

+2 °C: quali rischi per l'area mediterranea?

I cambiamenti climatici globali e i loro effetti regionali

DOI 10.12910/EAI2016-008

di Gianmaria Sannino, Giovanna Pisacane, Maria Vittoria Struglia e Adriana Carillo, ENEA

La comunicazione sull'entità, la natura e gli effetti dei cambiamenti climatici spesso si limita a fare riferimento a stime globali e a fenomeni planetari. Tuttavia, è ormai accertato che la media della temperatura terrestre e delle altre variabili che caratterizzano il clima è un indicatore integrale, che non tiene conto di notevoli variazioni spaziali e temporali, ben più rilevanti ai fini della pianificazione di interventi di mitigazione e adattamento.

Nel quadro delle azioni intraprese dalla comunità scientifica internazionale per mettere a punto strumenti modellistici idonei alla previsione dei cambiamenti climatici a scala regionale, ENEA ha un ruolo riconosciuto nella produzione e analisi di proiezioni per la regione mediterranea, grazie ai modelli di

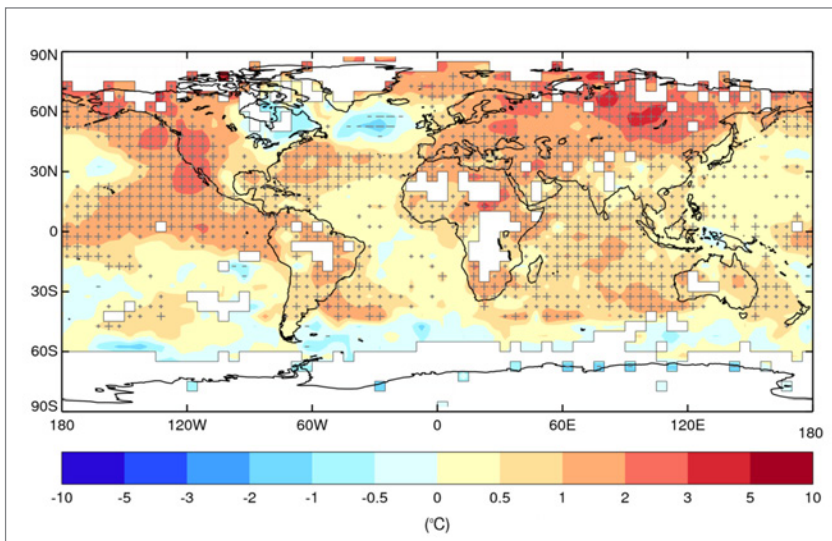


Fig. 1 Anomalie di temperatura media superficiale nel 2015 (periodo Gennaio-Ottobre 2015) rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. I box bianchi indicano le regioni in cui non è stato possibile stabilire con sufficiente grado di accuratezza il valore dell'anomalia. Le croci (+) indicano temperature che eccedono il 90° percentile, e cioè temperature particolarmente alte per quelle regioni, mentre i trattini (-) indicano temperature al di sotto del 10° percentile, cioè condizioni fredde inusuali per quelle regioni. Le croci e i trattini di dimensioni maggiori indicano temperature al di fuori della scala compresa tra il 2° e 89° percentile

Fonte: Met Office Hadley Centre

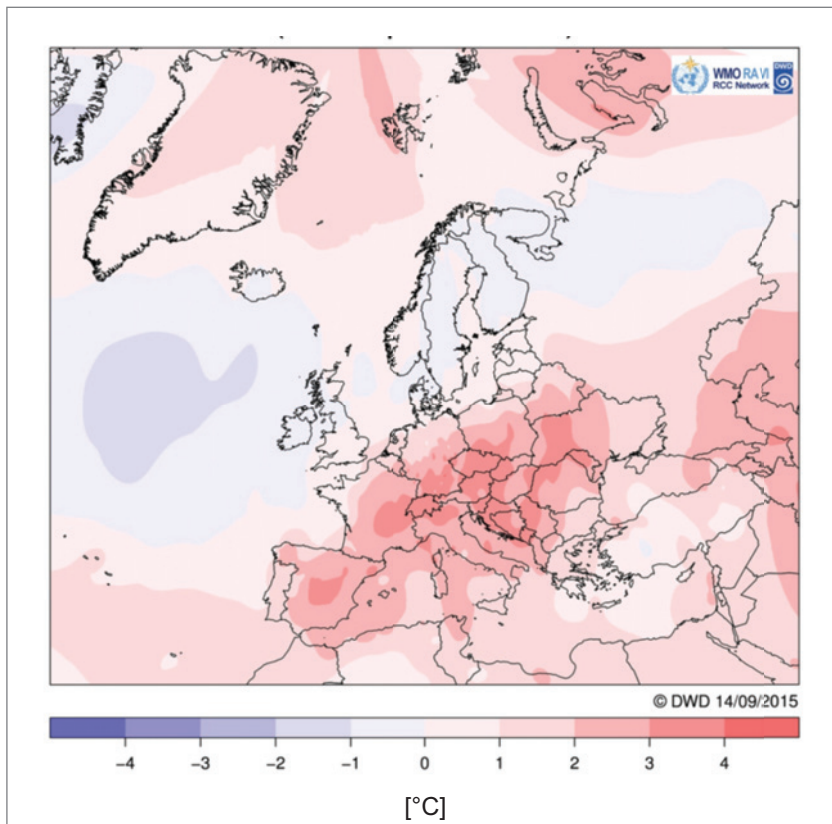


Fig. 2 Anomalie di temperature estive superficiali in Europa nell'estate del 2015 rispetto al periodo di riferimento 1961-1990
Fonte: WMO-DWD

circolazione atmosferica e oceanica che ha sviluppato e ottimizzato per quest'area nel corso degli anni.

I cambiamenti climatici globali

Il riscaldamento globale: osservazioni recenti

La temperatura globale media della superficie della Terra ha segnato un nuovo record nel 2015 (Figura 1, 2). L'anno appena trascorso è stato classificato dalle più importanti organizzazioni e centri di ricerca internazionali che si occupano di clima (e.g. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA-USA), NASA, World Meteorological Organisation (WMO), MetOffice (UK))

come l'anno più caldo dal 1880. Rispetto all'inizio dell'era industriale, la temperatura media della superficie della Terra nel 2015 è stata di circa 1 °C più alta (+0,74 rispetto al periodo di riferimento 1961-90).

Le temperature registrate nel 2015 sono in linea con un andamento al rialzo particolarmente evidente nel periodo 2011-2015, che si conferma come uno dei periodi più caldi dal 1880 (Figura 3). È infatti il 2014 il secondo anno più caldo dal 1880, con una temperatura media di +0,61 °C rispetto al periodo di riferimento 1961-90, mentre al 2013 spetta invece la quinta posizione. Il 2011 e il 2012, influenzati dal fenomeno de La Niña¹, hanno registrato una

temperatura media inferiore al 2013, 2014 e 2015, ma comunque più alta di qualunque altro anno precedente al 1998 e ai precedenti anni in cui La Niña si è manifestata. Il riscaldamento anomalo della superficie terrestre osservato negli ultimi cinque anni ha interessato la maggior parte dei continenti e degli oceani, incluse vaste aree di Europa, America del Sud, Asia, Oceania e America del Nord. La temperatura media globale è quindi già aumentata di quasi 1 °C a partire dalla Rivoluzione industriale del diciannovesimo secolo, inducendo il realistico timore che il limite dei 2 °C, e a maggior ragione quello di 1,5 °C auspicato dai Paesi presenti alla COP21, sia molto più vicino di quanto non si pensi.

Perché 2 °C?

Perché è stata fissata come soglia 2 °C e non, per esempio, 1 °C o 3 °C? Tale scelta è essenzialmente frutto di un compromesso tra quello che i ricercatori ritengono sia l'aumento di temperatura massimo che il pianeta possa tollerare senza rischiare conseguenze catastrofiche e irreversibili e le contromisure che, da un punto di vista politico, economico e sociale, appaiono realisticamente attuabili. Tuttavia, già l'aumento oggi osservato produce, in alcune regioni del globo, effetti cui è impossibile adattarsi. Ci si aspetta inoltre che ogni ulteriore aumento di temperatura possa indurre impatti più diffusi e pericolosi, dall'aumento del livello del mare alla maggiore esposizione della popolazione ad eventi estremi come ondate di calore, nubifragi, alluvioni o siccità, compromettendo la sopravvivenza di molti habitat naturali, la produzione di cibo e le riserve idriche.

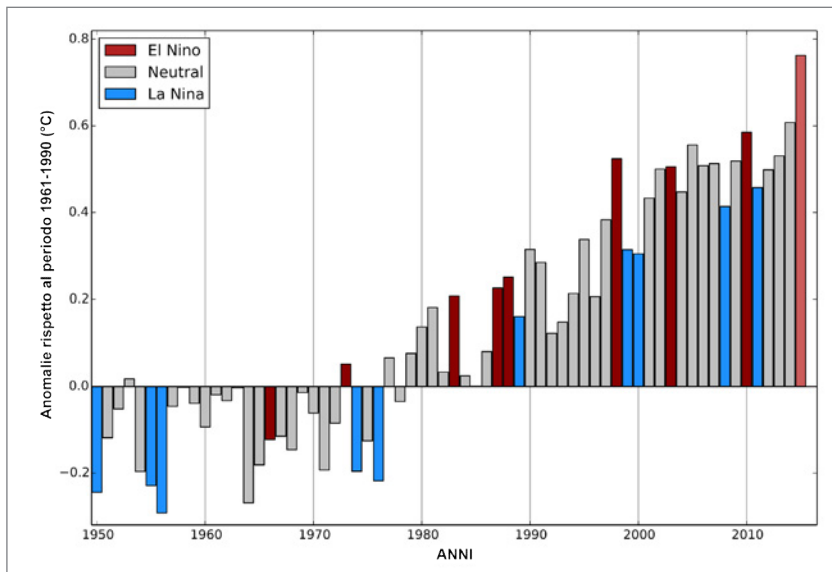


Fig. 3 Anomalie di temperatura superficiale media globale per il periodo 1950-2015 calcolate rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. Per il 2015 sono considerati i mesi da gennaio a ottobre. I colori delle barre indicano la presenza o meno (colore grigio) di periodi caratterizzati dal fenomeno di El Niño (rosso) o de La Niña (blu)

Fonte WMO

Le basi scientifiche

Temperatura globale ed effetto serra

L'assorbimento differenziale da parte del sistema Terra-atmosfera della radiazione solare entrante, al netto di quella retro-riflessa, determina la quantità di energia disponibile per alimentare tutti i fenomeni atmosferici e oceanici che osserviamo, e sostenere l'equilibrio radiativo-convettivo che ne deriva. L'equilibrio climatico del pianeta si raggiunge quando l'energia entrante e quella uscente si compensano sul lungo periodo (decine-centinaia di anni). Mentre la radiazione solare entrante è essenzialmente determinata dall'attività solare e dai parametri astronomici, la radiazione infrarossa uscente, su frequenze più basse, è il risultato di una straordinaria varietà di processi che ridistribuiscono l'energia entrante su un ampio spettro di scale spaziali e temporali, convertendola in una molteplicità di

forme. Nel bilancio energetico, il termine di effetto serra è quello dovuto all'assorbimento atmosferico di parte della radiazione che la Terra riemette verso lo spazio. L'energia viene così trattenuta vicino alla superficie del pianeta, aumentandone la temperatura rispetto a quella che avrebbe in assenza di atmosfera.

Vi è ormai un diffuso consenso scientifico sul fatto che un aumento della concentrazione atmosferica di gas serra antropogenici comporti un aumento della temperatura globale media. A partire dagli anni '50, le rilevazioni strumentali indicano una rapida crescita della concentrazione di diossido di carbonio (CO_2), quasi esclusivamente indotto dalle attività umane, in particolare dall'utilizzo di combustibili fossili e da variazioni di uso del territorio. Gli oceani contribuiscono a determinare il contenuto di biossido di carbonio in atmosfera, poiché essi intervengono nei pro-

cessi del suo sequestro e deposizione. La loro inerzia in risposta alle sollecitazioni atmosferiche, inoltre, agisce sulle scale temporali necessarie al raggiungimento di un nuovo equilibrio: anche se si stabilizzassero domani le emissioni di gas serra, ci vorrebbero tempi lunghissimi, dalle decine alle centinaia di anni, per vedere l'adattamento del sistema climatico all'incremento di gas serra già prodotto.

Il contributo dei gas serra al riscaldamento globale è, tuttavia, difficile da stimare con precisione, in quanto ad esso si sovrappongono la variabilità climatica naturale della Terra e gli impatti dell'inquinamento locale, con effetti di amplificazione o bilanciamento la cui entità è ancora in via di quantificazione. L'attuale concentrazione di diossido di carbonio, comunque, è stata valutata come la più elevata da due milioni di anni a questa parte e si stima che l'aumento netto della radiazione intrappolata nell'atmosfera indotto dalle attività umane sia di $1,6 \text{ W/m}^2$, con il conseguente aumento della temperatura media globale di circa $1,3 \text{ }^\circ\text{C}$. L'incremento di temperatura è, quindi, proporzionale al surplus radiativo con un *fattore di sensibilità* di $0,8 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$, il che equivale ad un aumento di $3 \text{ }^\circ\text{C}$ per un raddoppio della concentrazione di CO_2 .

Come si ottengono le mappe globali di temperatura?

Le mappe delle variabili climatiche rappresentano la complessa sintesi di una grande quantità di dati, ottenuti con strumenti di misura diversi, le cui relazioni spaziali sono spesso derivate con l'ausilio di modelli computerizzati.

I dati di temperatura superficiale vengono acquisiti da stazioni mete-



orologiche installate a terra, da navi di opportunità (generalmente navi commerciali e di collegamento) e da boe, sia ormeggiate che alla deriva (controllate in remoto), e quindi inseriti in complessi sistemi di elaborazione numerica che, combinandoli con le equazioni matematiche che governano la circolazione dell'atmosfera e dell'oceano, producono stime spazialmente coerenti dette *reanalisi*. In questo caso, i modelli vengono utilizzati come interpolatori dinamici dei dati puntuali osservati. Da circa 30-40 anni ai tradizionali dati di temperatura misurata si sono affiancati quelli offerti dalle osservazioni satellitari, che vengono derivati dalle misure in remoto dei campi di radiazione elettromagnetica emessa dall'atmosfera, attraverso complessi algoritmi che utilizzano essi stessi i modelli numerici come guida per ricavare i profili verticali e come interpolatori per produrre mappe medie su griglie spaziali regolari. Per la loro natura di misura *indiretta*, i dati satellitari presentano molti problemi interpretativi, ma anche l'indubbio vantaggio di una copertura effettivamente globale.

Le mappe delle proiezioni future della temperatura terrestre, invece, sono esclusivamente frutto di simulazioni modellistiche, cui i dati osservati forniscono condizioni iniziali e al contorno (ad es., la modulazione della radiazione solare entrante o la distribuzione spaziale della vegetazione).

Le proiezioni dei modelli climatici

Per studiare il comportamento e prevedere i cambiamenti del sistema climatico accoppiato atmosfera-oceano, gli scienziati utilizzano modelli computerizzati denominati AOGCM (Atmosphere-Ocean Ge-

neral Circulation Model). Essi si basano sulla descrizione matematica della circolazione atmosferica, di quella oceanica e delle loro interazioni, simulandone l'evoluzione dinamica e termodinamica indotta dalla radiazione solare che fornisce loro energia. I modelli numerici di ultima generazione rappresentano esplicitamente anche i ghiacci marini e il suolo.

La modellistica climatica ha delineato diversi scenari climatici futuri in risposta agli andamenti di concentrazione di diossido di carbonio in atmosfera (*representative concentration pathways* - RCP) indicati dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), corrispondenti a scelte di sviluppo socio-economico alternative. A tali scenari viene associata una stima probabilistica della loro effettiva possibilità di verificarsi, a seguito di una valutazione rigorosa del grado di confidenza con cui i processi coinvolti e le loro interazioni e retroazioni vengono descritti. Le conclusioni evidenziate nell'ultimo rapporto IPCC rilasciato nel 2014 (<http://www.ipcc.ch/index.htm>) sottolineano come nemmeno le misure più drastiche di abbattimento delle emissioni potranno impedire cambiamenti climatici radicali, ma come sia ancora possibile intervenire per ridurre i rischi, in altre parole dobbiamo *“gestire l'inevitabile ed evitare l'ingestibile”* attuando misure di adattamento e mitigazione.

La lista dei rischi potenziali è lunga, ma si possono evidenziare quelli che appaiono più minacciosi, anche da un punto di vista socio-economico, per l'impatto che avrebbero in termini di crisi idriche e alimentari e sulla salute pubblica, nonché sulla stabilità economica di intere comu-

nità, con un'evidente ricaduta sulla sicurezza e l'ordine democratico:

- il consistente aumento di livello degli oceani, principalmente per l'effetto combinato dell'espansione termica e dello scioglimento dei ghiacci continentali;
- l'incremento nella frequenza e nell'intensità di eventi estremi, quali siccità, onde di calore, precipitazioni intense, tempeste tropicali;
- la perdita di biodiversità, per l'incapacità degli organismi ad adattarsi a variazioni di temperatura troppo repentine;
- l'acidificazione degli oceani, che compromette le specie marine sensibili alle concentrazioni di carbonato di calcio (ad esempio i coralli) e le catene alimentari di cui fanno parte;
- il superamento di soglie di non ritorno per alcuni parametri, con l'alterazione brusca e non reversibile dello stato e del funzionamento di componenti critici del sistema climatico (*tipping elements*), e la conseguente impossibilità per il genere umano di studiare e implementare misure di adattamento.

La distribuzione spaziale dei cambiamenti climatici

In generale, non è possibile aspettarsi effetti spazialmente omogenei dei cambiamenti climatici globali. Essi variano considerevolmente da regione a regione, e possono essere indotti da processi che avvengono su vasta scala, da modificazioni locali o da fenomeni che si verificano in luoghi remoti (tele-connessioni). In generale, le variazioni climatiche a scala regionale e quelle a scala globale sono legate da effetti di retro-azione,

in cui le variazioni nella circolazione atmosferica planetaria (ad es. la localizzazione delle *storm tracks*²) alterano la sequenza di eventi meteorologici che determinano il clima locale, mentre gli effetti delle forzanti locali (ad es. topografia, linee di costa, uso del suolo) modulano, a loro volta, il segnale di larga scala. Gli strumenti correntemente utilizzati per ottenere proiezioni climatiche regionali vanno da particolari configurazioni dei modelli globali, ai modelli di circolazione regionali ad area limitata, a metodi statistici. Le assunzioni su cui si basano e i requisiti per il loro utilizzo differiscono da metodo a metodo, condizionandone l'applicabilità, le potenzialità e le limitazioni. I modelli di circolazione ad area limitata rappresentano probabilmente il metodo di regionalizzazione più diffuso, in quanto permettono di raffinare l'informazione proveniente dai modelli globali ad un costo computazionale relativamente contenuto, sebbene siano in genere utilizzati nella configurazione *one-way*³, che non permette di descrivere i meccanismi di retro-azione dalla piccola alla grande scala. Attualmente essi arrivano ad una risoluzione di circa 10 km e rappresentano spesso l'ultima interfaccia tra la previsione climatica, le valutazioni di impatto e la pianificazione gestionale.

L'informazione climatica regionale, sebbene cruciale, è tuttavia ancora affetta da incertezze non trascurabili, derivanti principalmente dall'aumento della variabilità associato alle piccole scale e dalla difficoltà di rappresentare con sufficiente accuratezza i processi fisici che le caratterizzano, oltre che da eventuali errori provenienti dai modelli globali. Per questo non ci si può affidare a singole proiezioni prodotte da singoli

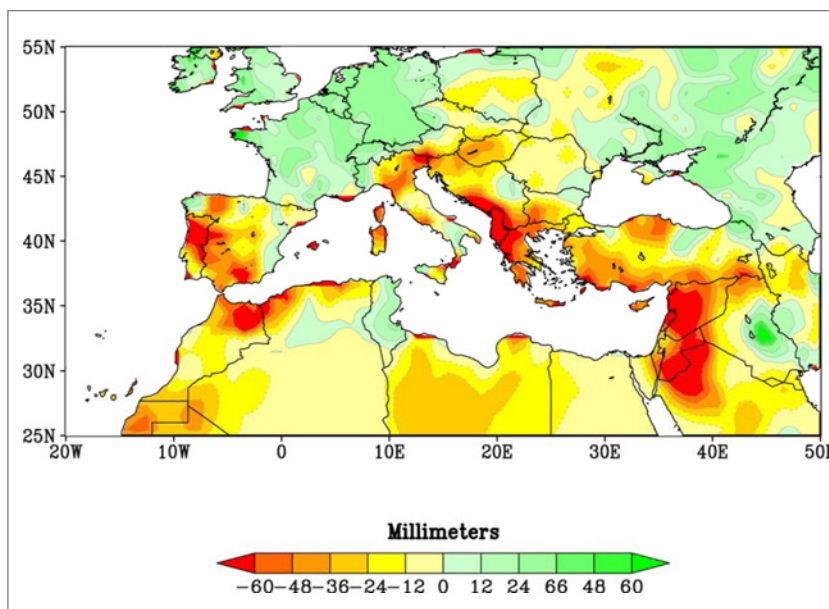


Fig. 4 Aree interessate da significative diminuzioni della disponibilità di acqua in inverno nel periodo 1971-2010 rispetto al periodo di riferimento 1902-2010
Fonte: NOAA

modelli, ma si organizzano esperimenti internazionali in cui i principali centri di ricerca contribuiscono alla costruzione di grandi insiemi di simulazioni numeriche prodotte da modelli regionali diversi, guidati da diversi modelli globali, al fine di ottenere distribuzioni probabilistiche affidabili delle variabili di interesse.

I cambiamenti climatici nella regione mediterranea

La regione mediterranea è stata identificata come una delle aree più sensibili al cambiamento climatico, dove l'alta densità di popolazione e l'intenso sfruttamento antropico sollecitano con urgenza la messa a punto di misure gestionali programmate ed efficaci (IPCC). Per questo motivo e per la varietà e complessità di processi che caratterizzano la regione e ne fanno uno straordinario laboratorio naturale, nel corso degli anni si

sono costituite collaborazioni di ricerca internazionali che organizzano iniziative concordate per l'avanzamento delle conoscenze scientifiche e delle capacità modellistiche relative a quest'area. All'interno del Coordinated Regional climate Downscaling Experiment (CORDEX, www.cordex.org) e del programma CLIVAR (Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change), entrambi sponsorizzati dal WCRP (World Climate Research Programme) la regione europea allargata ad includere l'intero bacino mediterraneo è stata immediatamente riconosciuta come rilevante per la ricerca globale, tanto da meritare nel tempo due sezioni dedicate, Med-CORDEX e MedCLIVAR. In particolare, all'interno di Med-CORDEX, 20 diversi gruppi di modellistica da 9 diversi paesi (Francia, Italia, Spagna, Serbia, Turchia, Israele, Tunisia, Germania e Ungheria) in Europa, Medio Oriente e

Nord Africa realizzano simulazioni numeriche utilizzando 9 modelli regionali atmosferici, 8 modelli regionali oceanici e 12 sistemi regionali accoppiati⁴. I risultati prodotti dalle simulazioni vengono condivisi dalla comunità scientifica su una piattaforma WEB, ospitata e gestita dall'ENEA.

L'aumento di temperatura globale: implicazioni per l'area mediterranea

Recentemente sono stati pubblicati numerosi studi sull'evoluzione della temperatura e delle precipitazioni nell'area mediterranea, generalmente concordi nell'indicare una diminuzione della disponibilità di acqua a seguito di un ridotto surplus di precipitazione rispetto all'aumentata evaporazione a seguito dell'innalzamento delle temperature (Figura 4). Il generale decremento delle risorse idriche si accompagna a più frequenti episodi di siccità e di ondate di calore, con evidenti impatti sull'economia e il benessere delle popolazioni e conseguenze geo-politiche.

Il progetto IMPACT2C (<http://impact2c.hzg.de/>), finanziato dalla Comunità Europea nell'ambito del 7° Programma Quadro e terminato recentemente, si è proposto di quantificare gli impatti di un aumento di 2 C° della temperatura globale sul continente europeo, identificandone le vulnerabilità, valutandone l'esposizione ai rischi e i relativi costi economici, nonché le potenzialità di adattamento. ENEA ha partecipato mettendo a disposizione sia le sue competenze di modellistica climatica che quelle di modellistica idrologica, nel contesto di una valutazione *multi-model*.

I risultati di IMPACT2C, basati sulle simulazioni regionali allora disponibili nell'ambito di CORDEX e di

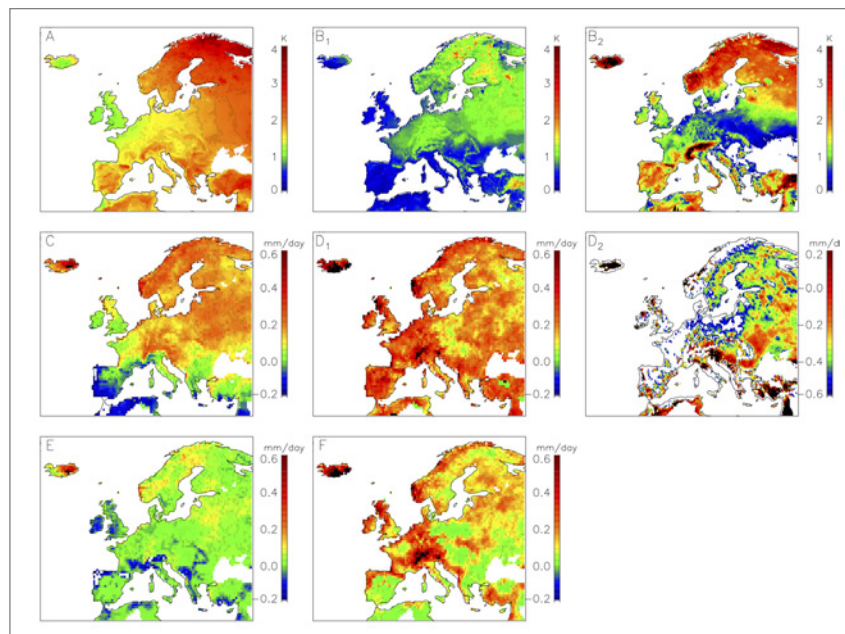


Fig. 5 Variazioni previste nella temperatura media annuale (A), precipitazione media annuale (C) e runoff, accompagnati dall'incertezza modellistica (B1, D1, F) e dai campi di correzione rispetto ai dati per il clima presente (B2 e D2)

Med-CORDEX, indicano un aumento di temperatura sull'area europea che varia secondo le zone: circa +2 C° lungo le coste settentrionali lungo tutto l'anno, +4 C° nell'Europa settentrionale e orientale in inverno, +3 C° nell'Europa meridionale in estate. La precipitazione media non presenta alterazioni statisticamente significative, sebbene si osservi un generico aumento sull'Europa centrale e settentrionale in inverno e solo su quella settentrionale in estate, quest'ultimo accompagnato da un'apparente diminuzione sull'Europa centrale e meridionale. Tuttavia, gli eventi estremi di precipitazione appaiono intensificarsi su tutto il continente.

La Figura 5 mostra le variazioni previste di temperatura superficiale (A), precipitazione (C) e runoff⁵ (E), queste ultime calcolate in ENEA col modello idrologico distribuito

WBM (Water Balance Model) in collaborazione con la City University di New York. I pannelli B₁, D₁ e F riportano le incertezze attribuite a tali proiezioni, stimate in termini di massima discrepanza tra i diversi modelli utilizzati, mentre i pannelli B₂ e D₂ descrivono la distribuzione spaziale delle discrepanze tra proiezioni e dati osservati in condizioni di clima presente. Dall'esame della figura risulta evidente che, se nel caso della temperatura il segnale di cambiamento climatico non è oscurato dal rumore intrinseco associato delle proiezioni, nel caso di precipitazione e runoff questo non accade, mentre su vaste aree del continente la variabile modellata e quella osservata, peraltro spesso in modo inadeguato, sono ancora troppo distanti. Va precisato, comunque, che l'attuale difficoltà della modellistica a caratterizzare il segnale non implica che esso

non esista o non sia rilevante, ma solo che vanno intensificati gli sforzi della comunità scientifica per arrivare ad una migliore comprensione dei processi in atto, per adeguare i modelli alla complessità della realtà da simulare e per costruire reti di dati sempre più fitte e affidabili.

I modelli ENEA per gli studi climatici sull'area mediterranea

Idealmente un modello regionale dovrebbe includere la rappresentazione di tutte le componenti del sistema climatico e descriverne le interazioni. L'interazione tra i due elementi fondamentali, atmosfera e oceano, avviene attraverso lo scambio all'interfaccia aria-mare di energia (calore ed energia meccanica) e acqua (precipitazione, evaporazione e apporto fluviale). I modelli climatici atmosferici includono, inoltre, moduli per la simulazione del suolo e della vegetazione; nelle versioni più recenti anche schemi di vegetazione "dinamica", in grado di modificare la copertura vegetativa simulata in funzione delle mutate condizioni climatiche. Gli stessi moduli che parametrizzano i processi nel suolo consentono anche una stima della quantità d'acqua che viene trattenuta negli strati intermedi e profondi del terreno oppure trasportata in superficie all'interno dei diversi bacini idrografici.

Il Mediterraneo è un bacino topograficamente molto complesso, formato da sottobacini di diversa profondità interconnessi da selle e stretti e circondato da regioni caratterizzate da un'orografia molto variabile, dove forti venti si incanalano innescando interazioni anche violente tra l'atmosfera e l'oceano e dando luogo a fenomeni locali molto intensi. La cor-

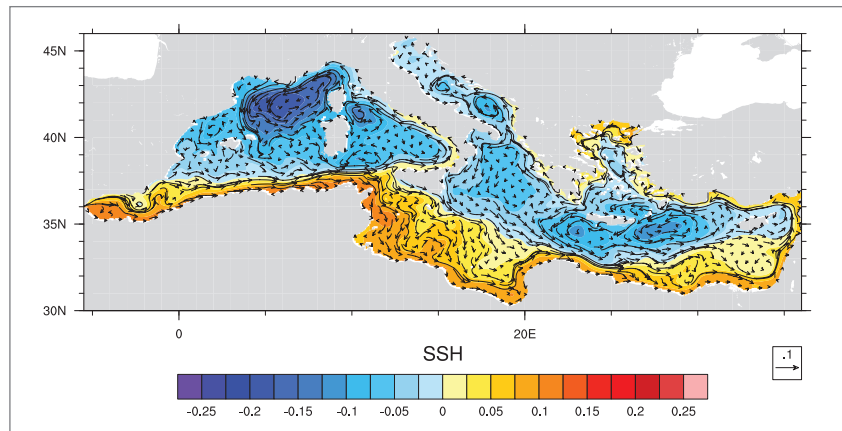


Fig. 6 Circolazione superficiale della componente oceanografica del modello climatico dell'ENEA. I colori indicano l'elevazione della superficie del mare, mentre le frecce indicano la direzione e intensità della corrente superficiale

retta descrizione della sua dinamica atmosferica e oceanica richiede, quindi, modelli ad alta risoluzione spaziale e temporale.

ENEA ha maturato negli anni una vasta esperienza nel campo della modellistica climatica. In particolare sono stati sviluppati modelli ad alta risoluzione della circolazione atmosferica per l'intera regione europea e della circolazione oceanica sia a scala di bacino (l'intero Mediterraneo) che di sottobacino, se necessario per risolvere fenomeni locali di particolare interesse. ENEA mantiene e coltiva specifiche competenze di fisica atmosferica e di oceanografia, sviluppando sempre nuove versioni *stand-alone*⁶ dei modelli e valutandone l'affidabilità nel riprodurre il clima attuale e la sua variabilità.

La Figura 6 mostra i risultati di una simulazione climatica oceanografica relativa agli anni 1958-2010, alla risoluzione di circa 10 km e forzata alla superficie con i campi di vento, temperatura, precipitazione, evaporazione e radiazione elettromagnetica prodotti indipendentemente da un

modello atmosferico regionale. Sono stati riprodotti in dettaglio sia i valori medi della circolazione che la sua variabilità, descrivendo in maniera realistica anche i principali eventi intensi osservati. In figura è riportata la circolazione media simulata, insieme alla climatologia dell'altezza relativa del livello del mare.

È stato inoltre sviluppato in ENEA uno dei primi modelli climatici accoppiati per il Mediterraneo, il modello regionale PROTHEUS, che risolve esplicitamente tutte le interazioni tra l'oceano, l'atmosfera, i fiumi, il suolo. PROTHEUS è composto dal modello regionale RegCM3 (atmosfera+suolo) e dal modello oceanico MITgcm sviluppato presso il Massachusetts Institute of Technology di Boston. In PROTHEUS è, inoltre, inserito il modulo interattivo IRIS (Interactive River Scheme), che stima la portata media dei fiumi a partire dal deflusso idrico totale simulato dalla parametrizzazione di suolo del modello atmosferico. PROTHEUS è stato sviluppato e utilizzato nel contesto di diversi progetti europei per



lo studio del clima e degli impatti climatici nell'area mediterranea (CIRCE, CLIMRUN, EUPORIAS, IMPACT2C).

La ricerca ENEA in questo campo è in costante sviluppo e ha portato ad una nuova configurazione del modello accoppiato (Figura 7), denominata Med-ESM (Mediterranean - Earth System Model), basata sulle versioni più aggiornate di tutte

le sue componenti e con aumentata risoluzione spaziale, sia orizzontale che verticale. È stato inoltre incluso un modello idrologico che riproduce il trasporto delle acque superficiali lungo il bacino idrografico e consente il calcolo giornaliero delle portate dei fiumi. Tale strumento non solo consentirà di approfondire ed estendere le attuali conoscenze sulle interdipendenze delle diverse com-

ponenti del sistema climatico, ma anche di fornire informazioni più affidabili per le valutazioni di rischio e vulnerabilità di aree estremamente sensibili al cambiamento climatico, e un migliore supporto alla modellistica degli impatti e alla pianificazione delle misure di intervento.

Per saperne di più:
gianmaria.sannino@enea.it

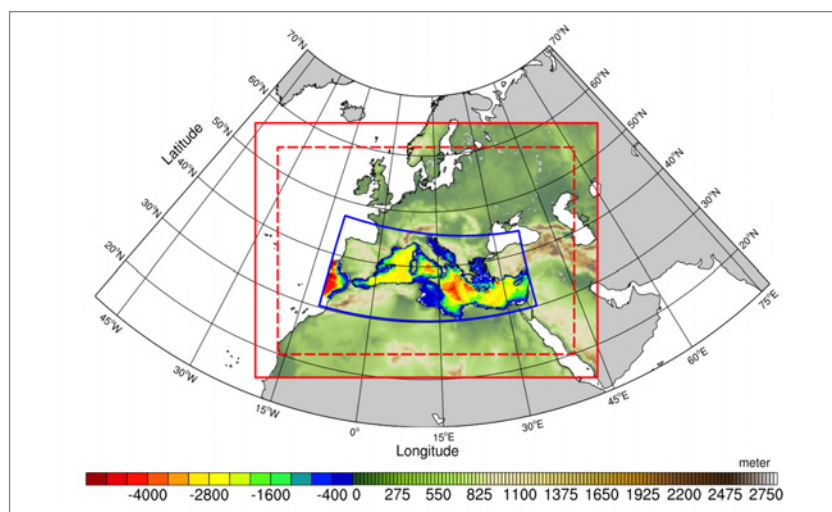


Fig. 7 Topografia e batimetria del modello climatico regionale sviluppato dal Laboratorio di Modellistica Climatica e Impatti dell'ENEA. Il rettangolo rosso esterno indica il dominio computazionale della componente atmosferica, mentre il rettangolo blu indica il dominio del modello oceanografico

¹ Con il termine El Niño e La Niña si indica in climatologia l'anomalo riscaldamento (El Niño) o raffreddamento (La Niña) dell'Oceano Pacifico centro-orientale tropicale che si manifesta con una periodicità variabile fra circa 3 e 7 anni. Queste anomalie della temperatura oceanica provocano una variazione della circolazione atmosferica a livello globale che causa siccità o alluvioni particolarmente intense in varie parti del globo. Anche la temperatura superficiale media globale ne risente, con anni El Niño particolarmente caldi e anni La Niña freddi

² Si definisce storm-track il percorso seguito dai sistemi ciclonici e temporaleschi sotto la spinta dei venti prevalenti

³ Nella configurazione one-way il modello regionale viene forzato da una simulazione globale indipendente, senza la possibilità di condizionarne l'evoluzione

⁴ Con sistema accoppiato si intende un modello complesso che include diversi moduli interdipendenti

⁵ Il runoff è la quantità di precipitazione residua al netto di evaporazione e infiltrazione nel suolo

⁶ Si dice versione stand-alone di un modello quella in cui esso non viene accoppiato con altri moduli potenzialmente interdipendenti