

Il clima prossimo venturo

Evoluzione del clima ed impatti dei cambiamenti climatici in Italia

VINCENZO FERRARA

ENEA

Progetto Speciale Clima Globale

spazio aperto

Le attività umane stanno cambiando le capacità termiche dell'atmosfera, del suolo ed anche degli oceani. Se non intervengono nel prossimo futuro azioni di inversione di queste tendenze, l'equilibrio del sistema climatico è destinato a cambiare in tempi relativamente brevi rispetto alle naturali variazioni. Il timore è che i tempi entro cui i temuti cambiamenti climatici possano avvenire siano troppo ristretti perché gli ecosistemi viventi e l'ambiente possano adattarsi a tali cambiamenti

Climate change

Evolution of the climate and the impacts of climate change in Italy

Human activities are altering the balance of the climate system faster than living ecosystems and the environment can adjust naturally to the changes. Europe, the Mediterranean area and Italy may be especially vulnerable to this process because of the complexity of their environmental, human, social and infrastructural systems

a possibile minaccia di un cambiamento climatico globale nasce dalla osservazione di alcuni sintomi di una malattia del pianeta che è la crescita dell'effetto serra, ovvero del sommarsi di un effetto serra "non naturale", provocato dalle attività umane, all'effetto serra "naturale" dovuto alla presenza stessa dell'atmosfera (se non ci fosse l'atmosfera la temperatura media del nostro pianeta sarebbe di ben 19 °C sotto zero, mentre in realtà è di 15 °C sopra lo zero). L'aumento dell'effetto serra "non naturale" è collegato all'aumento di concentrazione in atmosfera di gas e composti provenienti dalle attività umane, alcuni dei quali sono chiaramente identificabili perché non esistenti in natura (ad esempio i clorofluorocarburi) ed altri che si sommano, invece, a quelli già esistenti in natura (ad esempio l'anidride carbonica).

Le attività umane stanno cambiando le capacità termiche dell'atmosfera, del suolo ed anche degli oceani, introducendo fattori di perturbazione energetica capaci di spostare l'equilibrio naturale esistente e le naturali fluttuazioni di questo equilibrio. In altre parole, le attività umane stanno generando un effetto serra aggiuntivo a quello naturale, che tende a spostare tutti gli equilibri del sistema climatico.

I principali sintomi di questa interferenza sono di due tipi: sintomi direttamente collegabili alle attività umane, più evidenti a partire dall'inizio dell'era industriale (collocabile attorno al 1800) fino ad oggi quali la crescente emissione in atmosfera di gas ad effetto serra, e sintomi desumibili indirettamente in base ai risultati delle osservazioni sperimentali sul clima globale, quali gli andamenti e le variazioni climatiche che finora sono state misurate e studiate.

Gli andamenti attualmente osservati nello sviluppo economico, nella crescita della popolazione, nell'uso dell'energia e delle risorse naturali, sono tali che, se non intervengono nel prossimo futuro azioni di inversione di queste tendenze, l'equilibrio del sistema climatico è destinato a cambiare in tempi relativamente brevi rispetto alle naturali variazioni. La preoccupazione maggiore, infatti, non riguarda tanto il fatto che il clima possa cambiare a causa delle attività umane, quanto, invece, i tempi entro cui i temuti cambiamenti climatici possano avvenire: tempi troppo ristretti perché gli ecosistemi viventi e l'ambiente, compreso l'ambiente antropico, possano naturalmente adattarsi a tali cambiamenti.

Per quanto riguarda i sintomi collegati alle attività antropiche, è stato accertato quanto segue.

1) Le concentrazioni atmosferiche dei gas serra, fra cui l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4) ed il protossido di azoto (N_2O), sono aumentate in modo significativo a partire dall'inizio della rivoluzione industriale (databile intorno agli anni 1750-1800); in particolare la CO_2 è passata da circa 280 a quasi 370 ppmv (parti per milione in volume), il CH_4 da 700 a circa 1750 ppbv (parti per miliardo in volume) e il N_2O da 275 a circa 315 ppbv. Gli idrocarburi fluorurati e clorurati (CFC), che non esistevano fino a circa la metà del ventesimo secolo, sono cresciuti in modo talmente rapido in questi ultimi 50 anni che, oltre a costituire una minaccia aggiuntiva all'effetto serra naturale, hanno minacciato (e distrutto sopra l'Antartide) l'integrità della fascia di ozono stratosferico. Anche le concentrazioni di altri gas serra antropogenici, presenti in traccia nell'atmosfera, sono di pari passo aumentate. Molti di tali gas serra permangono lungamente nell'atmosfera (centinaia di anni), influenzando il clima per i secoli futuri.

2) L'attuale concentrazione di anidride carbonica in atmosfera è la più alta che si sia mai verificata negli ultimi 420 mila anni e molto probabilmente (le verifiche sono in corso) anche degli ultimi 20 milioni di anni. La velocità di crescita dell'anidride carbonica in at-

le attività
umane
stanno
generando
un effetto
serra
aggiuntivo a
quello
naturale

mosfera (32% in 250 anni di cui ben 8% negli ultimi 20 anni) è il più alto tasso di crescita degli ultimi 20 mila anni. Il 70% circa dell'aumento di anidride carbonica in atmosfera è causato dalla combustione di combustibili fossili, il rimanente 30% è dovuto ad altre cause tra cui la deforestazione, l'uso del suolo e l'agricoltura.

- 3) Le concentrazioni atmosferiche di metano, che hanno avuto un tasso di crescita medio del 250% in 250 anni, pur continuando ad aumentare mostrano una flessione nel tasso di crescita di questi ultimi decenni, mentre gli idrocarburi alogenati (tra cui i famosi CFC), che avevano avuto una velocità di crescita delle loro concentrazioni atmosferiche molto sostenuta negli ultimi 50 anni, sono in fase di diminuzione, grazie anche all'attuazione del Protocollo di Montreal per la protezione dell'ozono stratosferico.
- 4) La distruzione, soprattutto nella fascia intertropicale, di boschi e foreste è cresciuta ad un ritmo vertiginoso: boschi e foreste, infatti, attraverso i processi di fotosintesi, sottraggono anidride carbonica dall'atmosfera e la trasformano in biomassa e, quindi, costituiscono di fatto la principale fonte di assorbimento e di riciclo dell'anidride carbonica atmosferica. Si valuta che negli anni più recenti, anche se ora sembra vi sia un certo rallentamento, sono state disboscate, ogni anno, superfici medie territoriali di estensione complessiva paragonabile a quella del territorio della Svizzera.
- 5) Il ritmo di trasformazione della superficie terrestre da parte degli esseri umani, sia a causa della crescita demografica, sia per lo sviluppo delle attività economiche e industriali, è in forte aumento e ciò è causa di variazione del bilancio energetico complessivo del sistema climatico. In particolare, l'intensa ed estesa urbanizzazione, che sta aumentando in modo vertiginoso soprattutto nei Paesi in via di sviluppo, gli usi intensivi del suolo per l'agricoltura, l'inquinamento terrestre e marino e le altre attività umane sono stati, in quest'ultimo secolo, tali da aver modificato sia le capacità di assorbimento terrestre dell'energia solare incidente e le capacità di riflessione (albedo) verso lo spazio della radiazione solare, sia anche le capacità di emissione termica del suolo e di irraggiamento terrestre verso lo spazio.
- 6) Attualmente l'effetto riscaldante complessivo indotto come effetto serra "non naturale" è pari a circa $2,8 \text{ watt/m}^2$, di cui: anidride carbonica pari a $+1,5 \text{ watt/m}^2$; metano pari a $+0,5 \text{ watt/m}^2$; protossido di azoto pari a $+0,1 \text{ watt/m}^2$; idrocarburi alogenati pari a $+0,4 \text{ watt/m}^2$; ozono stratosferico pari a $-0,2 \text{ watt/m}^2$; ozono troposferico pari a $+0,4 \text{ watt/m}^2$; emissioni inquinanti da aerei di linea pari a $+0,1 \text{ watt/m}^2$ (il segno + indica riscaldamento, il segno - indica raffreddamento).
- 7) L'aumento degli aerosol troposferici e degli inquinanti urbani e industriali prodotti dall'uso di combustibili fossili, dalla combustione di biomasse e da altre fonti hanno prodotto, invece, una retroazione negativa, vale a dire una diminuzione dell'effetto serra, diminuzione che è, comunque, di modesta entità. Il contributo negativo all'effetto serra (raffreddamento) è pari complessivamente a circa $-0,3 \text{ watt/m}^2$, di cui $-0,5 \text{ watt/m}^2$ sono dovuti agli inquinanti atmosferici di origine antropica, $+0,2 \text{ watt/m}^2$ sono dovuti ad aerosol carboniosi (fuliggine, nerofumo, incombusti ecc.) e $-0,2 \text{ watt/m}^2$ ad altri tipi di aerosol atmosferici (il segno + indica effetto riscaldante, il segno - indica effetto raffreddante). L'inquinamento atmosferico e gli aerosol antropogenici hanno una vita media piuttosto breve nell'atmosfera, a differenza dei gas serra che hanno di norma una vita media

*la
distruzione
di boschi e
foreste è
cresciuta ad
un ritmo
vertiginoso*

molto lunga; pertanto, questo contributo negativo all'effetto serra varia velocemente in funzione degli aumenti o delle riduzioni delle relative emissioni.

- 8) Esistono altri fattori che fanno oscillare le precedenti valutazioni e sono legate alla variabilità dell'intensità della radiazione solare (che è risultata in aumento soprattutto nella prima parte del ventesimo secolo) ed alla variabilità dell'albedo terrestre globale (anche l'albedo complessiva terrestre è aumentata in quest'ultimo secolo). Poiché queste due variabilità, che sono dell'ordine del 10-20% dell'effetto serra "non naturale", tendono a compensarsi, non cambiano in definitiva i bilanci totali sopradetti. Di conseguenza tra effetto riscaldante dei gas di serra ed effetto raffreddante di inquinanti ed aerosol antropogenici, il risultato complessivo di riscaldamento globale dovuto alle attività umane è valutato attorno ai $2,5 \text{ watt/m}^2$, un valore che è all'incirca pari all'1% dell'effetto serra naturalmente presente nell'atmosfera terrestre.

**il
riscaldamento
globale è
dovuto
essenzialmente
all'aumento
delle
temperature
minime**

Le tendenze climatiche in atto a livello globale

I recenti studi sul sistema climatico hanno messo in evidenza che il clima del nostro pianeta sta subendo, soprattutto in questi ultimi decenni, alcuni cambiamenti che potrebbero portare, se le attuali tendenze di sviluppo socio-economico e di uso delle risorse naturali non venissero modificate, a variazioni profonde ed irreversibili sia dell'ambiente sia della stessa società umana nei prossimi 50-100 anni. Allo stato attuale delle conoscenze scientifiche e sulla base dei più recenti risultati acquisiti da IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) abbiamo il seguente quadro di variazioni accertate.

Cambiamenti della temperatura del pianeta

La temperatura media globale del nostro pianeta è aumentata di un valore compreso fra $0,4$ e $0,8 \text{ }^\circ\text{C}$ a partire dalla fine del 1800. I più rilevanti aumenti di temperatura sono avvenuti principalmente in due periodi:

- a) nel periodo compreso fra il 1910 ed il 1945;
- b) nel periodo attuale che va dal 1976 ai giorni nostri.

Il riscaldamento globale del primo periodo (1910-45) è stato concentrato, in modo molto marcato, soprattutto nella regione del nord Atlantico (inclusa Europa e nord America). In questa regione ha fatto però seguito, tra il 1946 ed il 1975, un persistente raffreddamento non riscontrato in altre parti del pianeta. Nel secondo periodo (tra il 1976 ed oggi) il maggior riscaldamento ha riguardato complessivamente tutto l'emisfero nord, ma in particolare le medie ed alte latitudini delle zone continentali. Il riscaldamento dell'emisfero sud si è manifestato, invece, in modo molto meno marcato. Tuttavia, complessivamente, il tasso di riscaldamento in quest'ultimo periodo è stato particolarmente elevato e pari a circa $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ per decennio. Se si analizzano in dettaglio gli andamenti delle temperature minime e massime (giornaliere, mensili ed annuali) si nota che il riscaldamento globale del nostro pianeta non era dovuto tanto all'aumento delle temperature massime, ma dovuto essenzialmente all'aumento delle temperature minime il cui tasso di crescita è stato doppio di quello delle temperature massime.

Scioglimento dei ghiacci

Per quanto riguarda i ghiacci della calotta antartica, non appare evidente alcuna correlazione tra aumento della temperatura globale e scioglimento dei ghiacci antartici, a partire dal 1970,

da quando cioè si hanno dati attendibili in proposito. I dati esistenti mostrano che i ghiacci antartici sono rimasti piuttosto stabili. Per quanto riguarda i ghiacci artici, invece, è stata notata una certa riduzione in questi ultimi decenni, una riduzione che ha interessato anche il ghiaccio marino delle alte latitudini. Infine, per quanto riguarda i ghiacciai delle medie latitudini la tendenza è una riduzione delle dimensioni e delle estensioni dei ghiacciai. Questa tendenza è particolarmente evidente nei ghiacciai alpini e in quelli delle catene montuose delle medie e basse latitudini dell'emisfero nord (Himalaia, Ande, Kilimangiaro ecc.).

Precipitazioni e siccità

Le precipitazioni, intese come precipitazioni totali annue, sono in aumento soprattutto nell'emisfero nord e particolarmente nelle regioni delle medie ed alte latitudini. Nell'emisfero sud, invece, non si notano variazioni significative, né si osservano tendenze in atto. Infine, nelle regioni subtropicali vi è una chiara tendenza alla diminuzione, tendenza che coinvolge anche le regioni limitrofe delle medie latitudini. In effetti, i fenomeni di aumento della siccità sono particolarmente evidenti nella regione del Sahel (dove a partire dal 1970 si è sempre di più aggravata), nell'Asia orientale e nel sud Africa. Aumento dei fenomeni siccitosi si sono avuti anche in aree limitrofe, quali la parte più estrema del sud Europa (Spagna, Italia meridionale, Grecia, Turchia) e la parte meridionale degli Stati Uniti. Tuttavia, in tutte queste aree, molti dei fenomeni siccitosi derivano anche dal comportamento anomalo di "el niño", di cui si parlerà successivamente.

Circolazione atmosferica ed oceanica

Esistono due fenomeni periodici e ricorrenti della circolazione atmosferica ed oceanica che negli ultimi decenni hanno subito delle modifiche: il fenomeno di ENSO (El Niño Southern Oscillation), detto più brevemente "el niño", ed il fenomeno della NAO (North Atlantic Oscillation). Per quanto riguarda "el niño", va rilevato che il suo comportamento è particolarmente insolito a partire dal 1970. Non sono ancora chiare le cause di tale insolito comportamento. In ogni caso si è osservato che sia la frequenza sia la intensità di "el niño" sono in aumento, mentre vi è una diminuzione (in frequenza ed intensità) dei fenomeni opposti di "la niña". Per quanto riguarda la NAO, pur essendo meno evidente di "el niño", va rilevato che essa è accoppiata con la circolazione delle correnti oceaniche del nord Atlantico e con la circolazione generale dell'atmosfera della zona artica. Tale accoppiamento in questi ultimi anni ha dato luogo con maggior evidenza ad un rafforzamento sia della ciclogenese dei cicloni extratropicali, sia delle correnti aeree, delle burrasche e dell'intensità dei venti associati alle perturbazioni meteorologiche di origine atlantica.

Eventi meteorologici estremi

In questo contesto è necessario distinguere tra precipitazioni estreme (piogge alluvionali), temperature estreme (sia calde sia fredde) e tempeste (quali cicloni, tornado ecc.). Per quanto riguarda le precipitazioni estreme, le valutazioni IPCC mostrano che nelle regioni del pianeta dove le precipitazioni totali annue sono in aumento, risultano in aumento anche la frequenza delle piogge a carattere alluvionale. In particolare, in queste zone le piogge tendono in generale ad avere una intensità maggiore e una durata minore. Tuttavia, ci sono anche delle eccezioni come le regioni dell'Asia orientale dove, pur essendo le precipitazioni totali annue in diminuzione, sono invece in aumento i fenomeni di precipitazioni estreme o a carattere alluvionale.

Per quanto riguarda le temperature estreme i dati attuali mostrano che non sembra esserci un aumento della frequenza delle temperature massime (estremi di caldo) ma appare, in-

le precipitazioni sono in aumento soprattutto nell'emisfero nord

vece, evidente una diminuzione della frequenza delle temperature minime (estremi di freddo). Ciò, comunque, non esclude il fatto che, indipendentemente dalla frequenza, i singoli picchi di caldo o di freddo possano talvolta raggiungere anche valori record. Infine, un discorso a parte va fatto per le tempeste. A livello globale non appare evidente che in questi ultimi decenni vi siano stati aumenti nella frequenza dei cicloni tropicali (e delle tempeste ad essi associati: gli uragani, i tifoni, i tornado ecc.), né nella frequenza di quelli extratropicali, anche se i danni derivanti da tali tempeste appaiono in aumento. Pertanto, pur non essendo variata la frequenza, sembrerebbe aumentata l'intensità o la violenza di tali tempeste. Tuttavia, non essendo disponibili informazioni complete e attendibili sulla intensità di questi eventi estremi, non è del tutto certo se i maggiori danni siano dovuti ad una aumentata intensità a parità di frequenza oppure ad una aumentata, per le zone colpite, vulnerabilità ambientale e territoriale, a parità di intensità. Se si analizzano i fenomeni a livello regionale si osserva che:

- a) il fenomeno di "el niño" ha portato ad un aumento della frequenza e dell'intensità dei cicloni tropicali originati sul Pacifico e ad una diminuzione dei cicloni extratropicali generati sull'Atlantico per gli anni successivi al 1970 e fino ai nostri giorni;
- b) la frequenza e l'intensità dei cicloni di origine atlantica è oscillante (periodi in cui appare un aumento, alternati a periodi in cui appare una diminuzione), a seconda dei decenni oggetto di osservazioni, ma sul lungo periodo non si osservano tendenze certe;
- c) la frequenza e l'intensità dei cicloni originati sull'Oceano Indiano è molto variabile senza alcuna tendenza né all'aumento, né alla diminuzione.

**una
tendenza al
progressivo
aumento dei
processi di
aridità**

Le tendenze climatiche in atto in Italia

L'Italia dispone di un rilevante patrimonio di documentazione storica sulle caratteristiche meteorologiche di molte località italiane. Dati ed informazioni, opportunamente interpretate ed elaborate hanno permesso di realizzare un quadro dell'evoluzione del clima e valutare i cambiamenti in atto in una prospettiva di lungo periodo. Le serie secolari più lunghe ed affidabili (1865-2000) provengono dalle stazioni UCEA e dai Servizi Idrografici, mentre quelle decennali (1951-2000) rilevate secondo gli "standard" internazionali della World Meteorological Organization sono dell'Aeronautica Militare.

Variazioni di temperatura in Italia

Le analisi delle serie storiche italiane, che sono circa 40, relative al periodo 1865-1996 indicano che:

- le temperature massime e minime mensili sono aumentate in modo diverso nelle diverse regioni, ma soprattutto fra Italia settentrionale ed Italia centro-meridionale;
- la temperatura massima è aumentata nel periodo di osservazione (1865-2000) di circa 0,6 °C nelle regioni del nord Italia e di 0,8 °C nelle regioni del centro-sud;
- la temperatura minima è aumentata di circa 0,4°C nelle regioni del nord e 0,7° nel centro-sud;
- l'inverno è la stagione nella quale le temperature massime e minime sono aumentate maggiormente in tutte le regioni italiane.
- per le regioni dell'Italia centro-meridionale, a partire dal 1930, si riscontra inoltre una tendenza al progressivo aumento della evapotraspirazione e, di conseguenza, dei processi di aridità, a causa della concomitanza sia dell'incremento delle temperature, sia della progressiva riduzione delle precipitazioni, anche se le informazioni sulle precipitazioni sono da ritenersi meno affidabili nel periodo compreso fra il 1930 ed il 1950.

Il quadro generale degli andamenti delle temperature osservate in Italia mostra caratteristiche analoghe a quelle medie osservate a livello globale, ma con accentuazione dei fenomeni di riscaldamento e dei processi di aridità per le regioni centro-meridionali.

Variazioni di precipitazioni in Italia

Le serie storiche italiane più affidabili in questo campo non risalgono al secolo scorso, come nel caso della temperatura, ma sono più recenti e riguardano settantacinque serie di precipitazioni giornaliere relative al periodo dal 1951-1996, dalle quali si evidenzia che in questi ultimi 50 anni circa:

- le precipitazioni totali sono diminuite in tutto il territorio nazionale con maggiori riduzioni nelle regioni centro-meridionali, rispetto a quelle settentrionali;
- il numero complessivo dei giorni di pioggia in tutto il territorio nazionale è diminuito di circa 14% senza significative variazioni fra regioni settentrionali e regioni centro-meridionali;
- a livello stagionale si riscontra, in generale e per tutte le regioni, che la riduzione dei giorni di pioggia è molto più elevata nella stagione invernale rispetto alle altre stagioni;
- a livello stagionale si riscontra inoltre una tendenza, generale e per tutte le regioni, all'aumento dell'intensità delle precipitazioni e ad una diminuzione della loro durata;
- l'aumento dei fenomeni siccitosi riguarda tutte le regioni italiane, ma la persistenza dei periodi di siccità è diversamente distribuita: nelle regioni settentrionali la persistenza è maggiore in inverno, mentre nelle regioni meridionali la persistenza è maggiore in estate.

Gli andamenti osservati in Italia sono solo parzialmente analoghi con gli andamenti osservati a livello globale. Ciò è dovuto alla particolare climatologia della regione mediterranea e all'evoluzione a più grande scala che sta subendo tale climatologia. Infatti, gli studi in corso mostrano una variazione della frequenza e della persistenza dei cicloni extratropicali sul bacino del Mediterraneo ed una accelerazione della velocità e della intensità del ciclo idrologico complessivo mediterraneo.

Variazione del livello del mare

Quantunque a livello globale, a partire dal 1900, il livello medio del mare è andato progressivamente aumentando (circa 0,2 mm/anno) con un'accentuazione della crescita in questi ultimi anni (circa 0,7 mm/anno), tuttavia il mar Mediterraneo (e quindi anche i mari italiani), presenta comportamenti anomali rispetto agli oceani. Dopo una fase iniziale di innalzamento progressivo del livello, analogo a quello osservato a livello globale, sono apparse anomalie nei tassi di crescita, particolarmente evidenti negli ultimi 30 anni, ma soprattutto in questi ultimi 15 anni durante i quali il livello marino è rimasto stazionario o ha mostrato addirittura sintomi di diminuzione. Questo andamento recente, se paragonato con quello della media degli oceani implicherebbe necessariamente la formazione in atto di una sorta di "scalino" che dovrebbe formarsi presso lo stretto di Gibilterra e che gli studi in corso stanno cercando di verificare e spiegare. Attualmente le ipotesi in esame sono le seguenti:

- il livello del mar Mediterraneo non cresce come quello degli oceani a causa delle anomalie nella dinamica dell'atmosfera, che hanno colpito in modo particolare il Mediterraneo: infatti, poiché è variata la frequenza e l'intensità dei cicloni extra tropicali e sono aumentate in numero ed intensità le situazioni anticicloniche sul Mediterraneo (alte pressioni), la pressione atmosferica sulla superficie del mare è mediamente più alta, e questo comporterebbe, per un mare chiuso come il mediterraneo uno "schacciamento" non trascurabile verso il basso della superficie marina stessa;

*il livello del
Mar
Mediterraneo
non cresce
come quello
degli oceani*

- il livello del Mar Mediterraneo non cresce come quello degli oceani a causa delle anomalie del ciclo idrologico complessivo del bacino mediterraneo: infatti, da una parte è aumentata l'evaporazione delle acque mediterranee (a causa del riscaldamento globale) e dall'altra è diminuito l'apporto idrico dei fiumi e delle acque interne (a causa della riduzione delle precipitazioni): tutto ciò porta sia ad una crescita della salinità del Mediterraneo, sia ad una diminuzione del livello marino. Gli apporti di acqua atlantica attraverso lo stretto di Gibilterra non riescono a compensare le perdite per evaporazione e minor apporto fluviale, perché la maggior acqua salata presente nel Mediterraneo, e che dal Mediterraneo tende a riversarsi nell'Atlantico (acqua più pesante), impedirebbe all'acqua atlantica meno salata (e più leggera) di penetrare attraverso la sezione, alquanto angusta, dello stretto di Gibilterra nel Mediterraneo a flussi sufficienti per compensare le perdite.

Risorse idriche

*situazione
idrica di
crescente
criticità nel
Sud Italia e
isole*

Le stime più recenti (campagne di studio della Conferenza Nazionale delle Acque) valutano che l'apporto complessivo delle piogge sul territorio nazionale è di circa 300 miliardi di metri cubi per anno e si distribuisce in modo disomogeneo fra nord (41%), centro (26%), sud (20%) ed isole (6%). L'evapotraspirazione riduce drasticamente questo apporto tanto che la risorsa netta effettivamente disponibile viene stimata essere di poco superiore ai 50 miliardi di metri cubi per anno suddivisa in acque sotterranee (per circa 10-25%) e acque superficiali (75-90%): un quarto circa delle acque superficiali viene raccolta in invasi naturali ed artificiali.

Gli utilizzatori delle risorse idriche disponibili sono fondamentalmente le regioni settentrionali (per il 65%), mentre le regioni centrali e meridionali ne hanno a disposizione molto meno (il 35%). Il principale consumatore di acqua in tutte le regioni è il settore agricolo, le cui esigenze vengono soddisfatte al nord utilizzando direttamente le acque superficiali, mentre al sud e nelle isole utilizzando soprattutto gli invasi artificiali. L'uso potabile ai fini civili viene soddisfatto utilizzando prevalentemente acque sotterranee ma al sud acquista importanza fondamentale l'uso delle acque di invasi artificiali. Questo bilancio idrologico, tracciato a grandi linee, sta subendo delle modifiche perché gli apporti complessivi che vengono dalle precipitazioni meteoriche mostrano la tendenza alla diminuzione, più accentuata nell'Italia meridionale rispetto al nord Italia, mentre gli utilizzi dell'acqua da parte delle attività umane sono in costante aumento, con una situazione di crescente criticità nelle regioni meridionali e nelle isole.

Variazione qualità dei suoli e rischio desertificazione

Le analisi complessive sui suoli della regione mediterranea mostrano che molte delle aree più meridionali dell'Europa e gran parte di quelle del nord Africa sono, già da tempo, soggette ad una crescente pressione antropica sulle risorse naturali, alla quale si aggiungono ora anche i cambiamenti del clima: tutto ciò sta determinando una riduzione della produttività biologica ed agricola e ad una progressiva perdita di biodiversità degli ecosistemi naturali. In Italia, il fenomeno è particolarmente evidente nelle regioni meridionali ed insulari, dove l'aridità dei suoli è aumentata a partire dal 1900, ma soprattutto in questi ultimi decenni, sia in termini di estensione delle aree interessate, sia in termini di intensità.

Le aree aride, semi-aride e sub-umide secche, che si trasformano poi in aree degradate, interessano attualmente il 47% della Sicilia, il 31,2% della Sardegna, il 60% della Puglia, ed il 54% della Basilicata. Tuttavia, al degrado del suolo hanno contribuito anche le modalità di uso del suolo ed i cambiamenti di uso del suolo, come ad esempio politiche a sostegno

dell'agricoltura non sempre adatte alle specificità territoriali, l'impiego irriguo di risorse idriche non sempre idonee, il disboscamento e la crescita degli incendi boschivi, la concentrazione dell'urbanizzazione nelle aree costiere. Fattori derivanti da cambiamento del clima e fattori di origine antropica hanno complessivamente innescato alcuni processi che sono stati identificati come principale causa del degrado del suolo italiano, e di rischio di desertificazione nell'Italia meridionale; tali processi sono: l'erosione, la salinizzazione, la perdita di sostanza organica e l'impermeabilizzazione.

Gli scenari futuri per l'Europa e il Mediterraneo

Le valutazioni degli scenari di cambiamento climatico e di conseguenze dei cambiamenti climatici in Europa ed in particolare nell'area mediterranea non sono allo stato attuale delle conoscenze, abbastanza dettagliate da renderle sicuramente affidabili, essendo affette da errori che dipendono sia dai modelli e dalle metodologie utilizzate sia dagli scenari di evoluzione dello sviluppo socio economico e delle emissioni antropiche di gas di serra.

Tenendo conto delle incertezze, vengono di seguito riportate le tendenze future più probabili in relazione alla sensibilità dei sistemi ambientali e socioeconomici europei ed alle capacità di adattamento di tali sistemi alle variazioni climatiche.

L'Europa ed in particolare l'area mediterranea sia a causa della complessità dei sistemi ambientali, umani, sociali ed infrastrutturali, sia a causa della peculiarità delle caratteristiche degli ecosistemi naturali e del patrimonio storico, artistico e culturale, possiede già attualmente una vulnerabilità accentuata verso gli eventi estremi non solo di tipo meteorologico (alluvioni, inondazioni, siccità ecc.), ma anche di tipo naturale (terremoti, stabilità geologica ed idrogeologica ecc.). I futuri cambiamenti climatici prevedibili modificheranno tale vulnerabilità e porteranno conseguenze che, rispetto alla situazione attuale, in alcuni casi si aggraveranno, in altri si attenueranno.

I problemi prioritari che dovranno affrontare i Paesi dell'Europa meridionale, ed in particolare i Paesi del Mediterraneo, sono così sintetizzabili:

- a) gli eventi meteorologici ed idrologici estremi ed in particolare la differenza fra abbondanza e scarsità d'acqua fra nord e sud Europa e, per l'Italia, fra nord e sud Italia. Questo problema non è semplicemente una questione di bilancio idrologico, ma ha profonde implicazioni sull'agricoltura, la produzione industriale, l'urbanizzazione, il turismo, la salute e non ultimo il settore assicurativo;
- b) lo spostamento verso nord di tutti i sistemi ecologici ed ambientali naturali che potrebbe portare a profonde modifiche, anche del paesaggio, in tutta Europa con effetti positivi nel nord Europa ed effetti negativi nel sud Europa ed in Italia, soprattutto nei settori dell'agricoltura, del turismo e tempo libero, nel settore residenziale;
- c) le ripercussioni secondarie connesse con le conseguenze dei cambiamenti climatici, quali la perdita della biodiversità e i rischi di desertificazione che interesserebbero soprattutto il sud Europa e l'area mediterranea. Ripercussioni non trascurabili si avrebbero anche nel campo economico a causa delle modifiche delle opportunità di sviluppo per i vari Paesi europei, ma anche fra le varie regioni italiane, soprattutto per quanto riguarda le iniziative economiche, l'occupazione e la distribuzione della ricchezza, opportunità che, a loro volta, coinvolgerebbero anche problemi di equità fra le popolazioni europee.

Per quanto riguarda i possibili cambiamenti, la situazione che si prospetterebbe viene qui di seguito sintetizzata in dettaglio in relazione ai vari fattori climatici ed ai principali impatti prevedibili.

*vulnerabilità
accentuata
verso gli
eventi
estremi
meteorologici
e naturali*

Temperatura

La temperatura media annuale tenderà a crescere ad un ritmo compreso fra 0,1° e 0,4 °C per decennio e tale crescita risulterà più marcata sull'Europa nord orientale (in particolare la penisola scandinava e la Russia occidentale) e sul Mediterraneo (in particolare Spagna, Italia e Grecia), ma meno marcata nell'Europa nord occidentale (in particolare: isole britanniche e Francia). A livello stagionale, invece, il riscaldamento invernale sarà più accentuato lungo una direzione ovest-est che va dall'Europa centrale a quella orientale (dalla Francia alla Russia), mentre il riscaldamento estivo sarà più marcato lungo una direzione nord sud che va dalla Scandinavia all'Italia. Inoltre tenderà a diminuire sia la lunghezza della stagione invernale, sia la frequenza degli estremi di freddo in inverno. Viceversa, tenderà ad aumentare sia la lunghezza della stagione estiva, sia la frequenza degli estremi di caldo in estate.

Precipitazioni

L'andamento generale previsto per le precipitazioni annue future mostra:

- un aumento delle precipitazioni ad un ritmo compreso fra 1 e 2% per decennio per quanto riguarda il nord Europa;
- una diminuzione delle precipitazioni ad un ritmo pari a circa 1% per decennio per quanto riguarda il sud Europa ed in particolare l'area mediterranea;
- un carattere ambiguo per quanto riguarda il centro Europa ed in particolare l'area compresa fra Francia ed Ungheria.

L'andamento stagionale delle precipitazioni mostra una differenziazione ancor più marcata nelle varie regioni europee. In particolare:

- la maggior parte dell'Europa diventerà più piovosa in inverno (ad eccezione dei Balcani e della Turchia che viceversa diventano più secchi) e più secca in estate (ad eccezione della Scandinavia che viceversa diventa più piovosa);
- in inverno la maggiore piovosità si concentrerà soprattutto lungo le zone prospicienti l'asse centrale europeo che va da ovest ad est (dalla Francia alla Russia);
- in estate invece si manifesterà un forte gradiente lungo un asse nord-sud (dalla Scandinavia all'Italia) con forte aumento siccità nell'area mediterranea (diminuzione delle piogge estive del 5% per decennio), e con un discreto aumento delle precipitazioni nel nord Europa (aumento delle piogge del 2% per decennio).

Eventi estremi

La previsione dell'intensità e della frequenza futura degli eventi meteorologici estremi è molto difficile ed i risultati vanno considerati come indicativi. È quindi molto probabile che aumenti sia la frequenza che l'intensità di molti fenomeni estremi ed in particolare:

- delle onde di calore in estate su tutta l'Europa;
- delle precipitazioni estreme (alluvioni) su tutta l'Europa, soprattutto d'inverno;
- della mancanza prolungata di precipitazioni (siccità) sull'Europa meridionale, soprattutto d'estate.

Il probabile aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi meteorologici estremi porterà ad un aumento dei danni economici e sociali sulle strutture ed infrastrutture residenziali e produttive, la cui entità dipende sia dalla vulnerabilità delle singole strutture ed infrastrutture, sia dalla vulnerabilità ambientale e territoriale complessivamente esistente. La crescita di eventi estremi, potrebbe incidere anche direttamente sulle attività produttive modificando le opportunità di alcuni mercati e la domanda di alcuni prodotti.

*probabile
aumento
degli eventi
meteorologici
estremi*

Risorse idriche

L'attuale pressione antropica sulle risorse idriche, ed in particolare il loro uso e la loro gestione, tenderà a diventare più acuta con i cambiamenti climatici. I rischi da alluvioni e da inondazioni tenderanno ad aumentare, e aumenteranno anche i rischi di disponibilità di adeguate risorse idriche, in particolare nel sud Europa e nell'area mediterranea. I cambiamenti climatici tenderanno ad aumentare le differenze tra nord e sud Europa (eccesso di acqua nel nord Europa, mancanza d'acqua nel sud Europa).

La qualità dei suoli

La qualità dei suoli tenderà a deteriorarsi in tutta l'Europa. In particolare, nel nord Europa il deterioramento potrà essere provocato principalmente dal maggior dilavamento dei suoli a causa della crescita delle precipitazioni e dei maggiori rischi di alluvione, mentre nel sud Europa, al contrario, il deterioramento potrà essere provocato dal degrado dei suoli da erosione e perdita di nutrienti a causa dalla diminuzione delle precipitazioni e dai maggiori rischi di siccità. Il degrado a sua volta accrescerà il rischio di desertificazione. Con l'aumento della temperatura saranno probabili fenomeni di deglaciazione in alta montagna. I suoli, ma soprattutto i pendii e versanti liberi da ghiacci perenni, saranno più soggetti a processi franosi.

Ecosistemi

L'aumento della temperatura media e la crescita delle concentrazioni di anidride carbonica in atmosfera sono in grado di cambiare gli equilibri degli ecosistemi naturali con modifiche anche nel paesaggio. Pertanto, la vegetazione e gli ecosistemi naturali più tipici dell'area mediterranea tenderanno a spostarsi verso il centro Europa, così come le foreste di conifere e quelle tipiche boreali delle medie latitudini potrebbero prendere il posto della tundra, presente attualmente alle più alte latitudini dell'Europa.

Nell'area mediterranea, invece, tenderanno sia ad aumentare gli incendi boschivi, sia a crescere i rischi di perdita degli ecosistemi e della biodiversità attuale. Le conseguenze si ripercuoteranno anche sulla fauna e soprattutto su quella migratoria.

Si valuta che complessivamente la produttività primaria tenderà a crescere (maggiore presenza di biomassa), ma, salvo una fase transiente (espansione verso nord delle foreste), non cresceranno le riserve complessive di carbonio (*carbon sinks and carbon stocks*).

Agricoltura

L'aumento di anidride carbonica in atmosfera tenderà ad aumentare la produttività agricola soprattutto del nord e del centro Europa. Nel sud Europa, invece, la riduzione della disponibilità d'acqua e l'aumento della temperatura tenderanno a portare, invece, ad un effetto opposto. Complessivamente, l'Europa non subirebbe modifiche significative nella produttività agricola totale, ma solo una sua diversa distribuzione. Infatti, dai cambiamenti climatici il nord Europa riceverebbe degli effetti positivi, mentre il sud Europa degli effetti negativi, che tenderebbero complessivamente a bilanciarsi.

Foreste

La risposta delle foreste ai cambiamenti climatici presenterà due tendenze opposte, una di diminuzione del patrimonio forestale causata dalla riduzione della disponibilità idrica nelle aree del sud Europa e del Mediterraneo, e l'altra di espansione della flora arborea e di allungamento del periodo vegetativo nel nord Europa, dove ci saranno più favorevoli condizioni di temperatura ed umidità dei suoli, oltre alla maggiore disponibilità di anidride carbonica per la fotosintesi.

gli ecosistemi naturali mediterranei tenderanno a spostarsi verso il centro Europa

Che cos'è il clima

Il "clima" nell'opinione pubblica è percepito come una serie di statistiche meteorologiche. In realtà, il clima è l'equilibrio energetico tra il flusso totale di energia entrante sul nostro pianeta, che è quasi totalmente l'energia solare, ed il flusso totale di energia uscente dal nostro pianeta, che è in parte radiazione solare riflessa dall'atmosfera, dal suolo e dalle nubi, ed in parte energia emessa o irraggiata dalla terra nel suo insieme. Prima di essere riemessa verso lo spazio, l'energia solare viene anche trasformata (per esempio: in calore e dinamica dell'atmosfera, dagli oceani) e rielaborata in varie forme (comprese le forme organiche). Pertanto, il clima è l'equilibrio di un sistema (detto sistema climatico) costituito dalle seguenti componenti: atmosfera, oceano, biosfera e geosfera (inclusa la criosfera ed i sistemi idrogeologici continentali). Tali componenti interagiscono incessantemente fra loro scambiandosi flussi di calore, flussi di energia, e flussi di materia attraverso due cicli fondamentali: quello dell'acqua e quello del carbonio. L'equilibrio a scala globale costituisce il clima globale, l'equilibrio a scala regionale o locale costituisce rispettivamente il clima regionale o locale. Attualmente, le attività umane sono capaci di modificare le capacità di assorbimento o di emissione dei flussi energetici e quindi sono in grado di modificare il clima.

Che cosa sono vulnerabilità e resilienza ai cambiamenti del clima

La vulnerabilità è la potenzialità o la possibilità che un determinato sistema (ambientale o umano) possa essere danneggiato rispetto ad una variazione del clima, possibilità determinata dall'incapacità di tollerare quella variazione. Ciò porta come conseguenza a modifiche anche irreversibili e a danni, la cui entità dipende dalla sensibilità ai cambiamenti del clima del sistema suddetto. La resilienza, invece, è la potenzialità o la possibilità che un determinato sistema possa resistere ad un danno, possibilità determinata dalle sue proprie capacità di elasticità o di recupero rispetto alla variazione del clima, la resilienza è, quindi, l'opposto della vulnerabilità. Vulnerabilità e resilienza rappresentano, infatti, le due facce di una stessa medaglia.

Che cosa è l'adattamento ai cambiamenti del clima

L'adattamento rappresenta gli aggiustamenti che i sistemi naturali e quelli umani effettuano, o sono in grado di effettuare, in relazione ad una variazione del clima, al fine di riequilibrarsi alle mutate condizioni, o agli effetti di tali mutate condizioni. Si tratta di aggiustamenti, che da una parte tendono a minimizzare le conseguenze negative della variazione climatica e, dall'altra parte, a sfruttare le opportunità positive di tale variazione, aggiustamenti che nei sistemi ambientali naturali, in assenza di intervento umano, sono per lo più di tipo omeostatico. L'adattamento dipende dalle intrinseche capacità che i sistemi considerati hanno di raggiungere un nuovo equilibrio più o meno analogo al precedente, ma adeguato alla nuova situazione. Le capacità di adattamento sono tanto maggiori quanto maggiore è la resilienza del sistema considerato (o quanto minore è la sua vulnerabilità), e sono tanto maggiori quanto minore è la sensibilità di tale sistema alla variazione del clima. Di conseguenza, aumentare o favorire l'adattamento di un sistema ai cambiamenti climatici significa prioritariamente diminuire la vulnerabilità di tale sistema agli stessi.

Nell'area mediterranea, ed in particolare nel sud Italia, in gran parte di Spagna, Grecia e Turchia, l'aumento previsto dell'aridità renderà le foreste più vulnerabili ai fattori di disturbo biotici (attacchi batterici, parassitari ecc.) ed abiotici (siccità, incendi ecc.) riducendone la resistenza e soprattutto compromettendone la resilienza. Ciò comporterà, in tali aree, anche una perdita di habitat e quindi di biodiversità.

Benessere umano

L'aumento della temperatura tenderà a modificare anche l'uso del tempo libero della popolazione ed in particolare tenderà a stimolare maggiori attività turistiche e ricreative all'aria aperta nel nord Europa ed a ridurle, invece, nel sud Europa. Nell'area mediterranea in particolare, le più frequenti ondate di calore e di siccità, insieme alla minore dispo-

nibilità di acqua, potrebbero modificare le attuali abitudini turistiche concentrate soprattutto in estate, così come il minor innevamento e la progressiva ritirata dei ghiacciai potrebbe modificare e ridurre l'abituale turismo invernale alpino.

Ambiente marino-costiero

L'aumento del livello del mare comporterà maggiori rischi per le zone costiere europee del Mediterraneo. In particolare, si valuta che i maggiori problemi siano nella perdita di zone umide alla foce dei fiumi, nell'invasione di acqua salata nelle falde costiere di acqua dolce con conseguenze sull'agricoltura e sulla disponibilità di acqua dolce, ed infine, nella maggiore e più rapida erosione delle spiagge basse e delle spiagge ottenute con opere di difesa idraulica delle coste o di zone bonificate. Nell'Europa settentrionale, le zone costiere più esposte a rischio di inondazione sarebbero quelle del mar Baltico ed in particolare della Polonia.

Problemi di maggiore criticità per l'Italia

Gli scenari futuri di cambiamento climatico per l'Europa ed il Mediterraneo, sopra descritti, contengono le indicazioni sui possibili impatti che riguardano anche l'Italia nel contesto dell'area mediterranea e del sud Europa. Tuttavia, sono da evidenziare alcuni problemi critici che si porranno in Italia a seguito dei prevedibili cambiamenti climatici, problemi che riguardano soprattutto le conseguenze sull'ambiente marino costiero in relazione all'innalzamento del livello del mare, le conseguenze sul suolo, ecosistemi ed agricoltura in relazione alle variazioni di temperatura, precipitazioni ed umidità e gli eventuali potenziali rischi aggiuntivi in relazione all'acutizzarsi di eventi estremi.

potrebbe modificarsi l'abituale turismo estivo e invernale

Innalzamento del livello del mare

All'innalzamento del livello del mare contribuiscono diverse cause, ma l'espansione termica degli oceani sarà la fondamentale causa di innalzamento del livello marino globale. Tuttavia, su base regionale l'innalzamento del livello del mare sarà diverso a seconda delle diverse regioni del globo. Nel Mediterraneo tale innalzamento dovrebbe essere contenuto, secondo IPCC, tra i 18 cm ed i 30 cm al 2090, senza ovviamente considerare i fattori di subsidenza naturale che sono diversi per le diverse zone costiere italiane.

Assumendo come riferimento le valutazioni IPCC e senza tener conto dei movimenti verticali del suolo a cui è soggetto per sua natura geologica il territorio italiano, risulterebbero a rischio inondazione circa 4.500 chilometri quadrati di aree costiere e pianure distribuite nel modo seguente:

- 25,4% nel nord dell'Italia (soprattutto alto Adriatico);
- 5,4% nell'Italia centrale (soprattutto medio Adriatico ed alcune zone del medio Tirreno);
- 62,6% nell'Italia meridionale (soprattutto Golfo di Manfredonia e zone del Golfo di Taranto);
- 6,6% in Sardegna (soprattutto zone della parte occidentale e meridionale).

Anche se per il momento l'area mediterranea non appare tra le più critiche per problemi di popolazioni a rischio di inondazione, è, comunque fra quelle mondiali a più alta vulnerabilità in termini di perdita di zone umide ed in particolare degli ecosistemi e della biodiversità marino-costiera.

Inoltre, l'invasione marina delle aree costiere basse e delle paludi costiere, accompagnata da minori capacità di ripascimento delle spiagge da parte dei detriti solidi dai fiumi (fiumi con portate medie più ridotte a causa della riduzione delle precipitazioni), accelera l'erosione delle coste, aumenta la salinità negli estuari e nei delta a causa dell'ingresso del

cuneo salino, produce una maggiore infiltrazione di acqua salata negli acquiferi della fascia litorale.

Le coste basse sarebbero in ogni caso maggiormente esposte alle inondazioni in caso di eventi meteorologici estremi accompagnati da forti mareggiate, che, tra l'altro, impediscono il deflusso dei fiumi nel mare, causando maggiori probabilità di straripamenti e di alluvioni. Va osservato, comunque, che i maggiori rischi valutati per l'Italia sono in realtà rischi aggiuntivi di quelli già esistenti a causa della attuale pressione antropica e dell'uso dei territori costieri. Infatti, almeno per quanto riguarda l'Italia, i cambiamenti climatici non tendono a creare nuovi rischi, ma tendono ad accentuare ed amplificare (con effetti talvolta non prevedibili) i rischi già esistenti derivanti dalla urbanizzazione, la produzione industriale, la pesca, il turismo, i trasporti marittimi ecc.

Secondo uno studio dell'ENEA, sono a possibile rischio di inondazione e/o erosione costiera non solo l'area veneziana e tutta la costa dell'alto Adriatico compresa grosso modo tra Monfalcone e Rimini, ma anche altre aree costiere quali quelle alla foce dei fiumi (Magra, Arno, Ombrone, Tevere, Volturno, Sele), quelle a carattere lagunare (Orbetello, laghi costieri di Lesina e Varano, stagno di Cagliari), coste particolarmente basse o già soggette ad erosione (costa prospiciente Piombino, tratti della costa pontina e del Tavoliere delle Puglie ecc.).

L'entità del rischio non è, comunque, lo stesso per tutte le coste sopra menzionate, ma è maggiore là dove esistono già problemi di subsidenza e problemi di erosione e di instabilità dei litorali, problemi che riguardano soprattutto l'alto Adriatico e l'alto Tirreno.

**anche
se irrigati,
i suoli
possono
degradare**

Suolo e agricoltura

Nell'Italia meridionale, già attualmente afflitta da scarsità di acqua e da problemi di degrado dei suoli a causa di molteplici fattori derivanti dalle attività antropiche e dall'uso del territorio, i cambiamenti climatici prevedibili indurranno ulteriori fattori di rischio inclusi i rischi di desertificazione per i quali sono in corso opportuni studi nell'ambito dell'Annesso IV della Convenzione per la lotta contro la desertificazione.

La possibilità di ulteriore degrado a causa dei cambiamenti climatici è legata alla concomitanza di due fattori che gli attuali scenari di cambiamento climatico non stimano con certezza ma indicano come probabili, e cioè: la diminuzione delle precipitazioni totali annue al di sotto della soglia di circa 600 mm/anno che, con temperature medie crescenti, implica un rischio permanente di aridificazione; l'estensione dei periodi di siccità per periodi prolungati di molti mesi, soprattutto se questo periodo coincide con il semestre caldo (evapotraspirazione molto alta e aridificazione acuta). Anche se irrigati, i suoli possono ugualmente degradare se le attività umane sul territorio (ed in primo luogo l'agricoltura) sono tali da indurre cambiamenti insostenibili nei terreni, ridurre la biodiversità e rendere non permanente qualsiasi tipo di equilibrio ecosistemico. Nell'Italia settentrionale, dove invece gli equilibri idrologici potrebbero essere cambiati per la maggiore disponibilità d'acqua, il problema del degrado è legato alle condizioni di maggior ruscellamento (o *run-off*) a cui sono sottoposti i suoli, ma soprattutto i pendii e le zone collinari.

Secondo le più recenti stime condotte da ENEA, l'incremento di temperatura media prevista da IPCC alle nostre latitudini potrà influenzare sia la vegetazione naturale sia le coltivazioni. In particolare, nell'Italia meridionale potrebbe prodursi un effetto particolarmente negativo sui sistemi locali, poiché sia la vegetazione sia i terreni si trovano già in un regime di disponibilità idrica marginale. Le regioni italiane settentrionali potrebbero avere invece maggiori problemi di franosità e di erosione da *run-off*, ma meno problemi sulla vegetazione complessiva. Ciò nonostante, terreni bassi nella zona del delta del Po potrebbero essere colpiti in maniera significativa da fenomeni di innalzamento del livello del mare e di

intrusioni di acque salmastre. In ogni caso, i previsti aumenti di temperatura e di variazione delle precipitazioni e gli effetti sul ciclo idrologico richiederanno cambiamenti di gestione in molte regioni.

Eventi estremi

Le tendenze previste da IPCC a livello globale avranno ripercussioni anche a livello nazionale. In particolare è possibile che aumenti la frequenza, ma soprattutto l'intensità di fenomeni estremi quali siccità, alluvioni ed di altri fenomeni meteorologici particolarmente violenti (come le trombe d'aria, le burrasche, i groppi ecc.).

Tuttavia alcuni di questi fenomeni estremi, quali le alluvioni, interesseranno maggiormente l'Italia settentrionale, mentre altri, quali la siccità, soprattutto il meridione d'Italia.

La recrudescenza soprattutto dell'intensità dei fenomeni estremi porterà come conseguenza ad una variazione, probabilmente significativa, degli esistenti rischi di catastrofi naturali e della vulnerabilità del territorio nazionale, la cui valutazione di dettaglio è attualmente soggetta ad attente analisi da parte dell'ENEA.

Bibliografia

ANTONIOLI F., 1999. Measuring Holocene sea-level rise in the Mediterranean, in state e pressure on Mediterranean Sea Environment. Joint report of the Topic Centre on Marine Coastal Environment. EEA – European Environment Agency.

ANTONIOLI F., Silenzi S., 2001. Sea Surface Temperature and Sea Level Variations in the Tyrrhenian Sea during the Last 2000 and 500 yr. Invited paper at Accademia dei Lincei. Workshop on "Global climate changes during the late quaternary".

ANTONIOLI F., LEONI G., MARGOTTINI C., 2001. The risk of sea flooding in 33 Italian coastal plains. Accademia dei Lincei. Workshop on "Global climate changes during the late quaternary", Roma 4-5 maggio 2001. Abstract volume.

BRUNETTI M., BUFFONI L., MAUGERI M., NANNI T., 2000c. "Precipitation intensity trends in northern Italy". *International Journal of Climatology* 20: 1017-1031.

BRUNETTI M., COLACINO M., MAUGERI M., NANNI T., 2001. "Trends in the daily intensity of precipitation in Italy from 1951 to 1996". *International Journal of Climatology* 21: 299-316.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., 2000a. "Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995". *Theoretical and Applied Climatology* 65: 165-174.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., 2000b. "Trends of minimum and maximum daily temperatures in Italy from 1865 to 1996". *Theoretical and Applied Climatology* 66: 49-60.

BRUNETTI M., MAUGERI M., NANNI T., NAVARRA A., 2002. "Droughts and extreme events in regional daily Italian precipitation series", *Int. J. Climatol.*, in press.

BUFFONI L., MAUGERI M., NANNI T., 1999. "Precipitation in Italy from 1833 to 1996". *Theoretical and Applied Climatology* 63: 33-40.

CAMINITI N. M., LA MALFA S. (a cura di), 2002. *Incontrare Johannesburg 2002. Rapporto ENEA sullo stato di attuazione del Patto per l'Energia e l'Ambiente*, ENEA.

CAMUFFO D., JONES P. (eds.), 2002. *Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources*, Kluwer Academic Publisher.

CLINE W.R., 1992. *The Economics of Global Warming*. Institute of International Economics, Washington, DC.

COLACINO M., CONTE M., 1993. "Greenhouse effect and pressure pattern in the Mediterranean basin". *Il Nuovo Cimento*, 16C, 67-76.

COMITATO NAZIONALE PER LA LOTTA CONTRO LA DESERTIFICAZIONE – Comunicazione nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione.

CORPO FORESTALE DELLO STATO (MIPAF) – Rapporto sulla salute delle foreste italiane 2001.

EASTERLING W.E., CROSSON P.R., ROSENBERG N.J., MCKENNEY M.S., KATZ L.A., LEMON K.M., 1993. "Agricultural impacts of and responses to climate change in the Missouri-Iowa-Nebraska-Kansas (MINK) region". *Climatic Change* 24(1/2) 23-62.

ENEA, 2003. Terza Comunicazione Nazionale dell'Italia alle Nazioni Unite (UNFCCC), Capitolo 6, Ministero dell'Ambiente e del Territorio, Roma.

ENEA FEEM, 2003. La risposta al cambiamento climatico in Italia, Rapporto ENEA-Ministero Ambiente e Territorio, Roma.

EUROPEAN COMMISSION, 1999. Weather Impacts on Natural, Social and Economic Systems (WISE), DG XII (Environment and Climate Research Programme) - Framework IV.

*in molte
regioni
saranno
necessari
cambiamenti
di gestione
del territorio*

- EUROPEAN COMMISSION (ongoing) Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health in Europe (cCASHh), DG Research Environment and Sustainable Development Programme), Framework V.
- FANKHAUSER S., 1995. Valuing Climate Change. The Economics of the Greenhouse, Earthscan, London.
- FANKHAUSER S., SMITH J.B., TOL R.S.J., 1999. "Weathering climate change: some simple rules to guide adaptation decisions", *Ecological Economics* 30, 67-78.
- FEENSTRA J.F., BURTON I., SMITH J.B., TOL R.S.J. (eds.), 1998. *Handbook on Methods of Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies*, pp. 4.1-4.20, United Nations Environment Programme and Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Nairobi and Amsterdam.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, New York.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Cambridge University Press, New York.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2001. *Climate Change 2001: Mitigation*, Cambridge University Press, New York.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1998. *The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability*, Cambridge University Press, New York.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1996. *Impacts, adaptation and mitigation of climate change: scientific-technical analyses*, IPCC-WG2, Cambridge Univ. Press, pp. 773-797.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1995. *Radiative Forcing of Climate Change: An Evaluation of the Emission Scenarios*, Geneva.
- LAMBECK K., BARD E., 2000. "Sea-level change along the French Mediterranean coast since the time of the Last Glacial Maximum". *Earth Planetary Science Letter* 175 (3-4), 202-222.
- LAMBECK K., JOHNSTON P., 1995. "Land subsidence and sea-level change: contributions from the melting of the last great ice sheets and the isostatic adjustment of the Earth". In: BARENS F.J., BROUWER F.J.J., SCHRODER F.H. (eds.), *Land Subsidence. Proc. Fifth Int. Symp. Land Subsidence*, The Hague, 16-20 October 1995. Rotterdam, 3-18.
- LAMBECK K., CHAPPEL J., 2001. "Sea level change through the last glacial cycle", *Science*, 292, 679-686.
- MAUGERI M., BAGNATI Z., BRUNETTI M., NANNI T., 2001. "Trends in Italian total cloud amount, 1951-1996", *Geophys. Res. Lett.*, 28, 4551-4554.
- MINISTERO DELL'UNIVERSITÀ E DELLA RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA, Programma Nazionale della Ricerca – Approvato dal CIPE il 21.12.00.
- MOBERG A., JONES P.D., BERGSTROM H., CAMUFFO D., COCHEO C., DAVIES T.D., DEMARÉE G., MAUGERI M., MARTIN-VIDE J., VERHOEVE, T., 2000. "Day-to-day Temperature Variability Trends in 160- to 275-year-long European Instrumental Records". *J. Geophys. Res. – Atmospheres*, Vol 105: D18, 22849-22868.
- NAVARRA A. (a cura di). Linee Guida del Piano Nazionale di Ricerca per la Protezione del Clima, Ministero dell'Ambiente, 1998.
- NICHOLIS R.J., HOOZEMANS F.M.J., MARCHNAD M., 1999. "Increasing flood risk and wetland losses due to sea level rise". *Global Environmental Change*, n. 9, pp. 69-87).
- PFISTER C., BRAZDIL R., GLASER, R., BARRIENDOS M., CAMUFFO D., DEUTSCH, M., DOBROVOLNY P., ENZI S., GUIDOBONI E., KOTYZA O., MILITZER S., RACZ L., RODRIGO F.S., 1999. "Documentary Evidence on Climate in the Sixteenth-Century Europe". Special Issue: Climatic Variability in Sixteenth-Century Europe and Its Social Dimensions, *Climatic Change*, 43:1, 55-110.
- PIRAZZOLI P.A., 1997. *Sea-Level Changes, the last 20.000 years*. Wiley, 211 p.
- PIRAZZOLI P.A., TOMASIN A., 2000. "L'evoluzione Recente delle cause meteorologiche dell'acqua alta". *Atti dell'Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti*, CLVII, 317-342.
- PIRAZZOLI P.A., 1993. "Global sea-level changes and their measurement". *Global and Planetary Changes*, 8 135-148.
- SCIORTINO M. ET AL., 2000. "La lotta alla desertificazione in Italia e nel bacino del Mediterraneo", in *Complessità e sviluppo*, ENEA 2000, pp. 37-46.
- SHIMEL D.S. ET AL., 1996. The global carbon cycle, IPCC-SR, Cambridge Univ. Press, pp. 76-86.
- VALENTINI R. ET AL., 2000. "Accounting for carbon sinks in the biosphere", in *European Perspective*, Horhold, Jena.