato in Figura 1.

Questo tipo di modellistica climatica permette di disporre di un insieme di dati climatici che possono essere analizzati sia per valutare come gli attuali modelli numerici riescano a riprodurre il clima osservato, sia per valutare i possibili cambiamenti climatici in atto, quelli futuri ed i loro relativi impatti.

### Eventi di caldo intenso nel passato nelle simulazioni numeriche

Nel database Med-CORDEX sono presenti delle simulazioni cosiddette di 'valutazione' in cui si analizza la capacità dei modelli regionali di riprodurre le principali caratteristiche del clima osservato. In tali

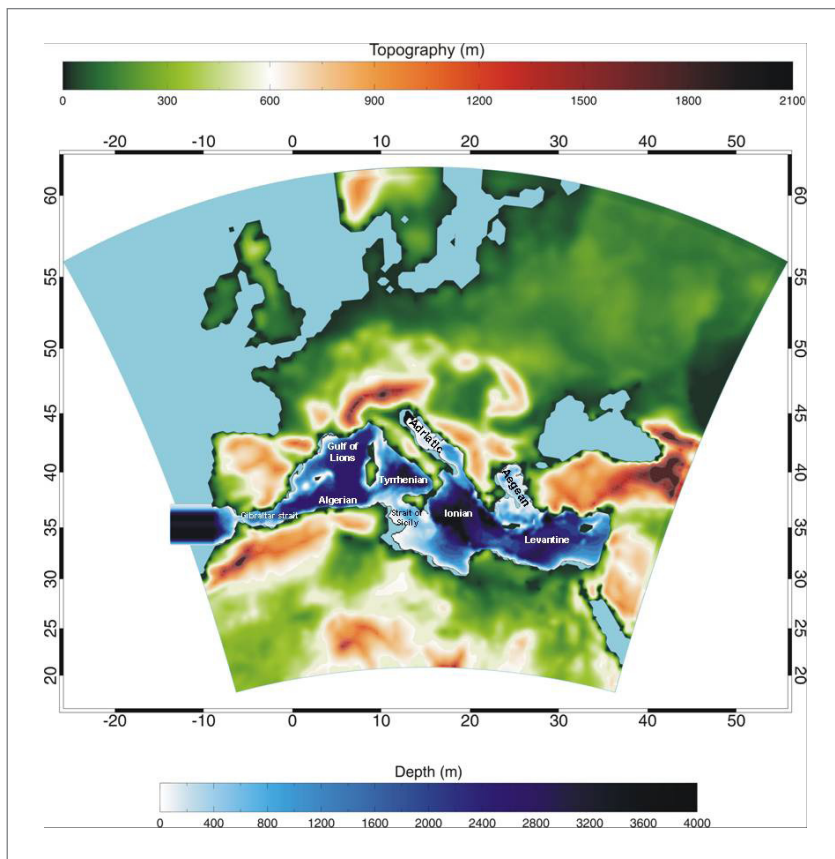


Fig. 1 Dominio dell'iniziativa internazionale Med-CORDEX con la corrispondente batimetria e topografia espresse in metri

simulazioni, al di fuori della regione di interesse, i modelli utilizzano come condizione al contorno per i campi meteo-climatici a grande scala (temperature, venti, umidità) dei dataset globali di riferimento a più bassa risoluzione, le reanalisi, che si basano su tutte le osservazioni meteo-climatiche disponibili (satelliti, stazioni meteorologiche, palloni sonda ecc.) riportati su un grigliato regolare ad una risoluzione di circa 100 km. In particolare, per l'iniziativa Med-CORDEX, la reanalisi adottata come condizione al bordo della simulazioni di valutazione è il sistema ERA-Interim (di seguito abbreviata ERAIM)

prodotto dal Centro Europeo per le previsioni meteorologiche a breve e medio termine di Reading (Gran Bretagna) ([www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)) [8]. La risoluzione che raggiungono tali simulazioni non permette ancora di arrivare al livello di informazione dettagliata sulle città italiane, così per avere informazioni climatiche a livello urbano si utilizzano qui, in prima approssimazione, aree di circa 100x100 km che includano il territorio di un determinato Comune. Riportiamo in Figura 2 le informazioni relative alle aree che includono le città di Roma e Milano. In particolare nella figura sono riportate le frequenze medie degli

eventi di calore intenso per ogni stagione nella reanalisi ERA-Interim e in 20 diverse simulazioni regionali Med-CORDEX per il periodo 1979-2010. Tali eventi sono qui definiti come i giorni in cui le temperature sono superiori ad un certa soglia, scelta in questo caso come il 95° percentile rispetto al ciclo stagionale di riferimento nel clima presente osservato. Per la città di Roma la soglia è di circa 3 gradi rispetto alla media stagionale, per Milano di circa 4 gradi. Si nota come in generale le simulazioni climatiche regionali tendano a sovrastimare gli eventi di calore intenso sulla città di Roma rispetto alla reanalisi a più bassa risoluzione. Questa caratteristica è presente anche sulla città di Milano, ancorché meno accentuata. Su Roma i giorni in cui le temperature si discostano maggiormente dalla media stagionale sono più numerosi in inverno (in Era-Interim fino ad 8 giorni per stagione), mentre nelle altre stagioni sono in genere meno di 4. Su Milano i giorni di calore intenso sono maggiori in primavera ed inverno (intorno a 5 giorni di media). Riguardo alla città di Roma c'è anche da sottolineare che nel dataset Era-Interim, essendo caratterizzato da una risoluzioni relativamente bassa, i punti di griglia che vengono attribuiti a Roma possono includere anche dei punti di mare in cui le anomalie di temperatura sono generalmente minori. Il numero di eventi intensi nella reanalisi Era-Interim potrebbe dunque qui essere sotto-stimato. Nelle simulazioni regionali che ricostruiscono il recente passato c'è da sottolineare che soprattutto in estate è presente un grande spread per entrambe le aree urbane, con un numero di eventi intensi compreso tra 3 giorni fino a più di 10.

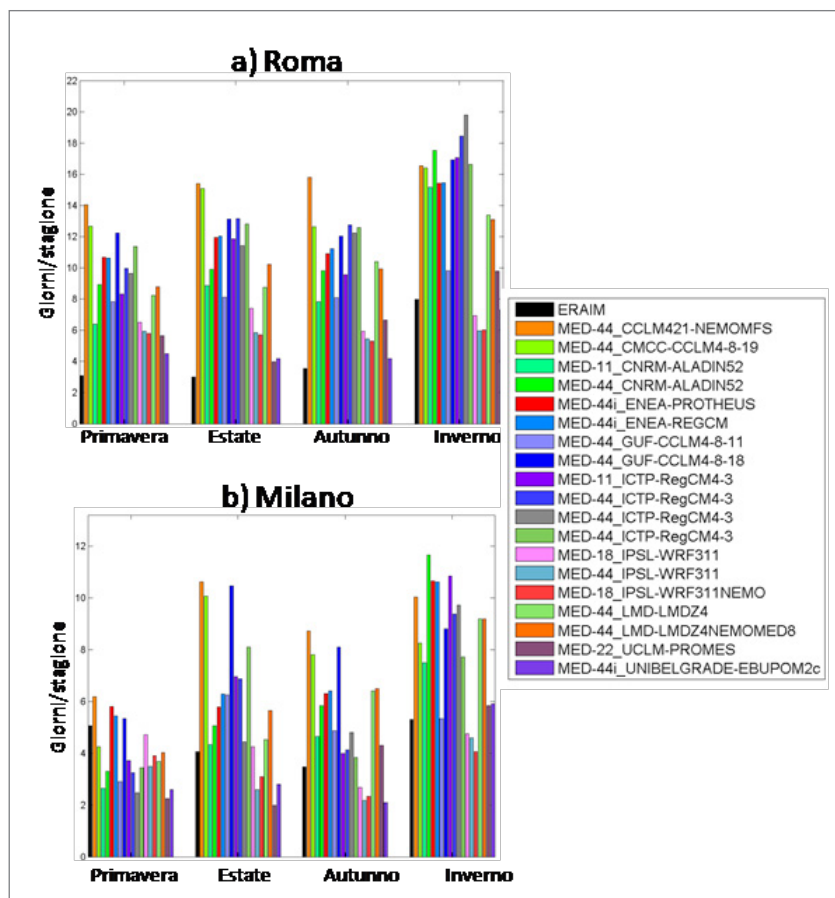


Fig. 2 Numero medio di eventi di calore intenso per il periodo 1979-2010 su delle aree che racchiudono le città di Roma e Milano per la reanalisi globale Era-Interim e per 20 simulazioni di valutazione Med-CorDEX forzate a larga scala dalla medesima reanalisi  
Fonte elaborazione ENEA

### Eventi di caldo intenso nel futuro: le proiezioni climatiche

Nell'ambito della iniziativa Med-CORDEX sono state prodotte anche diverse proiezioni climatiche per il XXI secolo, in cui i modelli regionali utilizzano come condizioni al contorno per i forzanti a larga scala le proiezioni climatiche globali a bassa risoluzione CMIP5 utilizzate per il Quarto rapporto IPCC. In particolare sono stati presi in considerazione due diversi scenari a seconda delle emissioni

previste per il prosieguo del XXI secolo: lo scenario RCP45 è uno scenario cosiddetto intermedio, in cui si prevede l'impiego di strategie internazionali comuni e tecnologie per ridurre le emissioni, mentre lo scenario RCP85 è uno degli scenari considerati ad alte emissioni, in cui il taglio di gas serra nel futuro viene considerato trascurabile. Le proiezioni climatiche associate a questi scenari vengono comparate con simulazioni definite 'storiche', forzate dalle concentrazioni di gas serra osservate nel XX secolo.

I cambiamenti di temperature medie stagionali per Roma e Milano previste nelle proiezioni climatiche Med-CORDEX per il periodo 2021-2050 negli scenari RCP45 e RCP85, rispetto al periodo di riferimento nelle simulazioni storiche 1971-2000, sono riportate in Figura 3. Al di là di una singola simulazione che prevede una diminuzione di temperatura media in primavera, tutte le altre mostrano un chiaro innalzamento delle temperature medie sulle due città. Nel caso dello scenario RCP45 il riscaldamento è in genere compreso sotto i due gradi rispetto al clima presente, con l'eccezione di una singola simulazione che prevede un anomalo riscaldamento in autunno, da attribuirsi con tutta probabilità a problemi numerici della simulazione. Nel caso dello scenario RCP85 la soglia dei due gradi di riscaldamento medio è superato in più occasioni su entrambe le città.

A fronte di tali cambiamenti delle medie stagionali, rilevanti cambiamenti sono attesi anche nell'occorrenza di eventi intensi, in cui le temperature si discostano significativamente dalle media di stagione. In Figura 4 sono riportate i cambiamenti attesi nel numero di eventi di calore intenso medie per stagione nelle proiezioni climatiche Med-CORDEX. In alcune stagioni, come in inverno per la città di Roma, a fronte del rilevante aumento della temperatura media mostrato in Figura 3, la maggior parte delle simulazioni climatiche RCP45 prevede che il numero di giorni in cui la temperatura si discosta significativamente (oltre il 95° percentile) dalla media stagionale possa diminuire. Nello scenario RCP85 ad alte emissioni, al contrario, il numero di eventi

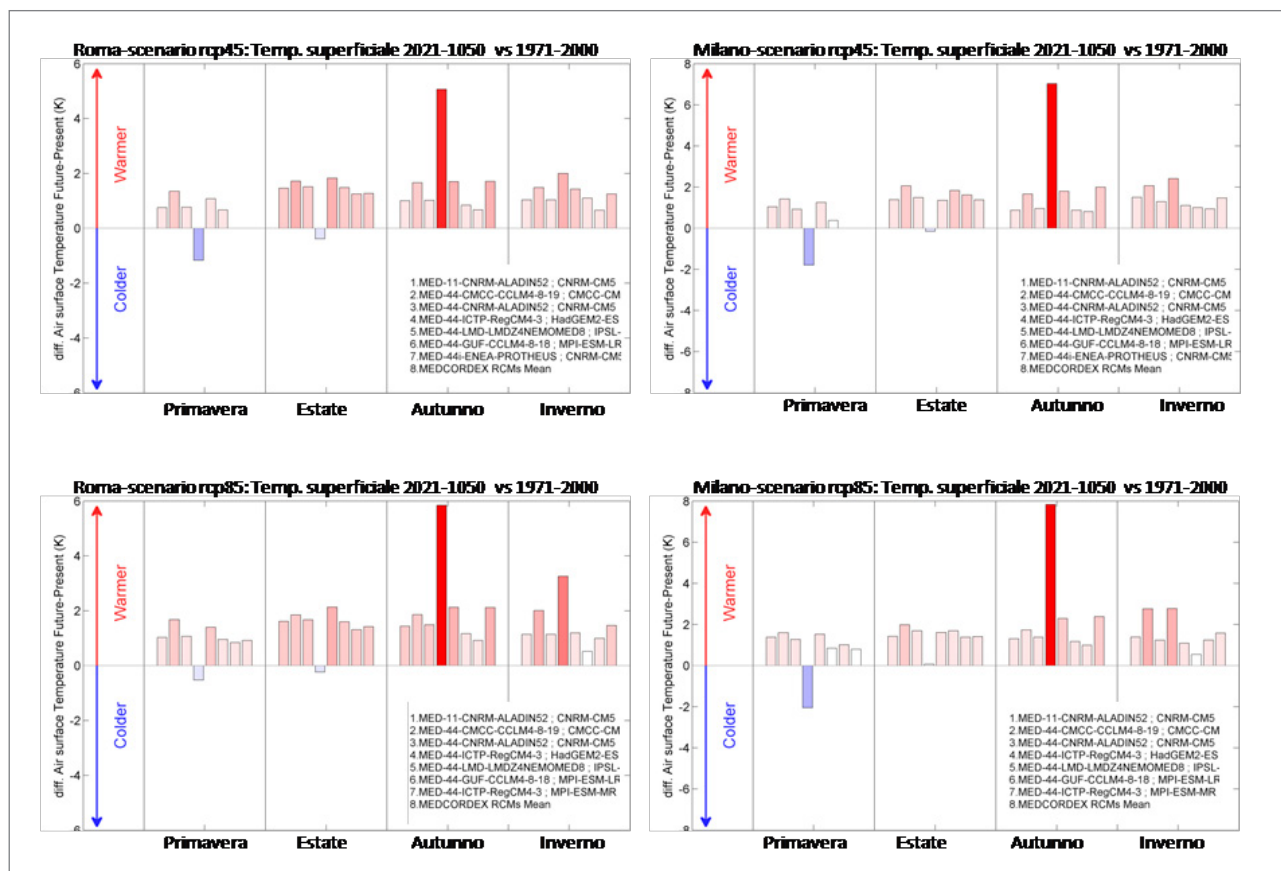


Fig. 3 Cambiamenti di temperatura media stagionale nelle proiezioni climatiche regionali Med-CORDEX (riportate nel riquadro a destra di ogni figura) per il periodo 2021-2050 sulle città di Roma e Milano per gli scenari RCP45 e RCP85  
 Fonte: elaborazione ENEA

intensi sembra aumentare significativamente per entrambe le città in autunno e primavera. Nelle altre stagioni le simulazioni non mostrano un comportamento uniforme.

### Conclusioni

Le simulazioni climatiche regionali ad alta risoluzione sono un importante strumento per studiare la variabilità climatica e i suoi cambiamenti a scala locale nelle proiezioni climatiche future, soprattutto in regioni caratterizzate da una orografia complessa ed intensi fenomeni di accoppiamento atmosfera-oceano come la

regione Euro-Mediterranea. In particolare possono rivelarsi una preziosa ed imprescindibile fonte di informazioni per lo studio di eventi climatici intensi, come le ondate di calore.

In questo studio è stata brevemente analizzata la capacità di riprodurre e prevedere eventi di calore intenso sull'area corrispondente a due delle maggiori città italiane, Roma e Milano, delle simulazioni regionali ad alta risoluzione prodotte nel contesto dell'iniziativa internazionale Med-CORDEX, a cui l'ENEA dà un importante contributo da un punto di vista logistico, modellistico ed analitico. In generale nelle simu-

lazioni di controllo le simulazioni regionali tendono a sovrastimare il numero di eventi di calore intenso (ovvero quando l'anomalia di temperatura giornaliera rispetto alla media stagionale supera il 95° percentile) rispetto ad un dataset a bassa risoluzione come la reanalisi Era-Interim. Nelle proiezioni climatiche future le simulazioni Med-CORDEX concordano nel prevedere un aumento delle temperature medie in tutte le stagioni per il periodo 2021-2050 rispetto al clima presente (1971-2000) con un aumento delle anomalie di temperature oltre il 95° percentile in autunno e primavera.

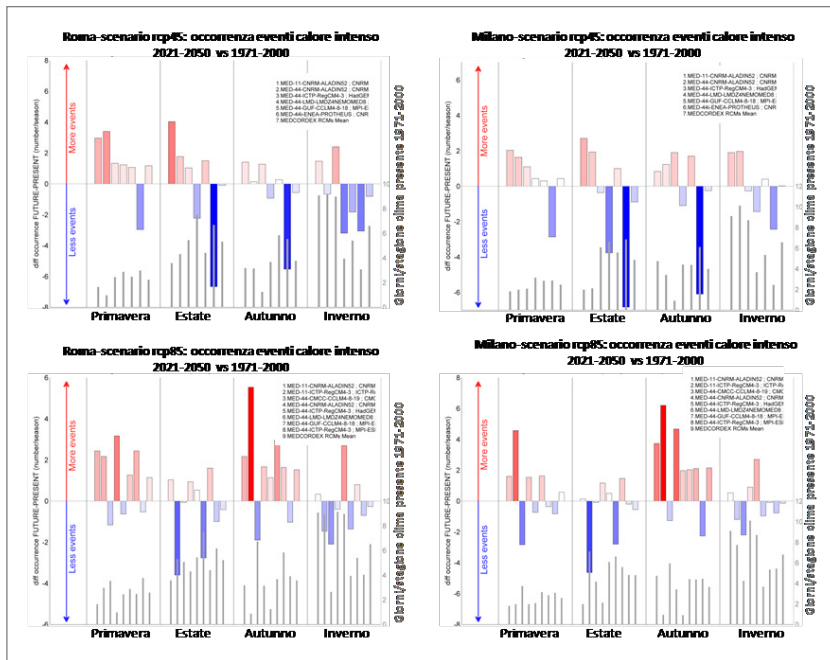


Fig. 4 Istogrammi delle differenze nel numero medio di eventi di calore intenso per stagioni per il periodo 2021–2050 confrontato con il 1971–2000 nelle proiezioni climatiche regionali Med-CORDEX. Le barre rappresentano i cambiamenti nella frequenza di eventi intensi sulle città di Roma e Milano in ogni simulazione regionale (riportate a lato con le corrispondenti simulazioni globali che le guidano a grande scala) per ogni stagione. In grigio sono riportati il numero medio di eventi di calore intenso nel clima presente per ogni simulazione  
Fonte: elaborazione ENEA

Per saperne di più:  
alessandro.dellaquila@enea.it

## BIBLIOGRAFIA

1. Artale V., Calmanti S., Carillo A., Alessandro Dell’Aquila, Marine Herrmann, Giovanna Pisacane, Paolo M. Ruti, Gianmaria Sannino, Maria Vittoria Struglia, Filippo Giorgi, Xunqiang Bi, Jeremy S. Pal, Sara Rauscher, 2010. An atmosphere-ocean regional climate model for the Mediterranean area: assessment of a present climate simulation. *Clim Dyn*, 35, 721-740, DOI: 10.1007/s00382-009-0691-8
2. Feser et al., (2011): Regional climate models add value to global model data”. *Bull. of the American Meteorological Society*, 92, 1181-1192
3. Meehl, GA, 1994: Coupled Land-Ocean-Atmosphere Processes and South Asian Monsoon Variability, *Science*, 266, pp. 263-267, DOI: 10.1126/science.266.5183.263
4. A. Buzzi, S. Tibaldi (1978): Cyclogenesis in the lee of the Alps: a case study. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*
5. Giorgi, F., (2006). Climate change hot-spots. *Geophys. Res. Lett.*, 33:L08707, doi:10.1029/2006GL025734
6. van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (2009): ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp
7. Ruti PM and co-authors (2015): Med-CORDEX initiative for Mediterranean Climate studies. Accepted by *Bull. Amer. Meteor. Soc.*
8. Dee, DP et al., (2011): The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system, *Q. J. R. Meteorolog. Soc.*, 137, 553–597