01

Cambiamenti climatici

CAMBIAMENTI CLIMATICI

In Friuli Venezia Giulia si notano alcuni segni di cambiamento climatico. In vent'anni la temperatura media è cresciuta di 0,7 °C. I primi sei mesi dell'anno sono più secchi, gli altri più piovosi. Ciò causa delle modificazioni negli ecosistemi, in particolare in quelli più delicati della fascia delle risorgive.

Andrea Cicogna
Marco Gani
Stefano Micheletti
ARPA FVG
OSMER
Osservatorio Meteorologico Regionale

Gli scienziati sono unanimi nel ritenere che in questo periodo la temperatura della Terra sia in una fase di crescita e che sia aumentata la concentrazione di alcuni gas nell'atmosfera, chiamati comunemente 'gas ad effetto serra' (Green House Gases, GHG), a causa delle emissioni prodotte dalle attività umane (emissioni di origine antropogenica).
Una parte prevalente di studiosi ritiene che ci sia una correlazione diretta tra questi due fenomeni, ossia che l'aumento della temperatura (riscaldamento globale) sia da imputare all'aumento della concentrazione dei gas serra dovuto alle emissioni antropogeniche.
L'aumento antropogenico della concentrazione dei gas serra, dunque, è presumibilmente una causa importante di modifica del clima della Terra, i cui effetti sono già oggi visibili e valutabili dalla comunità scientifica internazionale. L'aumento della temperatura ne è una prima evidenza. La quasi totalità della comunità scientifica internazionale ritiene inoltre che il cambiamento climatico sia un problema ambientale globale, non locale. Ciò significa che, salvo isolati effetti locali, non esiste alcuna relazione tra emissioni di un singolo Stato e i possibili danni che questo subisce in termini di cambiamento climatico. Questa distinzione è fondamentale e ne derivano rilevanti conseguenze di politica economica e di rapporti tra Stati.
Proprio perché globale, il problema deve essere affrontato *in primis* in sede internazionale. Ed è ciò che è avvenuto già a partire dalla fine degli anni Ottanta del precedente secolo, quando sono state organizzate delle conferenze internazionali, fino a giungere alla condivisione di protocolli di intervento sottoscritti da numerosi Stati. Ciò ha consentito da un lato di approfondire le conoscenze scientifiche sui fenomeni in atto e dall'altro di condividere dei possibili percorsi per risolvere il problema, o quantomeno per mitigarne gli effetti.
Pur essendo il problema dei cambiamenti climatici di valenza globale, gli effetti si possono manifestare ed evidenziare anche su scala regionale, sebbene a questo livello la variabilità naturale del clima sia maggiore, tanto da rendere difficile attribuire il cambiamento all'effetto di una pressione esterna all'ambito locale. L'Osservatorio Meteorologico Regionale (OSMER) dell'ARPA FVG propone una valutazione delle anomalie riscontrate nelle serie storiche dei dati meteorologici, che possono essere interpretate come segnali del cambiamento del clima in atto.

Descrizione generale del fenomeno a scala globale

Quanto sta accadendo a scala globale è descritto nel 'IV Rapporto di valutazione scientifica' (Assessment Report) dell'IPCC pubblicato nel 2007 (IPCC, 2007a, b, c). L'IPCC afferma che il «riscaldamento del

sistema climatico è inequivocabile». Gli effetti del riscaldamento misurabili sono, ad esempio:
- la crescita della temperatura di 0,74 °C nel periodo 1906-2005, ma con una forte accelerazione negli ultimi cinquant'anni (0,13 °C per decennio);
- l'aumento dal 1961 della temperatura media degli oceani fino ad almeno 3.000 m di profondità;
- la crescita del livello del mare medio globale, in seguito all'espansione termica e allo scioglimento dei ghiacci, con un tasso medio di 1,8 mm/anno nel periodo 1961-2003;
- la diminuzione della copertura nevosa nell'emisfero Nord tra marzo e aprile.

In molte regioni sono state osservate significative modificazioni nelle precipitazioni totali, con tendenza alla siccità e alla desertificazione in aree sempre più estese; sono state inoltre riscontrate modificazioni nei venti e negli eventi meteorologici estremi (tab. 1).

Descrizione generale del fenomeno nella regione alpina

L'aumento della temperatura media annuale è evidenziato anche nelle serie temporali storiche elaborate ed omogeneizzate dal Servizio meteorologico austriaco (ZAMG) nell'ambito del Progetto europeo CLIVALP (2006) (HISTALP Project, 2011) per l'area alpina. In particolare, nella sub-regione Sud-Est delle Alpi, che comprende anche il Friuli Venezia Giulia, si nota un aumento della temperatura di circa 1 °C (fig. 1) negli ultimi trent'anni.

Anche recenti studi dell'Agenzia per l'Ambiente della Slovenia (ARSO, 2010, 2011) evidenziano:
- un aumento della temperatura media dell'aria di circa 1 °C a partire dal 1990, rispetto al periodo di riferimento 1960-1990;
- una riduzione dello strato di neve al suolo nel periodo 1850-2010 (fig. 2).

Descrizione generale del fenomeno a scala regionale e in Friuli Venezia Giulia

Analizzando più in dettaglio le serie temporali storiche HISTALP elaborate dallo ZAMG relative alle stazioni di Udine e Trieste si evidenzia anche sul Friuli Venezia Giulia un progressivo aumento delle temperature. Dal 1990 la temperatura media annuale di Udine (rappresentativa per l'area di alta e media pianura friulana) oscilla tra 12,5 e 14 °C, mentre dal 1840 al 1990 l'oscillazione era grossomodo compresa tra 11 e 13 °C; un andamento simile si presenta anche a Trieste (rappresentativa per l'area di bassa pianura e costa), con un aumento da 12,5-14,5 °C nel periodo 1840-1990 a 13,5-15,5 °C dal 1990 ad oggi.

Dal punto di vista delle precipitazioni annue le variazioni sono di più difficile interpretazione. In linea generale si può affermare che ci sia stata una leggera diminuzione delle piogge (sebbene non significativa): a Udine (fig. 3) negli ultimi anni sono caduti circa 1.400 mm di pioggia contro i 1.500 mm degli inizi del 1900; a Trieste (fig. 4) negli ultimi anni sono caduti meno di 1.000 mm contro i 1.100 mm degli inizi del 1900.

Gli andamenti di temperatura e pioggia descritti dalle serie storiche HISTALP sono confermati anche dalle serie storiche di ARPA FVG - OSMER, riportate più in dettaglio nei successivi due paragrafi. Già in precedenza, alcuni segnali di cambiamento climatico in Friuli Venezia Giulia erano stati evidenziati in studi effettuati da OSMER (Micheletti, 2005, 2008) e ad essi si rimanda per eventuali approfondimenti.

Indicatore 1: Variazione della temperatura in Friuli Venezia Giulia, elaborazioni OSMER

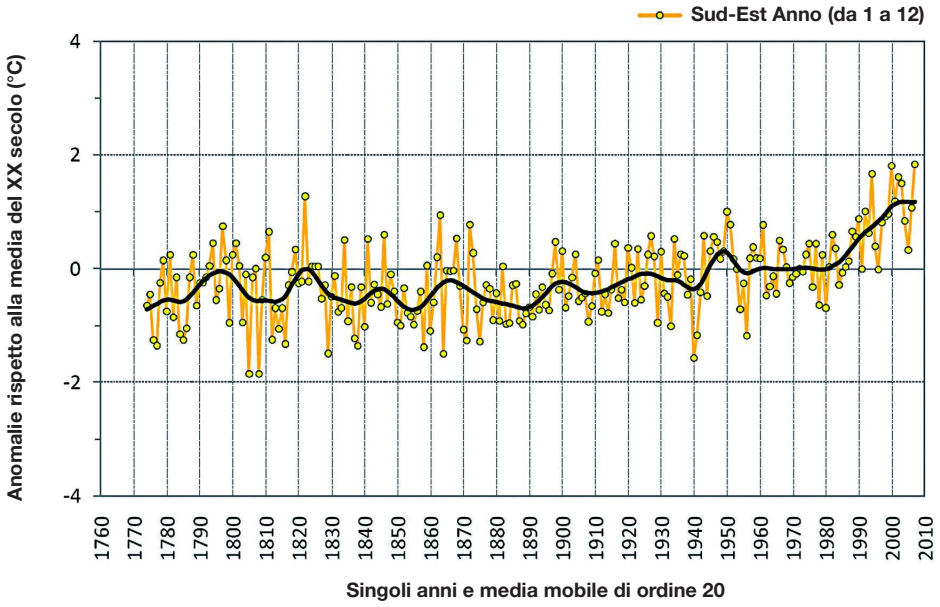
L'aumento della temperatura media dell'aria è confermato anche dall'analisi dei dati della rete di stazioni meteorologiche a disposizione dell'OSMER. In questo paragrafo si riporta l'andamento dell'indicatore 'Temperatura media annua' in 11 stazioni meteorologiche della pianura del Friuli Venezia Giulia, operative dal 1991 (fig. 5).

TABELLA 1. TREND RECENTI, VALUTAZIONE DELL'INFLUENZA UMANA SUL TREND E PROIEZIONI PER EVENTI METEOROLOGICI ESTREMI PER I QUALI È STATO OSSERVATO UN TREND NELLA PARTE FINALE DEL XX SECOLO.

Fenomeno e direzione del trend	Probabilità che il trend avvenga verso la fine del XX secolo (tipicamente dopo il 1960)	Probabilità di un contributo umano al trend osservato	Probabilità di un trend futuro basato sulle proiezioni per il XXI secolo usando gli scenari SRES*
Giorni e notti fredde: diminuzione del numero e riscaldamento sopra la maggior parte delle terre emerse	Molto probabile	Probabile	Virtualmente certo
Giorni e notti calde: aumento della frequenza e riscaldamento sopra la maggior parte delle terre emerse	Molto probabile	Probabile (notti)	Virtualmente certo
Periodi caldi/ondate di calore: aumento della frequenza sopra la maggior parte delle terre emerse	Probabile	Più probabile che no	Molto probabile
Eventi di intense precipitazioni: aumento della frequenza (o proporzione della pioggia totale rispetto alla pioggia intensa) sopra la maggior parte delle terre emerse	Probabile	Più probabile che no	Molto probabile
Siccità: aumento delle aree interessate	Probabile in molte regioni dagli anni Settanta	Più probabile che no	Probabile
Cicloni tropicali intensi: aumento dell'attività	Probabile in alcune regioni dagli anni Settanta	Più probabile che no	Probabile
Eventi estremi di innalzamento del livello del mare (esclusi gli tsunami): aumento dell'incidenza	Probabile	Più probabile che no	Probabile

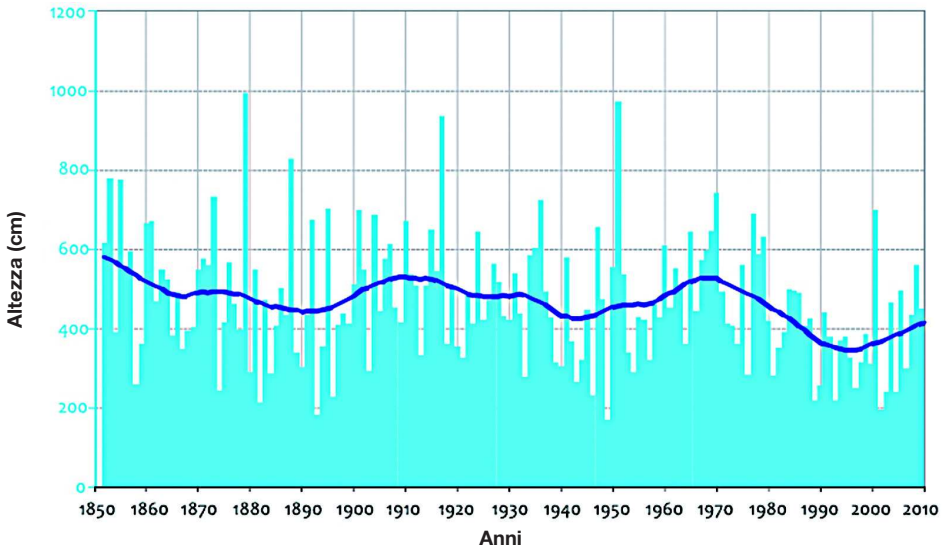
Fonte: IPCC-WGI. Quarto Rapporto di Valutazione - Sintesi per i decisori politici.
* Per un approfondimento si veda il Glossario alla voce 'Scenari SRES'.

FIGURA 1. TEMPERATURA MEDIA MENSILE DELLE SERIE TEMPORALI OMOGENEIZZATE DI 25 STAZIONI DELL'AREA SUD-EST DELLA GRANDE REGIONE ALPINA (GAR) DAL 1774 AL 2007.



Fonte: Progetto HISTALP - ZAMG.

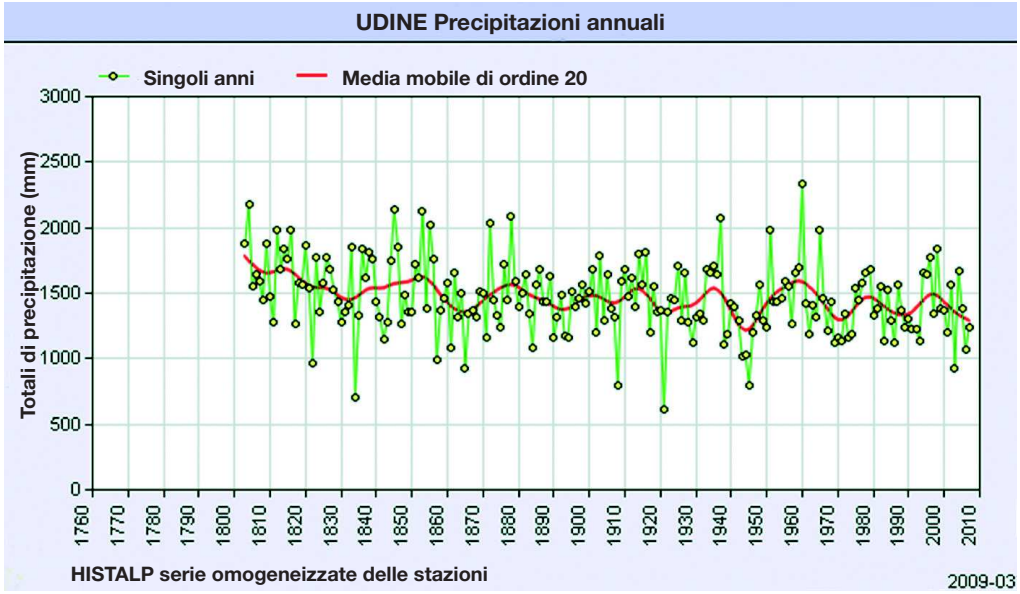
FIGURA 2. ALTEZZA MASSIMA DEL MANTO NEVOSO SUL RIFUGIO KREDARICA (MONTE TRICORNO, SLOVENIA, 2.514 m) NEL PERIODO 1852-2010. LA LINEA MEDIANA METTE BEN IN EVIDENZA CHE NEGLI ULTIMI DECENNI L'ALTEZZA MASSIMA DEL MANTO NEVOSO È DIMINUITA RISPETTO AL SECOLO PRECEDENTE.



Altezza massima stagionale del manto nevoso AMSMN

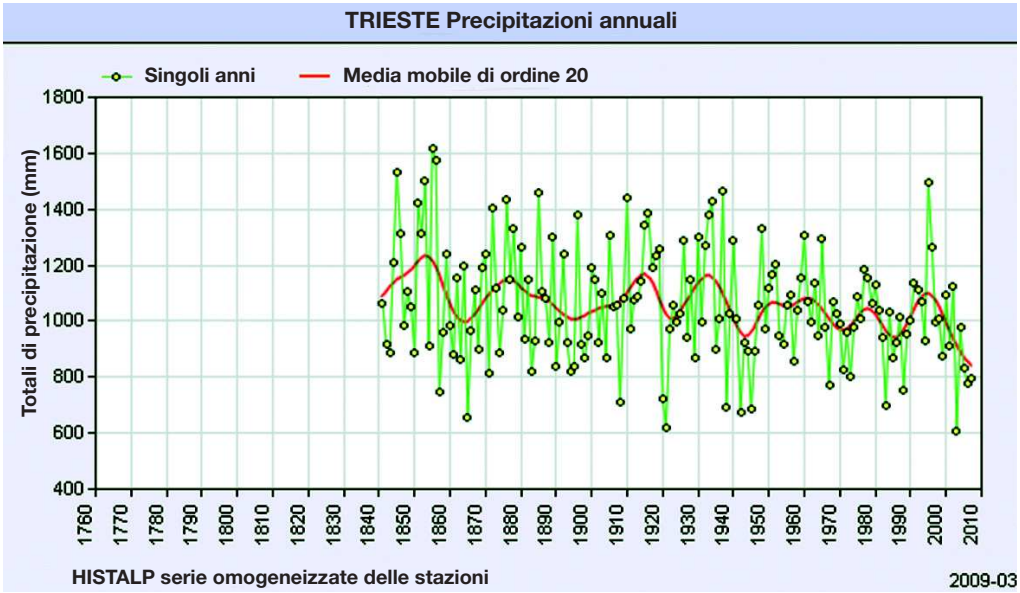
Media mobile dell'AMSMN

FIGURA 3. **ANDAMENTO DELLE PRECIPITAZIONI ANNUE A UDINE DAL 1800 CIRCA AD OGGI.**



Fonte: Progetto HISTALP - ZAMG.

FIGURA 4. **ANDAMENTO DELLE PRECIPITAZIONI ANNUE A TRIESTE DAL 1840 CIRCA AD OGGI.**



Fonte: Progetto HISTALP - ZAMG.

Per meglio evidenziare le variazioni annuali è stata valutata anche la differenza (scostamento) della temperatura media in quattro località in cui è possibile estendere la serie temporale dei dati OSMER fino al 1961 (fig. 6), integrandola con una analoga serie di dati messa a disposizione dalla Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica. L'estensione dell'analisi al periodo 1961-2010 ha imposto una diminuzione delle stazioni esaminate, nonché una omogeneizzazione delle serie di dati utilizzando procedure statistiche adeguate (Antolini, Tomei, 2006).
Queste scelte operative consentono un più agevole confronto dei dati rilevati in regione con quelli presenti nella letteratura internazionale o rilevati nelle regioni contermini (Slovenia, Austria).
Una prima analisi dei dati termici della figura 5 mette in luce come negli ultimi vent'anni (1991-2010) ci sia stato un aumento delle temperature medie annuali; inoltre, l'occorrenza di anni con temperature superiori ai 13 °C è risultata via via maggiore.
Nella figura 6 si nota, invece, che lo scostamento della temperatura media rispetto al periodo di riferimento 1961-1990 delle 4 stazioni della pianura regionale (Fossalon, Pordenone, Gorizia e Udine) è sempre positivo dal 1992 al 2010; negli ultimi due decenni è stato calcolato un incremento medio della temperatura pari a 0,7 °C.

Indicatore 2: Variazione delle precipitazioni in Friuli Venezia Giulia, elaborazioni OSMER

Le precipitazioni annuali presentano una elevata variabilità, tanto che variazioni positive o negative del 20% rispetto alla media climatica sono da considerarsi normali. Individuare quindi dei trend significativi è molto complesso. Pur con questi limiti, è stata effettuata, in cinque stazioni rappresentative delle diverse aree climatiche (Trieste, Fossalon, Cividale, Udine e Tarvisio), l'analisi della pioggia degli ultimi vent'anni, confrontandola con quella del periodo di riferimento 1961-1990.
Nell'analisi sono stati considerati gli indicatori 'Pioggia mensile', 'Pioggia annuale' (fig. 7) e 'Numero di giorni di pioggia mensile' (fig. 8).
L'analisi mensile dei dati pluviometrici delle cinque stazioni rappresentative (fig. 7) mostra come nel ventennio 1991-2010 si sia avuta una diminuzione delle precipitazioni mensili nei primi 6 mesi dell'anno rispetto al periodo di riferimento 1961-1990. In particolare a giugno, in alcune delle stazioni esaminate, la pioggia del ventennio in esame è risultata significativamente inferiore (oltre 2 volte la deviazione standard) rispetto al trentennio di riferimento. La diminuzione delle precipitazioni nei primi 6 mesi dell'anno è compensata da un corrispondente aumento delle precipitazioni da settembre a dicembre. Quindi, nel complesso, le precipitazioni annue nelle stazioni esaminate non presentano variazioni significative.
Il numero di giorni di pioggia medi mensili (fig. 8) nei primi 6 mesi dell'anno risulta più basso nel periodo 1991-2010, rispetto al riferimento climatico 1961-1999. In alcune stazioni sono i mesi di giugno e febbraio quelli dove tale diminuzione è più significativa. Analogamente a quanto accade per le precipitazioni, anche in questo caso si nota un incremento del numero di giorni di pioggia negli ultimi 4 mesi dell'anno.
L'analisi effettuata non mette quindi in evidenza una variazione nella precipitazione annuale totale in Friuli Venezia Giulia dal 1991 al 2010; mentre sembra invece evidenziare una ridistribuzione a livello mensile delle piogge misurate sia come intensità che come frequenza. Questa ridistribuzione nell'anno va tenuta in particolare considerazione in quanto l'abbondanza/scarsità di precipitazioni nei singoli mesi ha immediate ripercussioni sul territorio (agricoltura, turismo, ecc.).

Cause naturali o eccessive emissioni di gas serra?

Il clima della Terra è in continua evoluzione: nel corso dei millenni si sono susseguite fasi di forte riscaldamento e fasi di raffreddamento, dovute a cause (forzanti) del tutto naturali (deriva dei continenti,

FIGURA 5. ANDAMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA A 2 METRI DAL SUOLO (LINEA SPEZZATA) IN 11 STAZIONI METEOROLOGICHE AUTOMATICHE DELLA PIANURA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA NEL PERIODO 1991-2010.

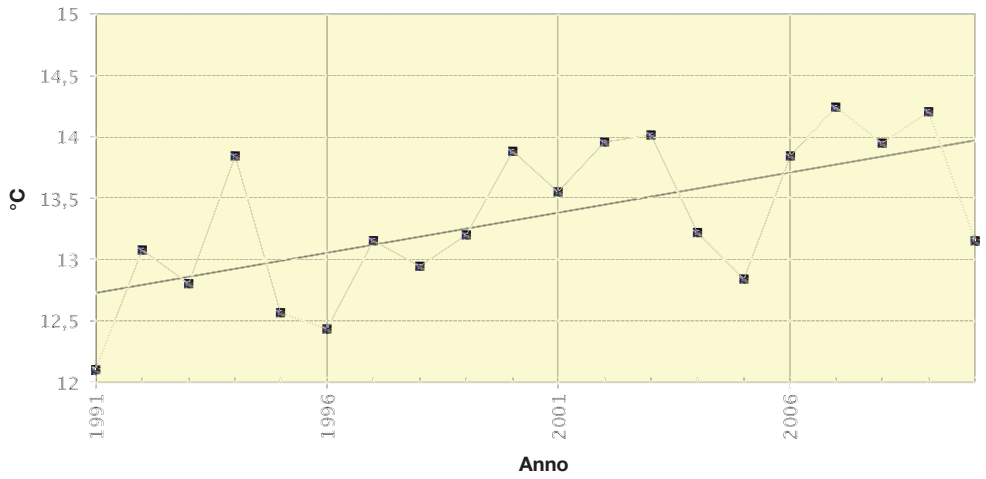
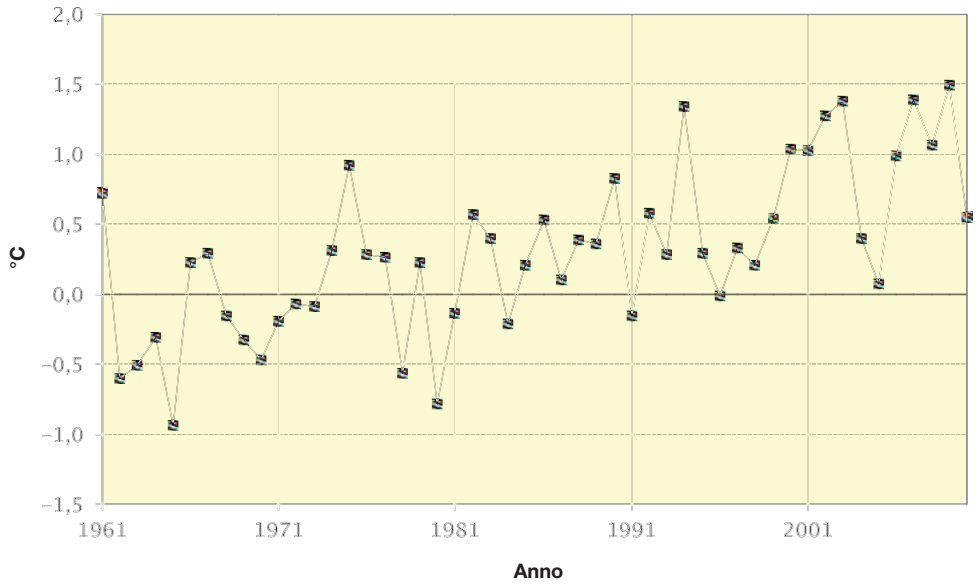


FIGURA 6. SCOSTAMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUA A 2 METRI DAL SUOLO RISPETTO ALLA MEDIA DI RIFERIMENTO 1961-1990 IN 4 STAZIONI DELLA PIANURA DEL FRIULI VENEZIA GIULIA. NEL PERIODO 1961-1990 LA TEMPERATURA MEDIA ERA PARI A 12,9 °C.



Fonte: OSMER (1991-2010); Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica (1961-1990).

Le simulazioni effettuate dagli esperti sui dati climatologici rilevati in tutto il pianeta evidenziano proprio negli ultimi 30-50 anni delle anomalie, non giustificabili dalla presenza delle sole forzanti di tipo naturale.

inclinazione dell'asse terrestre, attività solare, composizione chimica dell'atmosfera, attività vulcanica, ecc.).

Le simulazioni effettuate dagli esperti sulle serie di dati climatologici rilevati in tutto il pianeta – divenuti molto affidabili e completi soprattutto negli ultimi decenni – evidenziano proprio negli ultimi 30-50 anni delle anomalie, non giustificabili dalla presenza delle sole forzanti di tipo naturale. Per ricostruire il clima del pianeta è necessario inserire altre forzanti dovute alle attività umane (forzanti antropiche), come quelle legate *in primis*:

1) all'emissione di gas che incrementano l'effetto serra;
2) all'emissione di aerosol di origine industriale;
3) al cambiamento dell'uso del suolo.

Le emissioni di gas serra sono in continuo aumento. Per far capire le dimensioni del fenomeno, a titolo di esempio, si riporta un dato dell'Agenzia Internazionale dell'Energia (AEI) che stima la domanda di energia nel 2020 in 14.300 Mtep (circa 2 tonnellate di petrolio grezzo per abitante del pianeta) (Lanza, 2000); oltre il 90% di questa domanda verrà soddisfatta da fonte fossile, ossia prodotta utilizzando fonti che producono anidride carbonica.

Oltre ai gas a effetto serra, anche gli aerosol possono alterare il clima. Alcuni di questi, come gli aerosol solfati (che derivano dal biossido di zolfo, SO_2), riflettono parte della radiazione solare e determinano un raffreddamento al suolo, che attenua in parte gli effetti del riscaldamento globale (il fenomeno è anche detto 'oscuramento globale', in contrapposizione al termine riscaldamento globale). Altri invece generano un aumento di temperatura, come ad esempio la caligine. Il loro ruolo costituisce dunque uno dei punti di incertezza sull'entità del riscaldamento futuro.

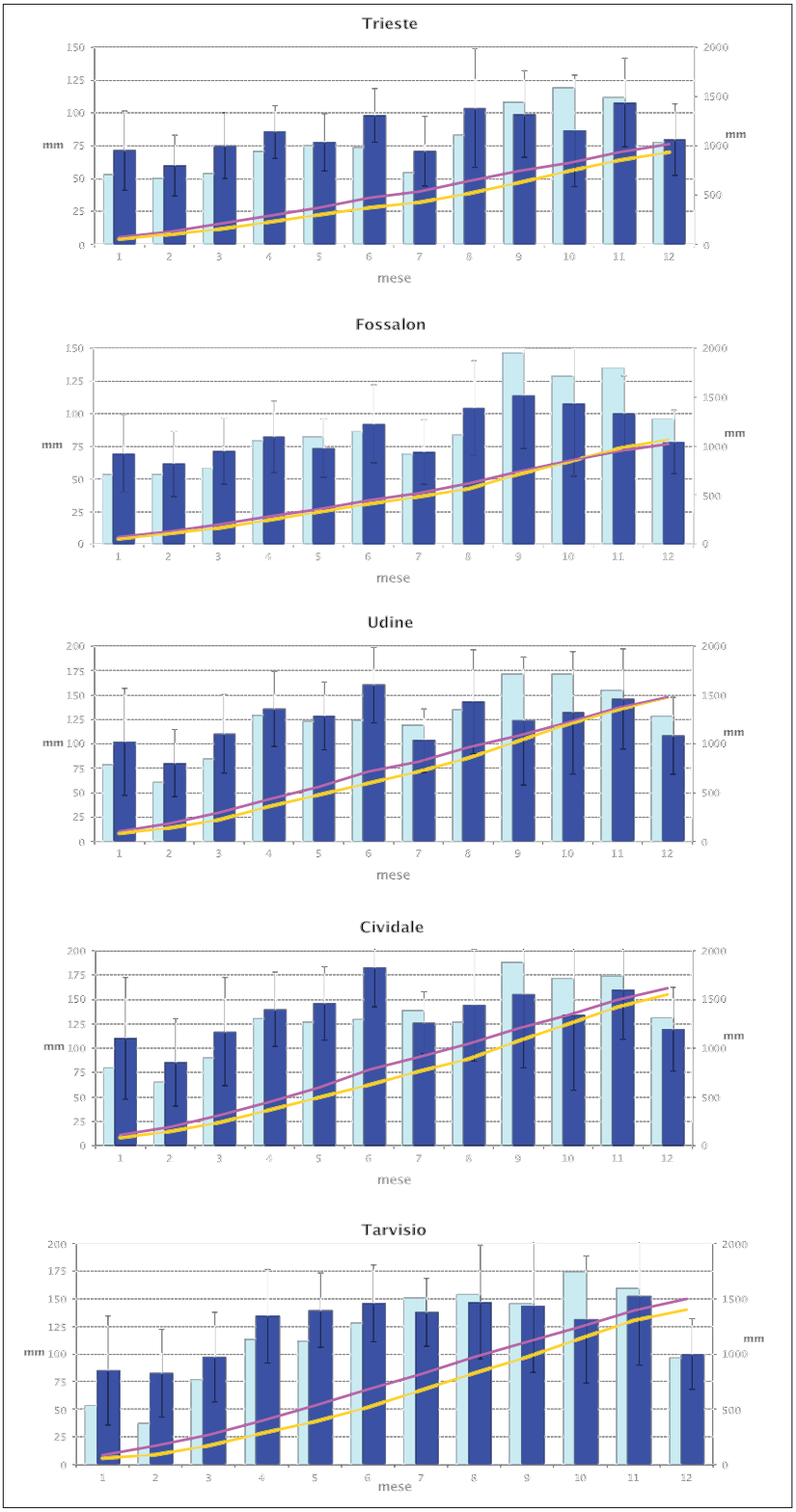
Il Rapporto dell'IPCC sostiene che «la maggior parte dell'aumento osservato delle temperature medie globali dalla metà del XX secolo, è molto probabilmente [>90% di probabilità che si verifichi un evento] dovuta all'aumento osservato delle concentrazioni di gas serra», per effetto delle emissioni «di origine antropica».

«Le concentrazioni globali in atmosfera di anidride carbonica, metano e protossido di azoto sono notevolmente aumentate come risultato dell'attività umana dal 1750» (inizio convenzionale dell'epoca industriale). La concentrazione atmosferica di CO_2 nel 2005 ha raggiunto il valore di 379 ppm, valore di molto superiore al range naturale degli ultimi 650.000 anni (da 180 a 300 ppm) valutato su carote di ghiaccio (Siegenthaler, Stocker, Monnin *et al.*, 2005). L'incremento deriva dall'uso di combustibili fossili (emissioni annue di 26,4 miliardi di tonnellate di CO_2, stima nel periodo 2000-2005) e dai cambiamenti dell'uso del suolo (emissioni annue di 5,9 miliardi di tonnellate di CO_2, stima a partire dagli anni Novanta).

La concentrazione di metano è «cresciuta da un valore pre-industriale di circa 715 ppb a 1774 ppb nel 2005» (*range* naturale degli ultimi 650.000 anni da 320 a 790 ppb). «È molto probabile [probabilità >90%) che l'incremento sia dovuto alle attività antropiche, principalmente all'agricoltura e all'uso dei combustibili fossili».

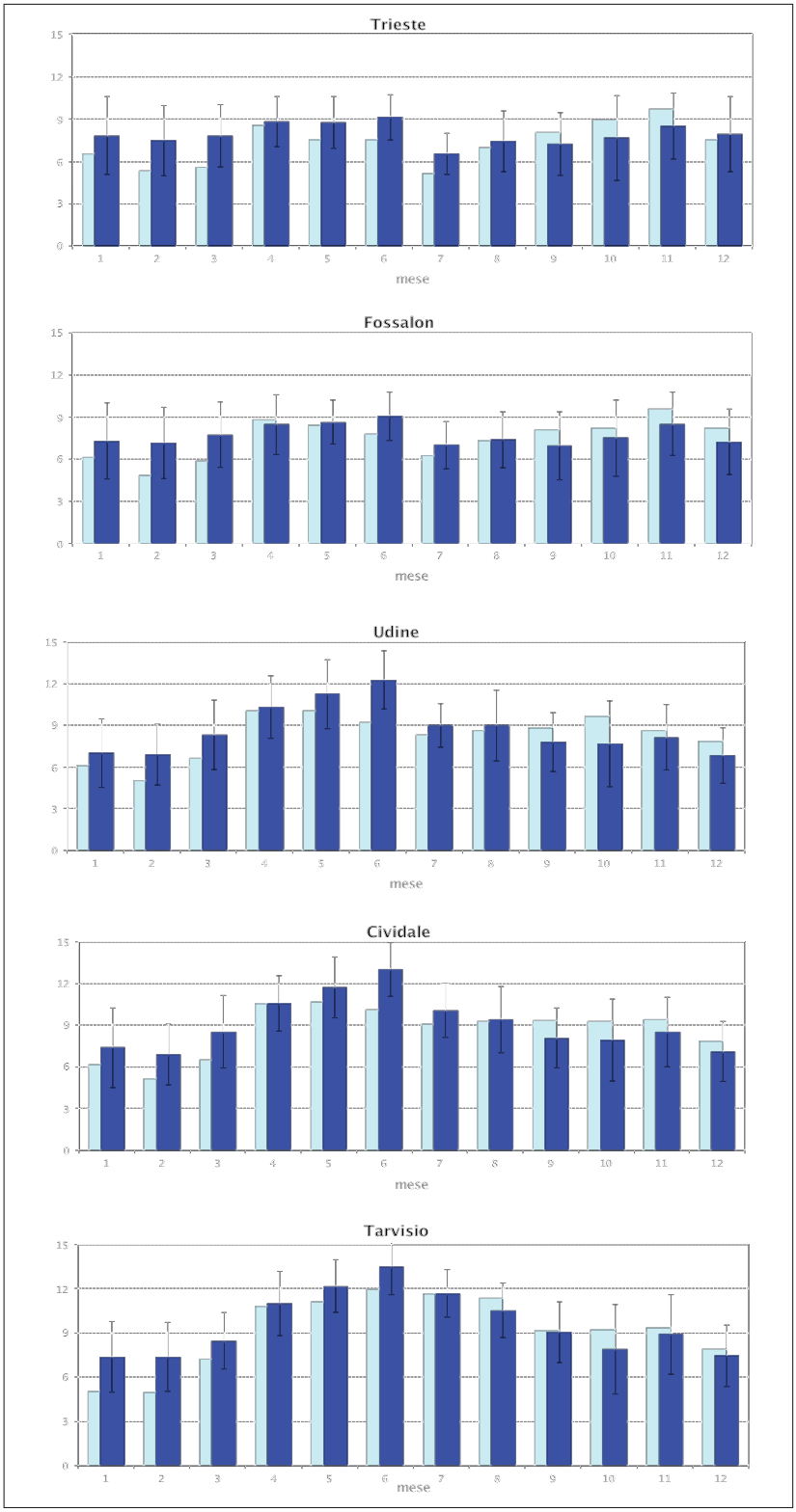
La concentrazione atmosferica di protossido di azoto è «cresciuta da un valore pre-industriale di circa 270 ppb a 319 ppb nel 2005». Più di un terzo di tutte le emissioni di protossido di azoto sono dovute all'agricoltura.

FIGURA 7. CONFRONTO TRA LA PIOGGIA MEDIA MENSILE REGISTRATA NEL PERIODO 1961-1990 (BLU) E QUELLA REGISTRATA NEL PERIODO 1991-2010 (AZZURRO). LE BARRE NERE INDICANO 2 VOLTE LA DEVIAZIONE STANDARD. IN LINEA CONTINUA LA PIOGGIA MEDIA ANNUA CUMULATA DA GENNAIO A DICEMBRE NEL PERIODO 1961-1990 (FUCSIA) E NEL VENTENNIO 1991-2010 (GIALLA).



Fonte: OSMER (1991-2010); Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica (1961-2010).

FIGURA 8. CONFRONTO TRA IL NUMERO MEDIO DI GIORNI DI PIOGGIA MENSILE NEL PERIODO 1961-1990 (BLU) E QUELLI REGISTRATI NEL PERIODO 1991-2010 (AZZURRO). LE BARRE NERE INDICANO 2 VOLTE LA DEVIAZIONE STANDARD.



Fonte: OSMER (1991-2010); Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica (1961-2010).

Il Rapporto IPCC sostiene, inoltre, che vi è una «confidenza molto elevata [9 possibilità su 10 che l'affermazione sia corretta] che l'effetto globale medio netto delle attività umane dal 1750» in poi sia «stato una causa del riscaldamento, con un forzante radiativo di origine antropogenica, valutata al 2005, di 1,6 W/m^2». In pratica è come se ogni metro quadro del pianeta fosse riscaldato da una lampadina della potenza di 1,6 W in aggiunta al normale contributo naturale dovuto alla radiazione solare. È fuori discussione che vi sia anche una componente naturale, che ha però un peso limitato, pari a circa un decimo di quella antropogenica.

Impatti dei cambiamenti e adattamento

Il Rapporto IPCC (WGII) afferma che «una valutazione globale dei dati dal 1970 ha mostrato che è probabile [probabilità dal 66 al 90%] che il riscaldamento antropogenico abbia avuto un'influenza evidente su molti sistemi fisici e biologici» e che sono già in atto, pur se in modo limitato, alcune modalità di adattamento ai cambiamenti climatici.
Sono inoltre già disponibili informazioni sugli impatti futuri dei cambiamenti climatici (tab. 2) nelle diverse aree geografiche del pianeta e per i diversi settori. In particolare, in Europa ci si aspetta un «rischio maggiore di alluvioni nelle zone continentali, una maggiore frequenza di inondazioni (fig. 9) e una maggiore erosione nelle aree costiere. Le zone montuose andranno incontro al ritiro dei ghiacciai, alla riduzione della copertura nevosa», con anche grandi impatti sulle attività economiche, come quelle del turismo invernale (fig. 10). Nell'Europa centrale e orientale le proiezioni indicano una «diminuzione delle precipitazioni estive, con conseguente maggiore stress idrico», maggiori rischi per la salute dovuti ad ondate di calore, maggior frequenza di incendi.
Gli impatti dei cambiamenti climatici molto probabilmente imporranno dei costi netti annuali molto elevati. Gli esperti ritengono che «per aumenti della temperatura media globale inferiori a 1-3 °C sopra i livelli del 1990 gli impatti porteranno benefici in alcune regioni e produrranno costi in altre regioni». È molto probabile, invece, che tutte le regioni subiranno un aumento dei costi netti per aumenti maggiori di 2-3 °C, fino ad arrivare a un 5% di riduzione del PIL per un riscaldamento di 4 °C.
Sono già in atto alcune forme di adattamento ai cambiamenti climatici osservati e futuri (ad esempio nella progettazione delle infrastrutture). Tuttavia non si ha ancora una visione chiara dei limiti dell'adattamento e dei costi. Potenzialmente le risposte di adattamento sono molteplici e possono spaziare da quelle puramente tecnologiche, a quelle comportamentali (ad esempio scelte sul cibo), a quelle gestionali (diverse pratiche agricole), a quelle politiche (pianificazione, imposizione fiscale).

Impatti dei cambiamenti climatici in Friuli Venezia Giulia

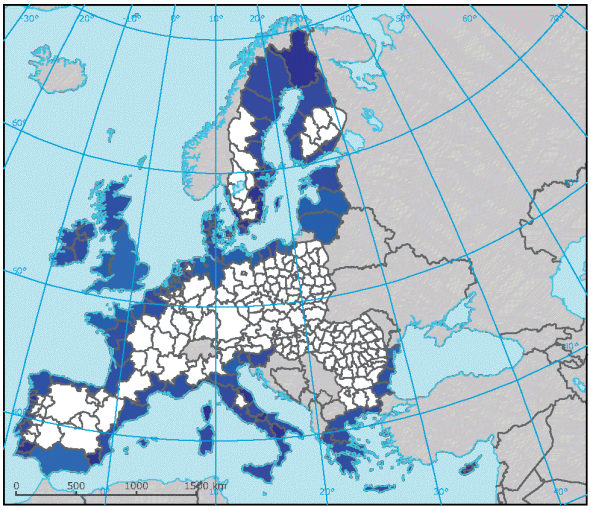
Ci si può ora chiedere quali possono essere gli effetti sulle attività umane o sugli ecosistemi di un aumento della temperatura media e di una modificazione nel regime delle piogge (frequenza e intensità) in Friuli Venezia Giulia, territorio che si trova alle medie latitudini in cui gli effetti dei cambiamenti climatici si presentano in modo più sfumato e talvolta contraddittorio. Ci si può inoltre chiedere quali azioni di mitigazione possono essere adottate a scala regionale per affrontare il problema. Le domande non trovano una risposta né facile né univoca, poiché bisogna spesso 'pesare' effetti contrapposti. A titolo di esempio si riportano alcuni recenti studi e alcune considerazioni relative al settore turistico e all'agricoltura.
La Cipra (2011) ha effettuato una valutazione sui comprensori sciistici delle Alpi con certezza di neve naturale (non artificiale). Attualmente il 91% dei comprensori dispone con certezza di neve naturale, ma l'innalzamento della temperatura di 1 °C ridurrebbe la percentuale al 75%, di 2 °C al 61%, di 4 °C al 30%. Per il Friuli Venezia Giulia ciò significherebbe che, dagli attuali 7 comprensori su 11 che dispongono con certezza di neve naturale, si scenderebbe, rispettivamente, a 6, 5, 2.

TABELLA 2. IMPATTI PREVISTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI IN EUROPA E IN FRIULI VENEZIA GIULIA.

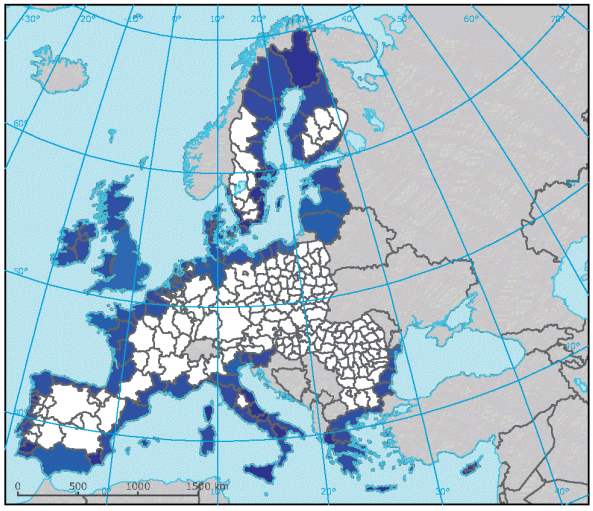
Tema	Impatto
Gestione delle acque e del suolo	incremento del rischio di alluvioni e di frane ed erosione aumento della domanda di acqua riduzione della disponibilità di acqua; stress idrico possibile peggioramento della qualità delle acque incremento del rischio di instabilità geologica per il ritiro dei ghiacciai
Gestione aree costiere	aumento delle inondazioni aumento dell'erosione costiera maggiore intrusione del cuneo salino negli estuari e salinizzazione delle acque dolci costiere e sotterranee
Salute	aumento della mortalità per ondate di calore estive e delle infezioni e allergie riduzione della mortalità per ondate di freddo invernali e delle patologie da raffreddamento
Inquinamento	riduzione dell'inquinamento urbano invernale possibile aumento dell'inquinamento estivo da ozono
Agricoltura	riduzione delle produzioni nelle aree non irrigue incremento delle produzioni nelle zone umide settentrionali e in zone irrigue aumento delle invasioni di insetti in alcune zone degrado dei suoli
Foreste	maggior rischio e frequenza di incendi estivi maggiore produzione legnosa nelle aree settentrionali
Energia	riduzione dei consumi invernali per riscaldamento aumento dei consumi estivi per raffrescamento riduzione della produzione idroelettrica in alcune zone aumento produzione fotovoltaica
Biodiversità	scomparsa di alcune specie espansione delle specie termofile
Trasporti	minori difficoltà dovute a neve e ghiaccio più frequenti interruzioni da allagamenti
Turismo	riduzione delle aree utili per lo sci e innalzamento delle quote neve riduzione della stagione sciistica allungamento della stagione utile per il turismo verde estivo specie in montagna possibile peggioramento della qualità delle acque di balneazione

FIGURA 9. PERSONE CHE SI SUPPONE SARANNO A RISCHIO DI INONDAZIONE NEL 2050 E NEL 2100 IN ASSENZA DI MISURE DI ADATTAMENTO NEL MEDIO-LUNGO TERMINE (SCENARIO SRES A2 E B1, VEDI GLOSSARIO).

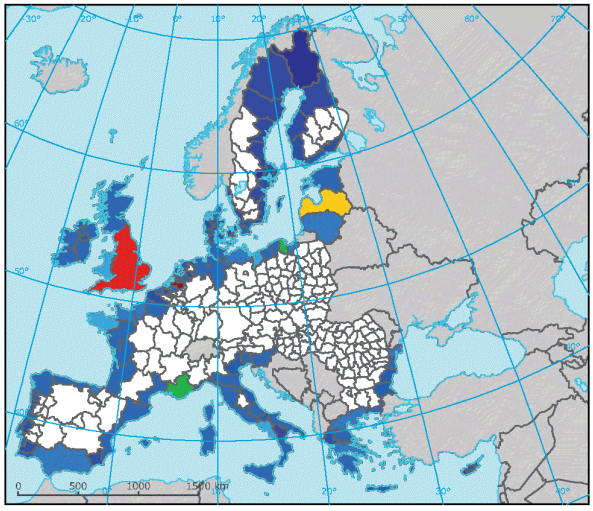
Persone a rischio di inondazione nello scenario SRES A2, 2050



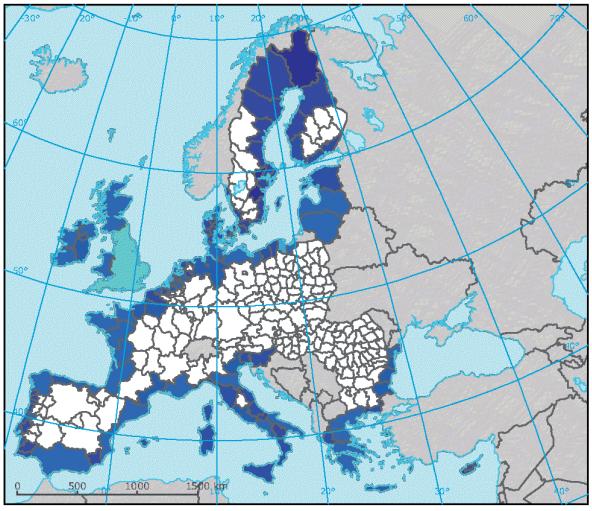
Persone a rischio di inondazione nello scenario SRES B1, 2050



Persone a rischio di inondazione nello scenario SRES A2, 2100



Persone a rischio di inondazione nello scenario SRES B1, 2100



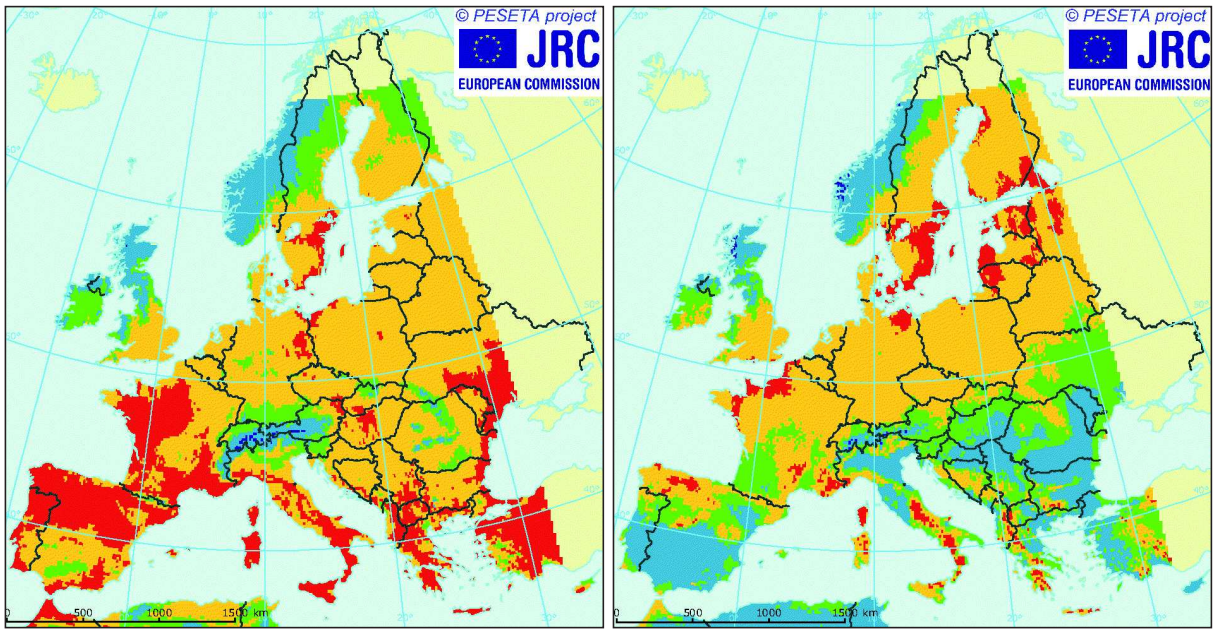
Migliaia all'anno

Dati assenti

Fuori copertura

Fonte: PIK (Potsdam Institute for Climate Impact Research), 2010.

FIGURA 10. ANDAMENTO DELL'INDICE DI COMFORT TURISTICO (TCI, TOURISM COMFORT INDEX) IN EUROPA NEL 1961-1990 (A SINISTRA) E NEL 2071-2100 (A DESTRA) IPOTIZZANDO UNO SCENARIO SRES A2 (VEDI GLOSSARIO). L'INDICE TCI È BASATO SU UNA SERIE DI VARIABILI CLIMATICHE CHE RIFLETTONO L'IDONEITÀ DELLE REGIONI AL COMFORT BIOCLIMATICO DI UN INDIVIDUO. IN ITALIA È PREVISTA UNA SENSIBILE RIDUZIONE DELL'INDICE DI COMFORT.



Indice di comfort turistico

- Sfavorevole (TCI: 0-40)
- Buono (TCI: 40-60)
- Eccellente (TCI: 60-70)
- Accettabile (TCI: 70-80)
- Molto buono (TCI: 80-100)

Fonte: JRC PESETA Project, http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Tourism.html.

In uno studio della Sezione ambiente del Club Alpino Italiano (CAI, 2008) i comprensori sciistici sono classificati in base alla LAN (Linea di Affidabilità delle Nevi); un comprensorio è affidabile se più del 50% del suo territorio ricade a una quota superiore alla linea di affidabilità. Questa linea si trova attualmente a 1.500 m di quota, ma sale di 150 m per ogni °C di aumento della temperatura. In Friuli Venezia Giulia solo un comprensorio sciistico può essere attualmente classificato affidabile, ma già l'aumento di 1 °C, che innalzerebbe la LAN a 1.650 m, farebbe uscire dall'affidabilità quell'unico comprensorio. Si può ovviare a questo problema ricorrendo all'innevamento artificiale (azione di adattamento), qualora le temperature lo consentano, con ovvie ricadute sui costi di gestione dei comprensori sciistici.
Nel settore agricolo l'aumento della temperatura media può avere effetti positivi sulla produzione, purché non si manifesti una contemporanea carenza idrica. Una modificazione del regime pluviometrico in giugno, invece, può richiedere un anticipo dell'inizio della stagione irrigua (effetto negativo), con un innalzamento dei costi di produzione. Gli effetti negativi possono essere compensati o mitigati adottando sistemi di coltivazione o tecniche colturali a basso input energetico e a maggior efficienza, come, ad esempio, l'anticipo delle semine, la scelta di varietà più o meno tardive o resistenti alla siccità, la micro-irrigazione.
In forma schematica e comunque teorica, i possibili impatti causati dai cambiamenti climatici in un territorio limitato come il Friuli Venezia Giulia, sebbene vi siano anche molte altre pressioni che influiscono sui sistemi naturali e che possono ridurre o amplificare gli effetti dei cambiamenti climatici, riguarderanno i seguenti temi:

- *la gestione delle aree costiere*: l 'aumento del livello del mare e le possibili variazioni della frequenza e intensità degli episodi di vento intenso potrebbero provocare un aumento delle mareggiate, con conseguente erosione delle coste e inondazioni del primo entroterra; il cambiamento del regime delle precipitazioni porterà una variazione dei regimi idraulici delle falde e dei fiumi, che a loro volta potrebbero favorire l'intrusione di acqua salina nelle zone costiere e nelle falde (cuneo salino); anche le deposizioni e la sedimentazione di materiale sulla fascia litoranea potrebbero modificarsi;
- *la biodiversità*: le variazioni dell'habitat in termini soprattutto di temperature medie ed estreme e di disponibilità di acqua causeranno un cambiamento delle specie animali e vegetali presenti sul territorio, con scomparsa di quelle più adattate a climi temperati freddi e prevalenza di quelle più termofile di origine mediterranea e africana;
- *la salute*: i più frequenti, intensi e prolungati episodi di ondate di calore (e in misura molto minore di quelle di freddo, ma solo in termini di intensità), salvo specifici interventi di prevenzione, provocheranno un aumento della mortalità, specie fra le fasce più deboli della popolazione, come già si è verificato nell'estate del 2003, che potrebbe diventare la norma fra qualche decennio;
- *le risorse idriche*: la maggior frequenza e durata nonché l'intensificazione dei periodi di siccità, in particolare estiva e sulle zone di pianura e costa, creeranno significativi problemi nell'approvvigionamento e nella distribuzione dell'acqua per usi umani, talvolta mettendo in concorrenza gli usi civili, quelli industriali e quelli agricoli; la scarsità d'acqua estiva comporterà ripercussioni anche sulla sua qualità;
- *il turismo*: mentre in estate il caldo intenso potrà scoraggiare il turismo culturale nelle città, favorendo viceversa quello montano (da parte di chi vuole sottrarsi alla calura) e quello marino, grazie all'ancor più ridotto numero di giornate stagionali di brutto tempo, in inverno l'aumento delle temperature provocherà l'innalzamento della quota della neve naturale e difficoltà per l'innevamento artificiale, con gravi difficoltà per la pratica dello sci nelle zone a quota più bassa, come la maggioranza di quelle friulane;
- *la qualità dell'aria*: per effetto dell'aumento della temperatura estiva, sulla pianura sembrano de-

stinati ad aggravarsi i problemi legati all'inquinamento da ozono nei bassi strati atmosferici; viceversa, l'aumento della temperatura in inverno provocherà un minor ricorso al riscaldamento domestico e quindi probabilmente minori emissioni inquinanti e di polveri sottili; inoltre il cambiamento dei regimi di tempo meteorologico potrebbe portare ad una minore frequenza delle inversioni termiche, contribuendo ad un miglior rimescolamento dei bassi strati e quindi ad una ulteriore riduzione degli episodi intensi di inquinamento urbano invernale;
- *il rischio idrogeologico*: seppur in un contesto di generale diminuzione, l'aumento dell'intensità di precipitazione nel corso di alcuni episodi e forse la maggiore frequenza di tali episodi intensi potrebbe provocare maggiori dissesti sul territorio, con più frane ed alluvioni e ripercussioni sui trasporti e su altri settori; va tuttavia tenuto presente il ruolo fondamentale, in questo contesto, della gestione del territorio e dei cambiamenti dell'uso del suolo;
- *la produzione di energia*: una minore piovosità estiva e conseguenti crescenti richieste di acqua per usi diversi (vedi sopra) potrebbero mettere in difficoltà gli impianti di produzione idroelettrica di energia; viceversa un aumento delle giornate di sole potrebbe favorire la produzione da fotovoltaico; restano incerte al momento le prospettive della fonte eolica;
- *gli incendi boschivi*: l'intensificarsi della siccità estiva comporterà un aumento degli incendi boschivi nel semestre caldo, specie nella fascia del Carso e in quella prealpina; viceversa, un possibile aumento della piovosità invernale potrebbe ridurli in quello freddo.

Le politiche sul clima nel contesto internazionale e nazionale

Come visto in precedenza, il problema dei cambiamenti climatici è un problema globale e come tale va affrontato nelle dovute sedi internazionali. Nel 1988, su richiesta delle Nazioni Unite, l'United Nations Environment Programme (UNEP) e il World Meteorological Organization (WMO) hanno istituito il Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). Già nel primo Rapporto dell'IPCC è espressa la tesi secondo cui l'aumento delle emissioni di GHG porta ad un incremento della temperatura del pianeta. Tramite questo primo Rapporto la Comunità internazionale ha preso atto dell'esistenza del problema dei cambiamenti climatici e ha dato avvio a delle azioni concrete per affrontarlo.

Nel corso della conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo a Rio de Janeiro del 1992, la maggior parte degli Stati presenti ha sottoscritto la 'Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici' (UNFCCC), riconoscendo formalmente l'esistenza dei cambiamenti climatici di origine antropica e dando quindi avvio a un programma di contenimento delle emissioni per contrastare un ulteriore riscaldamento.

L'UNFCCC si pone l'obiettivo di stabilizzare le concentrazioni di GHG nell'atmosfera a un livello 'sostenibile' sia da un punto di vista ambientale, tramite la riduzione dei rischi per l'uomo, sia da un punto di vista sociale, garantendo a tutti i paesi, anche a quelli in via di sviluppo, condizioni di crescita economica.

All'interno dell'UNFCCC vi è una importante classificazione dei paesi in funzione del loro effettivo livello di sviluppo. Ai paesi più 'evoluti', inseriti nell'allegato I della Convenzione (vedi Glossario alla voce 'UNFCCC'), viene chiesto di adottare politiche nazionali e interventi specifici per limitare le emissioni di GHG causate dall'uomo e incrementare le potenzialità dei pozzi e dei serbatoi di GHG. Inoltre, essi dovranno dare 'evidenza' di quanto da loro fatto mediante la tenuta di appositi 'inventari'.

Nel corso dell'incontro annuale dell'UNFCCC di Kyoto (COP3) i Paesi industrializzati si sono impegnati (Protocollo di Kyoto) a ridurre complessivamente, entro il quinquennio 2008-2012 (periodo di adempimento), del 5% le proprie emissioni di GHG rispetto ai valori del 1990 (anno di riferimento). La Comu-

L'Accordo di Copenaghen (2009), che impegna gli Stati a ridurre le emissioni di gas serra, e l'Accordo di Durban (2011), per arrivare a un trattato globale sulla lotta ai cambiamenti climatici entro il 2015, sono dei passi decisivi nella giusta direzione.

nità Europea si è impegnata per una riduzione dell'8%, riassegnando la quota totale ai singoli Stati in modo flessibile (per l'Italia la quota è del 6,5%).
In Italia le emissioni totali di GHG nel 1990 corrispondevano a 520 milioni di tonnellate di CO_2 equivalente (CO_2e, vedi Glossario). In base agli accordi di Kyoto l'Italia dovrebbe ottenere al 2012 una riduzione delle emissioni del 6,5% (486,2 milioni di tonnellate di CO_2e). Questo traguardo ad oggi sembra raggiungibile, poiché le emissioni di GHG sono cresciute fino al 2004 (583 milioni di tonnellate di CO_2e) (Pernigotti, 2007) per poi calare a 502,3 milioni di tonnellate di CO_2e nel 2009 (Ronchi, 2010). Ciò è dovuto per effetto congiunto della crisi economica (prevalente) e per l'aumento della quota di energie rinnovabili (+9,3% nel 2009) e di miglioramento dell'efficienza energetica per unità di PIL. Nella riduzione hanno contribuito anche le politiche di incentivazione per acquisti, ad esempio, di elettrodomestici ad alta efficienza, di auto meno inquinanti, e per le ristrutturazioni edilizie.

Un problema globale, ma ognuno deve fare la sua parte

Per contenere gli effetti dei cambiamenti climatici in corso è necessario dare nuovo impulso agli accordi tra gli Stati in termini di emissioni di gas ad effetto serra. In quest'ottica, l'Accordo di Copenaghen (COP15, 2009) – che impegna gli Stati a ridurre le emissioni di gas serra a un livello tale da contenere entro i 2 °C l'aumento della temperatura atmosferica del pianeta – e il recente Accordo di Durban (COP17, novembre-dicembre 2011) – che stabilisce una precisa tabella di marcia per arrivare a un trattato globale sulla lotta ai cambiamenti climatici entro il 2015 – sono dei passi decisivi nella giusta direzione.
Una riduzione delle emissioni in grado di raggiungere l'obiettivo dei 2 °C richiede un radicale ripensamento del sistema energico mondiale. Tuttavia, in attesa di accordi internazionali più precisi, sono già possibili alcune azioni, come quelle proposte dai Paesi del G20, che si sono impegnati ad eliminare i sussidi a favore dei combustibili fossili (312 miliardi di dollari nel 2009!). Questa azione da sola potrebbe ridurre la domanda di energia primaria del 5% (IEA, 2010).
A livello regionale devono essere sicuramente assecondate le politiche nazionali o sovra-nazionali proposte per la riduzione delle emissioni dei gas serra. Sono auspicabili, quindi, politiche attive sul fronte del risparmio energetico e della riduzione delle emissioni in atmosfera, sebbene qualsiasi azione di mitigazione adottata in ambito regionale potrà generare dei benefici ambientali diretti alla popolazione (ad esempio, con la riduzione dell'inquinamento), ma non avrà alcun effetto tangibile sui cambiamenti climatici, a meno che non sia parte di un più ampio progetto a scala globale.
Tra le azioni di mitigazione da adottare a livello locale vanno sicuramente incentivate quelle che favoriscono l'accumulo di carbonio nei serbatoi naturali (suoli agrari e forestali). Numerosi studi indicano (Zuliani, Alberti, Danelon *et al.*, 2007), infatti, che negli ultimi centocinquant'anni le coltivazioni intensive hanno causato una perdita di carbonio organico dai suoli del 30-50% e ciò è causa dell'aumento del 20% della CO_2 in atmosfera. Sono da incentivare quindi tutte quelle azioni – realizzabili tra l'altro a costi contenuti – atte a favorire un aumento del carbonio organico nei suoli come, ad esempio, il rimboschimento, la fertilizzazione organica, l'adozione di tecniche di lavorazione conservative (*minimum tillage*), ecc.
Si segnala, infine, l'importanza di un attento e continuo monitoraggio, sia biologico, sia fisico-meteo-

rologico, necessario per valutare nel tempo l'intensità dei cambiamenti climatici e gli effetti che generano sui sistemi naturali e biologici.

Tendenza ed evoluzione del fenomeno nel tempo

Il Rapporto dell'IPCC prende in considerazione varie ipotesi di sviluppo futuro dell'economia e della società, individuando così diversi scenari, chiamati 'scenari SRES' (vedi Glossario). I diversi scenari vanno da quelli che prevedono un forte sviluppo economico mondiale generalizzato e poco attento all'ambiente, a quelli che considerano forme di sviluppo con crescente differenziazione geografica e maggiore attenzione all'ambiente e alla sostenibilità. Per ogni scenario vengono dunque valutati per il periodo 2000-2100 i possibili cambiamenti climatici che ne conseguono.
Le proiezioni al 2100, rispetto al 1990, indicano un ulteriore riscaldamento medio globale della superficie di 1,8-4,0 °C e un innalzamento del livello del mare di 0,18-0,59 m, in relazione al modello di sviluppo che la comunità mondiale vorrà adottare (tab. 3).
In un recente studio (Faggian, Giorgi, 2009) viene effettuata la proiezione della temperatura dell'aria e della precipitazione fino al 2100 per la penisola italiana e per la regione alpina, al cui interno è compreso il Friuli Venezia Giulia. Nello studio sono riportate le medie di 20 modelli di circolazione generale (AOGCMs) applicando tre diversi scenari di emissioni (A2 - sviluppo forte ma regionale, A1B - sviluppo forte globale con uso di fonti energetiche bilanciate, B1 - sviluppo globale sostenibile). Lo studio, ipotizzando uno scenario SRES di sviluppo A1B, evidenzia sull'Italia un aumento della temperatura media annuale (fig. 11) di 2-4 °C nel corso del XXI secolo; l'aumento sarà più pronunciato nella stagione estiva (fino a 6 °C). La precipitazione è prevista in diminuzione (fig. 12). Anche in questo caso la maggior riduzione avverrà nel periodo estivo (20%), sebbene in inverno sia previsto un leggero aumento nella regione alpina; tuttavia a causa del previsto riscaldamento ciò causerà un minor accumulo di neve e ghiaccio con evidenti ripercussioni ambientali e nel settore del turismo. Inoltre, l'incremento della temperatura potrà essere maggiore o minore ai valori sopra indicati in relazione alla concentrazione di GHG presenti nell'atmosfera, parametro correlabile allo scenario SRES che si verrà a realizzare. Ciò è rappresentato nella figura 13: se lo sviluppo seguirà uno scenario B1 (più attento alle problematiche ambientali) l'aumento di temperatura si stabilizzerà attorno a +2 °C; nell'ipotesi A2 (con scarsi cambiamenti tecnologici) la temperatura subirà un ulteriore forte incremento nell'ultima parte del secolo corrente, fino a raggiungere i +4-5 °C rispetto all'inizio del secolo.
Il Rapporto IPCC (WGIII) afferma che «con le attuali politiche di mitigazione dei cambiamenti climatici e le relative pratiche di sviluppo sostenibile, le emissioni di GHG continueranno a crescere durante i prossimi decenni». Ad esempio, le emissioni di CO_2 potrebbe crescere dal 45% al 110%, a seconda del tipo di sviluppo (scenario SRES) che verrà a realizzarsi tra il 2000 e il 2030.
«Continuare ad emettere gas serra ad un tasso uguale o superiore a quello attuale, causerebbe un ulteriore riscaldamento e provocherebbe molti cambiamenti nel sistema climatico globale». Tuttavia, «anche se le concentrazioni di gas serra venissero stabilizzate, il riscaldamento antropogenico e l'innalzamento del livello del mare continuerebbero per secoli a causa delle scale temporali associate ai processi climatici e ai feedback».
Gli impegni annunciati a Copenaghen per ridurre le emissioni di gas serra non sembrano essere sufficienti a contenere entro i 2 °C l'aumento della temperatura atmosferica del pianeta (IEA, 2010). Questo aumento della temperatura può essere compatibile con una concentrazione di CO_2 di 450 ppm, ma le attuali proiezioni sulle emissioni di GHG fanno ritenere più probabile una stabilizzazione a 650 ppm di CO_2, a cui corrisponderebbe un aumento della temperatura di 3,5 °C nel lungo periodo.

TABELLA 3. AUMENTO DELLA TEMPERATURA AL SUOLO E DELL'INNALZAMENTO DEL LIVELLO DEL MARE PER LA FINE DEL XXI SECOLO IN BASE AL TIPO DI SVILUPPO CHE VERRÀ A REALIZZARSI (SCENARI SRES).

	Variazione di Temperatura (°C al 2090-2099 rispetto al 1980-1999)		Innalzamento del Livello del mare (m al 2090-2099 rispetto al 1980-1999)
Caso	**Miglior stima**	**Intervallo di probabilità**	**Intervallo basato sui modelli escludendo futuri cambiamenti dinamici rapidi del flusso di ghiaccio**
Concentrazioni costanti per l'anno 2000	0,6	0,3 - 0,9	N/A
Scenario B1	1,8	1,1 - 2,9	0,18 - 0,38
Scenario A1T	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,45
Scenario B2	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,43
Scenario A1B	2,8	1,7 - 4,4	0,21 - 0,48
Scenario A2	3,4	2,0 - 5,4	0,23 - 0,51
Scenario A1FI	4,0	2,4 - 6,4	0,26 - 0,59

Fonte: IPCC-WGI. Quarto Rapporto di Valutazione - Sintesi per i decisori politici.

FIGURA 11. AUMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUALE DELL'ARIA NEL PERIODO 2071-2100 RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1961-1990 (SCENARIO SRES A1B) PREVISTO DAL MODELLO DI CIRCOLAZIONE GENERALE GFDL-CM2.1. I PANNELLI RAPPRESENTANO L'AUMENTO MEDIO NELLE QUATTRO STAGIONI DELL'ANNO. IL MODELLO GFDL-CM2.1 È UNO DEI 20 MODELLI UTILIZZATI NELLO STUDIO CONDOTTO DA FAGGIAN, GIORGI (2009) DA CUI È TRATTA L'IMMAGINE.

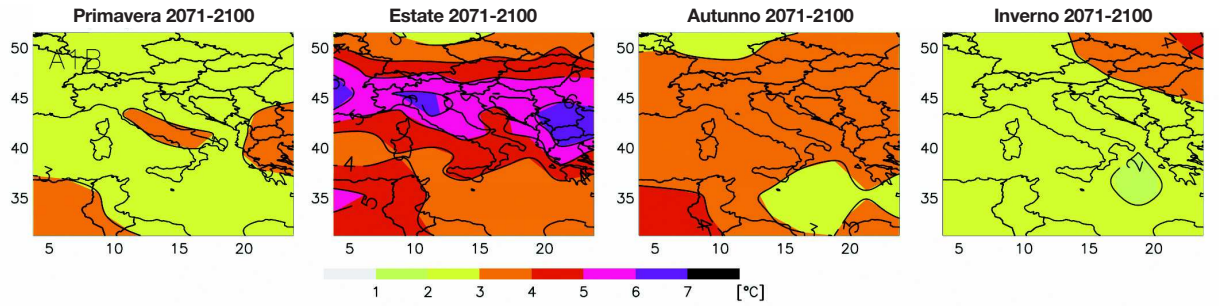


FIGURA 12. VARIAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI ANNUALI MEDIE NEL PERIODO 2071-2100 RISPETTO AL PERIODO DI RIFERIMENTO 1961-1990 (SCENARIO SRES A1B) PREVISTO DAL MODELLO DI CIRCOLAZIONE GENERALE GFDL-CM2.1. I PANNELLI RAPPRESENTANO LA VARIAZIONE MEDIA NELLE QUATTRO STAGIONI DELL'ANNO. IL MODELLO GFDL-CM2.1 È UNO DEI 20 MODELLI UTILIZZATI NELLO STUDIO CONDOTTO DA FAGGIAN, GIORGI (2009) DA CUI È TRATTA L'IMMAGINE.

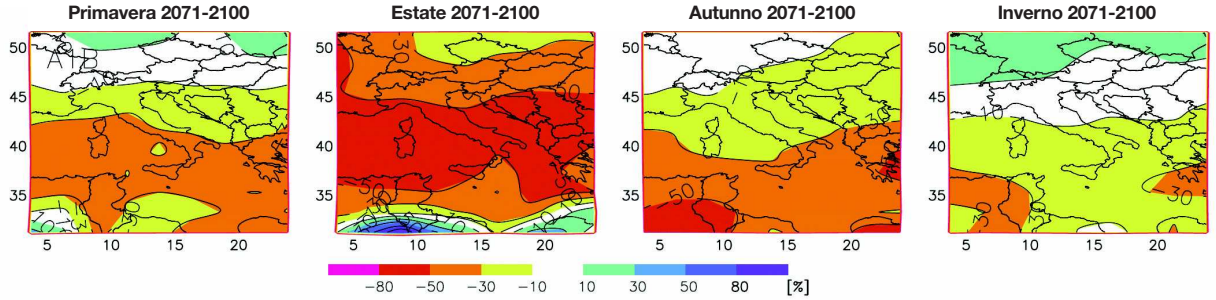


FIGURA 13. VARIAZIONE DELLA TEMPERATURA MEDIA ANNUALE NEL PERIODO 2001-2100 RISPETTO ALLA MEDIA DEL PERIODO DI RIFERIMENTO 1961-1990 IPOTIZZANDO 3 SCENARI SRES (A2, A1B E B1). I DATI SI RIFERISCONO ALLA ZONA GAR MONTANA (H>400 m s.l.m.) E SONO CALCOLATI COME MEDIA DEI 20 MODELLI DI CIRCOLAZIONE ATMOSFERICA UTILIZZATI NELLO STUDIO CONDOTTO DA FAGGIAN, GIORGI (2009) DA CUI È TRATTA L'IMMAGINE. I COLORI RAPPRESENTANO I DIVERSI CRITERI DI CALCOLO DELLA MEDIA DEI 20 MODELLI.

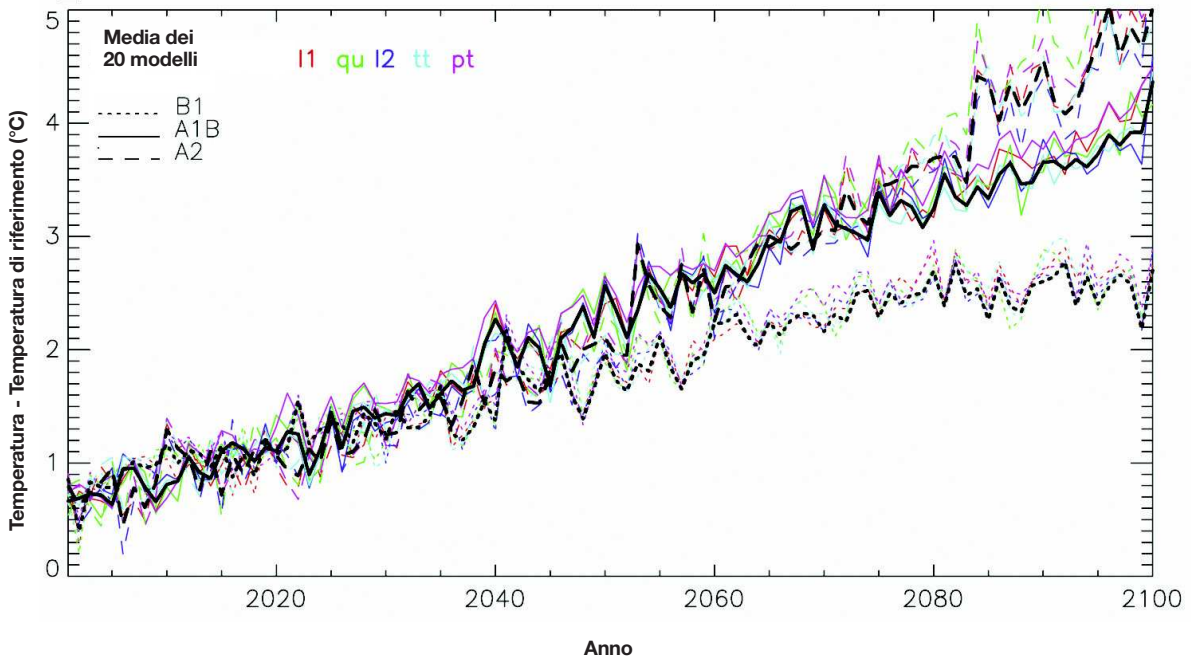


TABELLA 4. PRINCIPALI TECNOLOGIE E PRATICHE DI MITIGAZIONE PER SETTORE. I SETTORI E LE TECNOLOGIE SONO ELENCATE SENZA UN ORDINE PARTICOLARE. LE PRATICHE NON TECNOLOGICHE (COME IL CAMBIAMENTO DELLO STILE DI VITA, CHE SONO TRASVERSALI) NON SONO INCLUSE IN QUESTA TABELLA.

Settore	Principali tecnologie e pratiche di mitigazione attualmente disponibili sul mercato	Principali tecnologie e pratiche di mitigazione che si prevede siano commercializzate prima del 2030
Produzione di energia	Miglioramento dell'efficienza delle forniture e della distribuzione; passaggio da carbone a gas come carburante; energia nucleare; calore ed energia rinnovabile (energia idroelettrica, solare, eolica, geotermale e bioenergia); energia e calore combinati; prime applicazioni di CCS (Carbon Capture and Storage), per esempio, stoccaggio della CO_2 rimossa dal gas naturale.	CCS per impianti di produzione dell'energia elettrica da gas, biomassa e carbone; energia nucleare avanzata; energie rinnovabili avanzate, incluse: l'energia da moto ondoso e mareale, solare concentrato, e solare fotovoltaico.
Trasporti	Veicoli alimentati a carburante più efficiente; veicoli ibridi; veicoli diesel più puliti; biocarburanti; spostamento modale dal trasporto su ruote al trasporto su rotaie e sistemi di trasporto pubblico; trasporti non motorizzati (bicicletta, a piedi); pianificazione dell'uso del territorio e dei trasporti.	Seconda generazione di biocarburanti; maggiore efficienza degli aeroplani; veicoli elettrici e ibridi avanzati con batterie più potenti e affidabili.
Costruzioni	Efficiente illuminazione e uso dell'orario legale; apparecchi elettrici e dispositivi di riscaldamento e raffreddamento più efficienti; cucine più efficienti, migliori isolamenti; progettazione per il riscaldamento e il raffreddamento solare attivo e passivo; fluidi di refrigerazione alternativi, recupero e riciclo dei gas fluorogenati.	Progettazione integrata di edifici commerciali, includendo tecnologie come i contatori intelligenti, che forniscono feedback e controllo; solare fotovoltaico integrato nelle costruzioni.
Industria	Uso più efficiente delle apparecchiature elettriche; recupero di energia e calore; riciclo e sostituzione dei materiali; controllo delle emissioni di gas non-CO_2; un'ampia gamma di tecnologie specifiche per un dato processo.	Efficienza energetica avanzata; CCS per la produzione di cemento, ammoniaca e ferro; elettrodi inerti per la produzione dell'alluminio.
Agricoltura	Gestione delle coltivazioni e dei pascoli migliorata per aumentare la riserva di carbonio nel suolo; ripristino di suoli di torbiera coltivati e di terre degradate; miglioramento delle tecniche di produzione del riso e di allevamento del bestiame e della gestione del concime per ridurre le emissioni di CH_4; miglioramento delle tecniche di applicazione di fertilizzanti a base di nitrati per ridurre le emissioni di N_2O; coltivazioni dedicate per sostituire i combustibili fossili; miglioramento dell'efficienza energetica.	Miglioramento delle rese agricole.
Silvicoltura/ Foreste	Forestazione; riforestazione; gestione delle foreste; riduzione della deforestazione; gestione dei prodotti derivanti dalla raccolta del legname; uso dei prodotti della silvicoltura per la produzione di bioenergia allo scopo di sostituire l'uso di combustibili fossili.	Miglioramento delle specie di alberi per aumentare la produttività di biomassa e l'assorbimento di carbonio. Tecnologie satellitari migliorate per l'analisi del potenziale di assorbimento da parte di vegetazione/suolo e mappatura delle variazioni di uso del suolo.
Rifiuti	Siti per il recupero del metano; incenerimento dei rifiuti con recupero di energia; compostaggio dei rifiuti organici; trattamento controllato delle acque di scarico; riciclo e minimizzazione dei rifiuti.	Biocoperture e biofiltri per ottimizzare l'ossidazione del CH_4.

Fonte: IPCC-WGIII. Quarto Rapporto di Valutazione - Sintesi per i decisori politici.

«Per arrivare a una stabilizzazione della concentrazione di GHG in atmosfera, le emissioni dovrebbero raggiungere un picco e poi diminuire. Più basso è il livello di stabilizzazione» che la comunità internazionale vorrà raggiungere, «più rapidamente questo picco e questa successiva diminuzione dovrebbero verificarsi». Ciò comporta dei costi non trascurabili: IPCC stima, ad esempio, che una stabilizzazione della CO_2e al livello di 445-710 (valore molto più alto di quello attualmente presente!) al 2030 comporterebbe una riduzione di PIL del 3% a livello mondiale (sebbene alcune stime indichino un leggero incremento di PIL).
Per giungere alla fase di stabilizzazione è necessario utilizzare nuove tecnologie, alcune delle quali già presenti sul mercato (tab. 4). Per incentivarne l'uso, gli Stati dovranno adottare efficaci politiche, sia di sostegno finanziario (sussidi e crediti di imposta), sia di perequazione (tasse e tariffe), ma dovranno anche attuare politiche di regolamentazione, di informazione e di ricerca.
I problemi da affrontare sono enormi, poiché agire sui livelli di emissioni significa, in ultima analisi, ripensare al modello di sviluppo delle nostre società, anche in termini etici e di equità di accesso alle risorse da parte di tutta la popolazione del pianeta.

STRUTTURA DEGLI INDICATORI

INDICATORE 1

NOME	Temperatura media annua Scostamento della temperatura media annua rispetto una media di riferimento (1961-1990)
DPSIR	Determinante, Stato
UNITÀ DI MISURA	°C
FONTE	Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica ARPA FVG - OSMER
COPERTURA SPAZIALE DATI	Regionale
COPERTURA TEMPORALE DATI	1961-2010

INDICATORE 2

NOME	Pioggia mensile Pioggia annuale Numero di giorni di pioggia mensile
DPSIR	Determinante, Stato
UNITÀ DI MISURA	mm, giorni di pioggia
FONTE	Regione Friuli Venezia Giulia - Direzione centrale ambiente, energia e politiche per la montagna - Servizio idraulica ARPA FVG - OSMER
COPERTURA SPAZIALE DATI	Regionale
COPERTURA TEMPORALE DATI	1961-2010

PRINCIPALI NORME DI RIFERIMENTO

L. 1 giugno 2002, n. 120	Ratifica ed esecuzione del Protocollo di Kyoto alla Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, fatto a Kyoto l'11 dicembre 1997

GLOSSARIO

Aerosol. Un aerosol è un tipo di colloide (sostanza finemente dispersa in una fase continua) in cui un liquido o un solido sono dispersi in un gas. Esempi tipici di aerosol naturali sono le nuvole, la nebbia (esteso addensamento di gocce d'acqua), la foschia (leggero offuscamento dovuto a vapore, pulviscolo o fumo), il pulviscolo atmosferico. L'aerosol atmosferico è composto da particelle e corpuscoli in sospensione all'interno dell'atmosfera.

Adattamento. È la capacità di un sistema, antropico o naturale, di adattarsi al cambiamento del clima riducendo i potenziali danni, approfittando delle opportunità che si vengono a creare, o affrontando le conseguenze dei mutamenti.

Clima. La parola esprime un concetto astratto. Per 'clima' si intende la descrizione in forma sintetica dello stato medio del 'tempo meteorologico' in un determinato luogo e della sua variabilità naturale. 'Clima' deriva da una parola greca che significa 'inclinazione': già in epoca remota era chiaro, infatti, che esso dipendeva non tanto dalla vicinanza della terra al sole, ma anche dall'inclinazione dei raggi solari rispetto allo zenit. Il 'clima' non si misura: esso rappresenta, infatti, il comportamento statistico su lunghe serie storiche dello stato del 'tempo meteorologico', valutato mediante variabili misurabili come, ad esempio, la temperatura, la pioggia, il vento, l'insolazione. Per 'cambiamenti del clima' o 'cambiamenti climatici' non si intendono quindi le mutevoli condizioni del tempo meteorologico, ma i cambiamenti strutturali occorsi al clima del pianeta, valutabili attraverso le variazioni statistiche delle serie storiche nel tempo.

Combustione. Processo che trasforma l'energia del legame chimico in energia termica. Il processo di ossidazione comporta la liberazione della forma ossidata del carbonio (CO_2) contenuto nei combustibili. Tale gas è stato abbondantemente rilasciato in aria negli ultimi due secoli e mezzo e si è progressivamente accumulato in atmosfera.

CO_2e. Una certa quantità di CO_2 equivalente (CO_2e) è quella quantità di CO_2 che causerebbe lo stesso incremento di effetto serra (o, più precisamente, di forzante radiativo, vedi Glossario) di una data quantità di un altro gas serra; la CO_2 equivalente si usa dunque per semplificare la valutazione degli effetti di tutti i diversi GHG, trattandoli come se fossero un gas solo.

COP (Conference of the Parties). È l'assemblea (organo supremo) dell'UNFCCC. La COP si riunisce annualmente per verificare l'attuazione della Convenzione; ogni incontro assume una numerazione progressiva: il primo si è tenuto a Berlino nel 1995 (COP1); dalla riunione di Montreal del 2005 gli incontri COP hanno assunto anche il nome di MOP (Meeting of the Parties to the Protocol), in quanto contestualmente si riuniscono anche gli Stati che hanno aderito al Protocollo di Kyoto: Montreal è quindi COP11 o COP/MOP1. Il terzo incontro COP (COP3) si è tenuto a Kyoto (Giappone) nel dicembre 1997 e ha visto l'approvazione del cosiddetto 'Protocollo di Kyoto' con il quale i Paesi industrializzati si sono impegnati a ridurre complessivamente, entro il quinquennio 2008-2012 (periodo di adempimento), del 5% le proprie emissioni di GHG (in termini di CO_2 equivalente) rispetto ai valori del 1990 (anno di riferimento). La Comunità Europea si è impegnata per una riduzione dell'8%, riassegnando la quota totale ai singoli Stati in modo flessibile (per l'Italia la quota è del 6.5%). Kyoto presuppone la realizzazione in ogni Stato aderente di un sistema di monitoraggio affidabile e condiviso, in grado di garantire un controllo nel tempo dei livelli di emissione di GHG. Inoltre, stabilisce degli strumenti flessibili, anche di cooperazione fra Stati, affinché si realizzi una riduzione dei GHG, minimizzando i costi sociali degli interventi. L'entrata in vigore del protocollo di Kyoto era subordinata alla ratifica di almeno 55 Stati aderenti all'UNFCCC, responsabili per almeno il 55% delle emissioni totali al 1990. Queste due condizioni sono state raggiunte il 18 novembre 2004 con la firma della Russia. Il Protocollo è quindi entrato in vigore il 16 febbraio 2005. L'Italia ha ratificato il Protocollo di Kyoto con legge 1 giugno 2002, n. 120, in cui viene illustrato il relativo 'Piano nazionale per la riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra'. Le riunioni COP successive a Kyoto sono servite ad affinare il sistema proposto dal Protocollo. A titolo di esempio si cita l'incontro COP7, che si è tenuto nel 2001 a Marrakesh (Marocco), in cui è stato definito come contabilizzare le emissioni e gli assorbimenti addizionali (attività LULUCF), come quelle dovute alle foreste e alle coltivazioni agrarie; l'incontro COP15 di Copenhagen (Danimarca) del 2009, che aveva l'obiettivo di stabilire i nuovi impegni sulle emissioni dopo il 2012 (regime post-Kyoto), si è concluso con l'"Accordo di Copenhagen". Questo accordo, molto discusso e controverso, è un documento non vincolante, che si pone l'obiettivo di limitare a 2 °C l'aumento della temperatura media

mondiale, con un duplice impegno per i Paesi industrializzati: 1) fissare propri target di emissioni al 2020 e 2) mobilitare risorse da destinare ai paesi in via di sviluppo per azioni di mitigazione e di adattamento agli effetti del cambiamento climatico.
Nel corso degli incontri sono tuttavia emerse numerose perplessità, sia da parte dei paesi avanzati, preoccupati degli oneri economici delle misure di mitigazione, sia da parte dei paesi in via di sviluppo, per possibili effetti negativi delle limitazioni imposte sulla loro possibilità di crescita e di sviluppo economico.
Si segnala, infine, l'incontro COP17 di Durban (Sudafrica) del 2011, che mantiene in vita il Protocollo di Kyoto per un periodo transitorio (Kyoto2) e introduce una precisa tabella di marcia per arrivare a un trattato globale sulla lotta ai cambiamenti climatici entro il 2015; il trattato globale dovrà entrare in vigore nel 2020.

Forzante. Causa esterna che può generare un mutamento. Ai fini del cambiamento climatico una forzante è rappresentata, ad esempio, dall'inquinamento.

Forzante radiativo (W/m^2). Indice che misura l'influenza dei fattori naturali e antropici nell'alterare il bilancio di energia in entrata e in uscita nel sistema Terra-atmosfera.

Gas effetto serra (GHG, Green House Gases). Il clima terrestre dipende prioritariamente dalla particolare composizione chimica della nostra atmosfera. Il vapor acqueo e i gas presenti nell'atmosfera assorbono e riemettono nello spettro dell'infrarosso l'energia che proviene dalla Terra, contribuendo al riscaldamento della superficie terrestre e dell'atmosfera. Questo fenomeno fisico è definito 'effetto serra' ed è quello che permette la vita sul nostro pianeta. A parità di condizioni, in assenza di atmosfera la temperatura della Terra sarebbe pari a -18 °C, valore incompatibile con la vita. L'atmosfera funge quindi come una sorta di enorme coperta, in grado di 'trattenere' parte della radiazione solare ricevuta o di quella riflessa dalla Terra, consentendo un forte innalzamento della temperatura, fino a valori compatibili con la vita (da -18 a +15 °C medi al suolo). Inoltre, il clima della Terra dipende anche dalle concentrazioni relative del vapor acqueo e dei gas presenti nell'atmosfera. I gas ad effetto serra presi in considerazione nelle negoziazioni internazionali e in particolare nel Protocollo di Kyoto sono:
- anidride carbonica;
- metano;
- protossido di Azoto;
- esafloruro di zolfo;
- la famiglia di gas degli Idrofluorocarburi (HCFC);
- la famiglia di gas dei Perfluoricarburi (PFC).

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Gruppo Intergovernativo sul Cambiamento Climatico). Organismo istituito da UNEP e WMO con lo scopo di approfondire le conoscenze tecnico-scientifiche e socio-economiche sui cambiamenti climatici. Il lavoro dell'IPCC è orientato prevalentemente ai 'decisori politici', in modo da fornire loro – tramite periodici Rapporti di Valutazione Scientifica (Assessment Report) – conoscenze adeguate a valutare il fenomeno, gli impatti sull'uomo e l'ambiente e individuare delle possibili azioni di mitigazione. L'organizzazione dell'IPCC è strutturata in una Task Force, che gestisce il programma sugli Inventari nazionali di GHG ed è di supporto alla UNFCCC, e da 3 gruppi di lavoro (WG), che redigono i tre distinti capitoli dei Rapporti (WGI-Basi scientifiche, WGII-Impatti, adattamento e vulnerabilità, WGIII-Mitigazione del cambiamento climatico), oltre ad una sintesi per i decisori politici. Il primo Rapporto è stato realizzato nel 1990. I successivi Rapporti sono stati realizzati nel 1995, 2001 e 2007. Il quarto Rapporto rappresenta il documento di riferimento per tutti i Paesi che hanno aderito al Protocollo di Kyoto ed indica gli impegni futuri di riduzione di GHG.

LAN (Linea di Affidabilità delle Nevi). Altitudine media oltre la quale le precipitazioni nevose e la temperatura garantiscono almeno 100 giorni all'anno con 30 cm di neve. Attualmente la linea si trova a 1.500 m di quota; essa sale di 150 m per ogni °C di aumento di temperatura. Un comprensorio è affidabile se più del 50% del suo territorio ricade a una quota superiore alla linea di affidabilità.

ppb. Parti per miliardo (la sigla deriva dall'inglese *parts per billion*); è una misura utilizzata per esprimere la concentrazione di un elemento estremamente scarso in una miscela omogenea. Si ottiene dal rapporto fra la quantità dell'elemento di interesse – moltiplicata per un miliardo (10^9) – e la quantità totale (elemento compreso) della miscela.

ppm. Parti per milione; è una misura utilizzata per esprimere la concentrazione di un elemento molto scarso in una miscela omogenea. Si ottiene dal rapporto fra la quantità dell'elemento di interesse – moltiplicata per un milione (10^6) – e la quantità totale (elemento compreso) della miscela.

Protocollo di Kyoto. Vedi voce 'COP'.

Scenari SRES (Special Report on Emission Scenarios). Sono degli scenari di sviluppo socio-economico sulla base dei quali l'IPCC ha effettuato delle proiezioni sulle emissioni di GHG in atmosfera, al fine di valutare i cambiamenti climatici. Di seguito la descrizione dei singoli scenari tratti dal IV Rapporto IPCC (WGI).

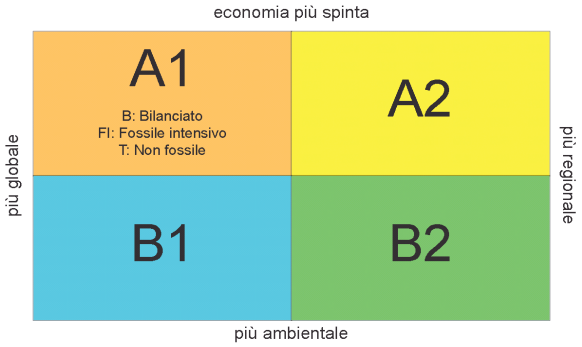
A1. La famiglia di scenari A1 descrive un mondo futuro caratterizzato da una crescita economica molto rapida, con la popolazione globale che raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, e con una rapida introduzione di tecnologie nuove e più efficienti. I temi dominanti sono le convergenze regionali, il capacity building e l'aumento delle interazioni culturali e sociali, con una sostanziale diminuzione delle differenze regionali di reddito pro-capite. La famiglia di scenari A1 si sviluppa in tre gruppi che descrivono direzioni alternative dei cambiamenti tecnologici del sistema energetico. I tre gruppi si distinguono dalla loro enfasi tecnologica in: fossile intensivo (A1FI), fonti di energia non fossile (A1T) o un bilancio fra tutte le fonti (A1B) (dove per bilancio si intende una non eccessiva dipendenza da nessun tipo particolare di fonte energetica, presumendo che si possa applicare a tutte le risorse energetiche e alle tecnologie finali tassi di miglioramento simili).

A2. La famiglia di scenari A2 descrive un mondo molto eterogeneo. Il tema dominante è l'auto-sufficienza e la preservazione delle identità locali. La natalità fra le regioni converge molto lentamente, con un conseguente continuo aumento della popolazione. Lo sviluppo economico è essenzialmente orientato su base regionale e la crescita economica pro-capite e i cambiamenti tecnologici sono molto frammentati e più lenti.

B1. La famiglia di scenari B1 descrive un mondo convergente con la stessa popolazione globale che, come per la trama A1, raggiungerà un massimo a metà secolo per poi declinare, ma con un rapido cambio delle strutture economiche verso un'economia dell'informazione e dei servizi, con una riduzione dell'intensità dei materiali e l'introduzione di tecnologie pulite e che sfruttano le risorse in modo efficiente. Viene data molta importanza alle soluzioni globali per l'economia, alla sostenibilità sociale ed ambientale, includendo un miglioramento dell'equità, ma senza ulteriori iniziative climatiche.

B2. La famiglia di scenari B2 descrive un mondo in cui l'enfasi è sulle soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale ed ambientale. È un mondo in cui la popolazione globale cresce continuamente, ad un tasso minore della famiglia A2, con livelli intermedi di sviluppo economico e cambiamenti tecnologici meno rapidi e più diversificati rispetto alle trame B1 e A1. Mentre anche lo scenario è orientato verso la protezione ambientale e l'equità sociale, si focalizza sui livelli locali e regionali.

Una semplice rappresentazione dei 6 scenari SRES è riportata nella figura in questa pagina. Schematicamente, nel processo di sviluppo socio-economico dall'alto al basso viene posta maggiore attenzione all'ambiente rispetto ai temi economici; da sinistra a destra viene posta maggiore attenzione allo sviluppo localistico rispetto a uno globalizzato.



UNEP (United Nations Environment Programme). Organismo delle Nazioni Unite istituito nel 1972 per sviluppare programmi e iniziative nel campo della tutela dell'ambiente e dell'utilizzo sostenibile delle risorse naturali.

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). È la 'Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici' presentata nel corso della Conferenza delle Nazioni Unite su ambiente e sviluppo di Rio de Janeiro nel 1992, sottoscritta da 188 Paesi (192 nel 2009). L'UNFCCC si pone l'obiettivo di stabilizzare le concentrazioni di GHG nell'atmosfera a un livello 'sostenibile' sia da un punto di vista ambientale, tramite la riduzione dei rischi per l'uomo, sia da un punto di vista sociale, garantendo a tutti i paesi, anche a quelli in via di sviluppo, condizioni di crescita economica. All'interno dell'UNFCCC vi è una importante classificazione dei paesi in funzione del loro effettivo livello di sviluppo. Quelli che fanno parte dell'OCSE (Organizzazione per lo Sviluppo e la Cooperazione Economica) e quelli 'di transizione' (dell'ex blocco sovietico) sono elencati nell'allegato I; tutti gli altri paesi sono considerati 'in via di sviluppo'. Ai paesi dell'allegato I viene chiesto di adottare politiche nazionali e interventi specifici per limitare le emissioni di GHG causate dall'uomo e incrementare le potenzialità dei pozzi e dei serbatoi di GHG. Inoltre, essi dovranno dare 'evidenza' di quanto da loro fatto mediante la tenuta di appositi 'inventari'. L'Italia ha firmato la Convenzione il 5 giugno 1992, l'ha ratificata il 15 aprile 1994 ed è entrata in vigore il 14 luglio 1994.

Vulnerabilità. Grado di 'sensibilità' agli effetti negativi dei cambiamenti climatici.

WMO (World Meteorological Organization). Organizzazione delle Nazioni Unite che opera nel campo della meteorologia, dell'idrologia e delle relative scienze geofisiche.

BIBLIOGRAFIA

Antolini G., Tomei F. (2006), *PRAGA - Programma di Analisi e Gestione di dati Agrometeorologici*, Atti del convegno AIAM 'Agrometeorologia e gestione delle colture agrarie', Torino, 6-8 giugno 2006.

ARPA FVG (2005), *Rapporto Stato Ambiente*, Capitolo 3.1.1.2, *Clima* (da RA-VAS-PTR_1_ottobre_2007 P.doc).

ARSO (2010), *Temperaturne razmere v Sloveniji v obdobju 1951-2010*, in http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/ spremenljivost%20podnebja.pdf.

ARSO (2011), *Spremenljivost podnebja v Sloveniji*, in http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/other/slo_temp_1951-2010.pdf.

Auer I., Böhm R., Jurkovic A. *et al.* (2007), *HISTALP - Historical Instrumental climatological Surface Time series of the greater ALPine Region*, in «International Journal of Climatology», 27, 17-46.

CAI (2008), *Dossier sul 'Climate Change'*, Ufficio Tecnico Ambientale del Club Alpino Italiano.

Casty C., Wanner H., Luterbacher J. *et al.* (2005), *Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500*, in «International Journal of Climatology», 25, 1855-1880.

CIPRA (2011), *Turismo nel cambiamento climatico*, CIPRA, Compact n. 08/2011, www.cipra.org.

Daniotti S. (2009), *Bilancio della anidride carbonica ed assorbimenti della stessa nella regione Friuli Venezia Giulia*, Tesi di laurea, Università di Udine, Facoltà di Ingegneria.

Faggian P., Giorgi F. (2009), *An analysis of global model projections over Italy, with particular attention to the Italian Greater Alpine Region (GAR)*, in «Climatic Change», 96, 239-258.

HISTALP Project (2011), *ZAMG*, in http://www.zamg.ac.at/histalp/.

IEA (2010), *World Energy Outlook 2010. Sintesi*, in http://www.iea.org.

IPCC (2007a), *Summary for Policymakers*, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.)], Cambridge, United Kingdom and New York, NY (USA), Cambridge University Press.

IPCC (2007b), *Summary for Policymakers*, in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [M. Parry L., Canziani O.F., Palutikof J.P., van der Linden P.J., Hanson C.E. (eds.)], Cambridge, UK, Cambridge University Press, 7-22.

IPCC (2007c), *Summary for Policymakers*, in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, [Metz B., Davidson O.R., Bosch P.R., Dave R., Meyer L.A. (eds)], Cambridge, United Kingdom and New York, NY (USA), Cambridge University Press.

JRC, *PESETA project*, in http://peseta.jrc.ec.europa.eu/docs/Tourism.html.

Lanza A. (2000), *Il cambiamento climatico*, Bologna, Il Mulino.

Micheletti S. (2005), *Cambiamenti climatici in Friuli Venezia Giulia?*, in http://www.arpa.fvg.it/ fileadmin/Informazione/Pubblicazioni/pubbl_meteo/CAMBIAMENTI_CLIMATICI_IN_FRIULI.pdf.

Micheletti S. (2008), *I cambiamenti climatici*, lavoro non pubblicato (a richiesta: stefano.micheletti@meteo.fvg.it).

Pasini A. (2003), *I cambiamenti climatici. Meteorologia e clima simulato*, Milano, Bruno Mondadori.

Pernigotti D. (2007), *Come affrontare i cambiamenti climatici*, Milano, Il Sole 24 Ore.

PIK - Potsdam Institute for Climate Impact Research (2010), *People expected to be at risk of flooding without adaptation in the medium-long term*, in http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/people-expected-to-be-at.

Ronchi E. (2010), *L'Italia centra Kyoto: -6,5% CO_2 nel 2012*, in http://fondazionesvilupposostenibile.org/f/News/Proiezioni_Ronchi_Kyoto_2012.pdf.

Siegenthaler U., Stocker T., Monnin E. *et al.* (2005), *Stable carbon cycle-climate relationship during the late Pleistocene*, in «Science», 310, 1313-1317.

Zuliani M., Alberti G., Danelon M. *et al.* (2007), *Greenhouse gases mitigation in croplands: opportunities and new perspectives*, in *Local Strategies for Land Use Management According to Kyoto Protocol*, Udine, Forum.

SITOGRAFIA

http://www.eea.europa.eu/it/themes/climate
http://www.arpa.fvg.it
http://www.ipcc.ch/
http://www.meteo.fvg.it
http://www.fondazionesvilupposostenibile.org