



INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE



## Climate Change 2007 I Principi Fisici di Base

---

### *Sintesi per i Decisori Politici*

---

### Parte del contributo del Gruppo di Lavoro I al Quarto Rapporto di Valutazione del Comitato Intergovernativo per i Cambiamenti Climatici

**Autori:**

Richard Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan Gregory, Gabriele Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

**Autori che hanno contribuito:**

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

**Nella sua versione ufficiale IPCC, questa Sintesi per i Decisori politici deve essere citata come segue:**

IPCC, 2007: 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., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**Important:**

*"As UN body the IPCC publishes reports only in the 6 UN official languages. This translation of the Summary for Policymakers of IPCC Report "Climate Change 2007 - The Physical Science Basis" is therefore not an official translation by the IPCC. It has been provided by the Italian Focal Point in the aim of reflecting in the most accurate way the language used in the IPCC original text."*

## INTRODUZIONE

Il contributo del Gruppo di Lavoro I al Quarto Rapporto di Valutazione dell'IPCC descrive i progressi raggiunti nella comprensione dell'apporto antropico e naturale ai cambiamenti climatici<sup>1</sup>, dei cambiamenti climatici osservati, dei processi climatici e delle loro relazioni di causa-effetto (*attribution*) e della valutazione delle proiezioni dei cambiamenti climatici futuri.

Il Rapporto è stato costruito basandosi sulle precedenti valutazioni fatte dall'IPCC e incorporando i nuovi risultati delle ricerche degli ultimi sei anni. I progressi scientifici fatti dopo il Terzo Rapporto di Valutazione (TAR), sono basati su un grande numero di dati più nuovi e più completi, analisi più sofisticate dei dati stessi, miglioramenti nella comprensione dei processi e nella loro simulazione tramite modelli, e un'esplorazione più estesa degli intervalli di incertezza.

I fondamenti per i paragrafi in grassetto di questa Sintesi per i Decisori Politici possono essere trovate nelle sezioni dei capitoli indicate tra parentesi graffe.

## CONTRIBUTI NATURALI ED ANTROPICI AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

*I cambiamenti nell'atmosfera delle quantità di gas e aerosol ad effetto serra, della radiazione solare e delle proprietà della superficie terrestre alterano il bilancio energetico del sistema climatico. Questi cambiamenti sono espressi in termini di forzante radiativo<sup>2</sup>, che viene usato per valutare come i fattori antropici e naturali influenzino la tendenza al riscaldamento o al raffreddamento del clima globale.*

*Rispetto al TAR, nuove osservazioni e modelli, che includono gas serra, attività solare, proprietà della superficie terrestre e in parte l'effetto degli aerosol, hanno portato a miglioramenti nelle stime quantitative del forzante radiativo.*

**Le concentrazioni globali in atmosfera di anidride carbonica, metano e protossido di azoto sono notevolmente aumentate come risultato dell'attività umana dal 1750 e attualmente superano i valori pre-industriali, come dimostrato dall'analisi delle carote di ghiaccio che rappresentano molte migliaia di anni (vedi Figura SPM.1). L'incremento globale della concentrazione di anidride carbonica è principalmente dovuto all'uso di combustibili fossili ed a cambiamenti di uso del suolo, mentre gli incrementi di metano e protossido di azoto sono principalmente dovuti all'agricoltura. {2.3, 6.4, 7.3}**

- L'anidride carbonica è il più importante gas serra prodotto dell'attività umana (vedi Figura SPM.2). La concentrazione globale di anidride carbonica è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 280 ppm ad un valore di 379 ppm<sup>3</sup> nel 2005. La concentrazione atmosferica di anidride carbonica nel 2005 supera notevolmente il range naturale degli ultimi 650000 anni (da 180 a 300 ppm) come determinato dall'analisi delle carote di ghiaccio. Il tasso annuo di crescita della concentrazione di anidride carbonica negli ultimi dieci anni (media 1995-2005: 1.9 ppm all'anno) è stato il più alto da quando sono iniziate le misure dirette in continuo dell'atmosfera (media 1960-2005: 1,4 ppm all'anno), nonostante vi sia una variabilità da un anno all'altro nei tassi di crescita.
- La fonte principale dell'incremento della concentrazione atmosferica di anidride carbonica rispetto al

<sup>1</sup> Il termine *Cambiamenti Climatici*, per lo standard IPCC, si riferisce a qualsiasi cambiamento del clima nel tempo, dovuto alla variabilità naturale o come risultato di attività umane. Questo significato differisce da quello usato nella United Nations Framework Convention on Climate Change, dove per cambiamenti climatici si intende un cambiamento attribuito direttamente o indirettamente all'attività umana che alteri la composizione globale dell'atmosfera e che si aggiunga alla variabilità naturale osservata del clima per periodi di tempo comparabili.

<sup>2</sup> Il forzante radiativo è la misura dell'influenza che un fattore ha nell'alterare il bilancio di energia in entrata e in uscita nel sistema Terra-atmosfera ed è un indice dell'importanza del fattore stesso come un potenziale meccanismo di cambiamento climatico. I forzanti positivi tendono a riscaldare la superficie mentre quelli negativi tengono a raffreddarla. In questo rapporto i valori dei forzanti radiativo sono relativi al 2005 rispetto alle condizioni pre-industriali stimate al 1750 e sono espressi in W m<sup>-2</sup>. Vedi il Glossario e la Sezione 2.2 per ulteriori dettagli.

<sup>3</sup> ppm (parti per milione) o ppb (parti per miliardo) è il rapporto fra il numero di molecole di gas serra e il numero totale di molecole di aria secca. Per esempio: 300 ppm significa 300 molecole di gas serra per milione di molecole di aria secca.

periodo pre-industriale deriva dall'uso dei combustibili fossili, e dai cambiamenti di uso del suolo, anche se questi ultimi apportano un contributo minore ma pur sempre significativo. Le emissioni<sup>4</sup> annue di biossido di carbonio fossile sono cresciute da una media di 6.4 [da 6.0 a 6.8]<sup>5</sup> GtC (23.5 [da 22.0 a 25.0] GtCO<sub>2</sub>) all'anno durante gli anni novanta, a 7.2 [da 6.9 a 7.5] GtC (26.4 [da 25.3 a 27.5] GtCO<sub>2</sub>) all'anno nel periodo 2000-2005 (i dati del 2004 e 2005 sono stime provvisorie). Le stime delle emissioni di anidride carbonica associate al cambiamento di uso del suolo sono 1.6 [da 0.5 a 2.7] GtC (5.9 [da 1.8 a 9.9] GtCO<sub>2</sub>) all'anno dopo gli anni novanta, sebbene queste stime abbiano un elevato grado di incertezza. {7.3}

- La concentrazione atmosferica globale di metano è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 715 ppb a 1732 ppb nei primi anni novanta, ed ha raggiunto un valore di 1774 ppb nel 2005. La concentrazione atmosferica di metano del 2005 eccede abbondantemente il range naturale degli ultimi 650000 anni (da 320 a 790 ppb) come determinato dall'analisi delle carote di ghiaccio. I tassi di crescita sono diminuiti a partire dai primi anni novanta, consistentemente con le emissioni totali (somma delle sorgenti antropogeniche e naturali) che sono rimaste quasi costanti durante questo periodo. E' *molto probabile* ("very likely")<sup>6</sup> che l'incremento osservato della concentrazione di metano sia dovuto alle attività antropiche, principalmente l'agricoltura e l'uso dei combustibili fossili, ma i contributi relativi delle diverse tipologie di sorgenti non sono ancor ben determinati. {2.3, 7.4}
- La concentrazione atmosferica globale di protossido di azoto è cresciuta da un valore pre-industriale di circa 270 ppb a 319 ppb nel 2005. Il tasso di crescita è rimasto approssimativamente costante dal 1980. Più di un terzo di tutte le emissioni di protossido di azoto sono antropogeniche e principalmente dovute all'agricoltura. {2.3, 7.4}

**La comprensione dell'influenza antropogenica nel riscaldamento e nel raffreddamento del clima è migliorata rispetto al TAR, portando alla conclusione, con *confidenza molto elevata* ("very high confidence")<sup>7</sup>, che l'effetto globale medio netto delle attività umane dal 1750 sia stato una causa di riscaldamento, con un forzante radiativo di +1.6 [da +0.6 a +2.4] Wm<sup>-2</sup> (vedi Figura SPM.2). {2.3., 6.5, 2.9}**

- Il forzante radiativo combinato dovuto agli aumenti di anidride carbonica, metano e protossido di azoto è di +2.30 [da +2.07 a +2.53] Wm<sup>-2</sup>, ed il suo tasso di crescita durante l'era industriale *molto probabilmente* non ha avuto precedenti in più di 10000 anni (vedi Figure SPM.1 e SPM.2). Il forzante radiativo dell'anidride carbonica è cresciuto del 20% dal 1995 al 2005, il cambiamento maggiore di qualsiasi decennio almeno negli ultimi 200 anni. {2.3, 6.4}
- I contributi antropogenici agli aerosol (solfati, carbonio organico, nero fumo, nitrati e polveri) insieme producono un effetto di raffreddamento, con un forzante radiativo diretto totale di -0.5 [da -0.9 a -0.1] Wm<sup>-2</sup> ed un forzante indiretto dovuto all'albedo delle nuvole di -0.7 [da -1.8 a -0.3] Wm<sup>-2</sup>. Questi forzanti attualmente sono meglio compresi rispetto al TAR, grazie a miglioramenti nelle misurazioni *in situ*, da satellite e da terra e anche grazie ad una modellistica più completa, ma rimangono ancora l'elemento dominante l'incertezza del forzante radiativo. Gli aerosol influenzano anche il tempo di vita delle nubi e le precipitazioni. {2.4, 2.9, 7.5}
- Contributi antropogenici significativi al forzante radiativo provengono anche da diverse altre sorgenti. I cambiamenti dell'ozono troposferico dovuti alle emissioni di composti chimici ozono-formanti (ossidi di azoto, monossido di carbonio e idrocarburi) forniscono un contributo

<sup>4</sup> Le emissioni di biossido di carbonio fossile includono tutte quelle provenienti dalla produzione, distribuzione e consumo di combustibili fossili e come risultato dalla produzione di cemento. Un'emissione di 1 GtC corrisponde a 3.67 GtCO<sub>2</sub>.

<sup>5</sup> In generale, gli intervalli di incertezza relativi ai risultati presentati in questa Sintesi per i Decisori Politici sono del 90%, a meno che non venga specificato diversamente, vale a dire, vi è una probabilità stimata del 5% che un valore possa trovarsi sopra l'intervallo dato fra parentesi quadra ed il 5% di probabilità che il valore sia sotto questo intervallo. Dove possibile, sono fornite le migliori stime. Gli intervalli di incertezza valutati non sono sempre simmetrici rispetto alla miglior stima corrispondente. Si noti che molti intervalli di incertezza nel contributo del Gruppo di Lavoro I del TAR corrispondevano a 2 deviazioni standard (95%), spesso usando il giudizio degli esperti ("expert judgement").

<sup>6</sup> In questa Sintesi per i Decisori Politici, per indicare le probabilità valutate da un esito o di un risultato sono stati utilizzati i seguenti termini, usando il giudizio degli esperti ("expert judgment"): *Virtualmente certo* ("Virtually certain") > 99% probabilità che avvenga, *Estremamente Probabile* ("Extremely likely") > 95%, *Molto Probabile* ("Very likely") > 90%, *Probabile* ("Likely") > 66%, *Più probabile che no* ("More likely than not") > 50%, *Improbabile* ("Unlikely") < 33%, *Molto improbabile* ("Very unlikely") < 10%, *Estremamente Improbabile* ("Extremely unlikely") < 5% (vedi Box TS.1 per ulteriori dettagli).

<sup>7</sup> In questa Sintesi per i Decisori Politici, per esprimere il giudizio degli esperti ("expert judgment") sulla correttezza di un'affermazione, sono stati usati i seguenti livelli di *confidenza*: *confidenza molto elevata* ("very high confidence") almeno 9 su 10 possibilità di essere corretto; *elevata confidenza* ("high confidence") circa 8 su 10 possibilità di essere corretto (vedi Box TS.1).

pari a  $+0.35$  [da  $+0.25$  a  $+0.65$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . Il forzante radiativo diretto prodotto dai cambiamenti degli alocarburi<sup>8</sup> è di  $+0.34$  [da  $+0.31$  a  $+0.37$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . I cambiamenti dell'albedo della superficie, dovuti ai cambiamenti della copertura del suolo ed ai depositi di fuliggine sulla neve, esercitano un forzante pari a rispettivamente  $-0.2$  [da  $-0.4$  a  $0.0$ ] e  $+0.1$  [da  $0.0$  a  $+0.2$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ . Altri contributi minori di  $\pm 0.1$   $\text{Wm}^{-2}$  sono mostrati nella Figura SPM.2. {2.3, 2.5, 7.2}

- Si stima che i cambiamenti dell'irradianza solare dal 1750 producano un forzante radiativo pari a  $+0.12$  [da  $+0.06$  a  $+0.30$ ]  $\text{Wm}^{-2}$ , meno della metà della stima riportata nel TAR. {2.7}

## OSSERVAZIONE DIRETTA DI CAMBIAMENTI CLIMATICI RECENTI

*Dalla presentazione del TAR, sono stati compiuti progressi nella comprensione di come il clima cambi nello spazio e nel tempo, attraverso il miglioramento e l'estensione di numerosi insiemi e analisi di dati, una maggiore copertura geografica, una migliore comprensione delle incertezze, e una maggiore varietà di misurazioni. E' disponibile un numero sempre maggiore di osservazioni complete per i ghiacciai e la copertura nevosa a partire dagli anni sessanta, e per il livello del mare e le calotte glaciali da circa lo scorso decennio. Tuttavia, la copertura dei dati rimane ancora limitata in alcune regioni.*

**Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come è ora evidente dalle osservazioni dell'aumento delle temperature medie globali dell'aria e delle temperature degli oceani, dello scioglimento diffuso di neve e ghiaccio, e dell'innalzamento del livello del mare medio globale (vedi Figura SPM.3). {3.2, 4.2, 5.5}**

- Undici degli ultimi dodici anni (1995-2006) si classificano fra i più caldi mai registrati da quando si hanno misure globali di temperatura<sup>9</sup> alla superficie (dal 1850). Il trend lineare per gli ultimi 100 anni (1906-2005) aggiornato di  $0.74$  [da  $0.56$  a  $0.92$ ]  $^{\circ}\text{C}$  è quindi maggiore del corrispondente trend per gli anni 1901-2000 riportato nel TAR di  $0.6$  [da  $0.4$  a  $0.8$ ]  $^{\circ}\text{C}$ . Il trend di riscaldamento lineare per gli ultimi 50 anni ( $0.13$  [da  $0.10$  a  $0.16$ ]  $^{\circ}\text{C}$  per decennio) è quasi il doppio di quello per gli ultimi 100 anni. L'aumento totale della temperatura dal 1850-1899 al 2001-2005 è di  $0.76$  [da  $0.57$  a  $0.95$ ]  $^{\circ}\text{C}$ . Gli effetti delle isole di calore urbane sono reali, anche se a scala locale e hanno un'influenza trascurabile (meno dello  $0.006$   $^{\circ}\text{C}$  per decennio sopra le terre e  $0$  sopra gli oceani) su questi valori. {3.2}
- Nuove analisi effettuate con palloni aerostatici e misure da satellite della bassa e media troposfera mostrano tassi di riscaldamento simili a quelli misurati per la temperatura della superficie e sono consistenti nelle loro rispettive incertezze, risolvendo così una discrepanza notata nel TAR. {3.2, 3.4}
- Il contenuto medio di vapore acqueo in atmosfera è aumentato a partire almeno dagli anni ottanta sia sulla terra ferma che sopra gli oceani così come nell'alta troposfera. L'incremento è generalmente largamente consistente con la quantità di vapore acqueo extra che l'aria più calda può trattenere. {3.4}
- Le osservazioni fatte dal 1961 mostrano che la temperatura media degli oceani globali è aumentata fino ad una profondità di almeno  $3000$  m, e che l'oceano ha assorbito più dell'80% del calore aggiunto al sistema climatico. Un tale riscaldamento provoca l'espansione dell'acqua marina contribuendo al sollevamento del livello del mare (vedi Tabella SPM.1). {5.2, 5.5}

<sup>8</sup> Il forzante radiativo degli alocarburi è stato recentemente valutato nel dettaglio nello *Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System* dell' IPCC (2005).

<sup>9</sup> La media della temperatura dell'aria alla superficie sopra la terra e della temperatura dell'aria alla superficie sul mare.

**Tabella SPM.1.** Tassi di innalzamento del livello del mare osservati e stime dei contributi di diverse cause. {5.5, Tabella 5.3}

Cause di innalzamento del livello del mare	Tasso di innalzamento del livello del mare (mm all'anno)	
	1961–2003	1993–2003
Espansione termica	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Ghiaccio e calotte di ghiaccio	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Calotte di ghiaccio in Groenlandia	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Calotte di ghiaccio in Antartide	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Somma dei contributi climatici individuali all'innalzamento del livello del mare	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Innalzamento totale del livello del mare osservato	1.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	3.1 ± 0.7 <sup>a</sup>
Differenza (osservato meno la somma dei contributi climatici stimati)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Nota:

<sup>a</sup> I dati antecedenti al 1993 provengono da mareografi e quelli successivi il 1993 da dati di altimetria satellitare.

- I ghiacciai montani e la copertura nevosa sono mediamente diminuiti in entrambi gli emisferi. La vasta diminuzione dei ghiacciai e delle calotte di ghiaccio ha contribuito all'innalzamento del livello del mare (le calotte di ghiaccio non includono i contributi delle calotte glaciali della Groenlandia e dell'Antartide). (Vedi Tabella SPM.1) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- I nuovi dati successivi al TAR mostrano ora che la perdita di quantità di ghiaccio dalle calotte glaciali in Groenlandia e in Antartide ha *molto probabilmente* contribuito all'innalzamento del livello marino fra il 1993 e il 2003 (vedi Tabella SPM.1). In Groenlandia ed Antartide è aumentata la velocità di flusso di alcune lingue glaciali che trasportano ghiaccio dall'interno delle calotte glaciali. Il corrispondente aumento di perdita di massa della calotta glaciale ha spesso avuto come conseguenza l'assottigliamento, la riduzione o la perdita di banchisa di ghiaccio o il distacco di lingue glaciali galleggianti. Questa riduzione dinamica del ghiaccio è sufficiente a spiegare la maggior parte delle perdite nette di massa in Antartide e approssimativamente la metà della perdita netta di massa in Groenlandia. La rimanente quantità di ghiaccio perso dalla Groenlandia può essere spiegata con la perdita dovuta allo scioglimento delle nevi che ha superato l'accumulo dovuto alle nevicate. {4.6, 4.8, 5.5}
- Il livello del mare medio globale è cresciuto ad un tasso medio di 1.8 [da 1.3 a 2.3] mm all'anno dal 1961 al 2003. Il tasso di crescita è stato maggiore durante il periodo 1993-2003: circa 3.1 [da 2.4 a 3.8] mm all'anno. Non è chiaro se il più veloce tasso di crescita nel periodo 1993-2003 rifletta la variabilità decennale o un incremento del trend nel lungo termine. Esiste un'*alta confidenza* che il tasso osservato di innalzamento del livello del mare sia aumentato dal XIX al XX secolo. La stima dell'innalzamento totale per il XX secolo è pari a 0.17 [da 0.12 a 0.22] m. {5.5}
- Per il periodo 1993-2003 la somma dei contributi climatici è consistente negli intervalli di incertezza con l'innalzamento totale del livello del mare direttamente osservato (vedi Tabella SPM.1). Queste stime sono basate su migliori dati da satellite e su dati *in-situ* attualmente disponibili. Per il periodo 1961-2003 la stima della somma dei contributi climatici è minore dell'innalzamento del livello del mare osservato. Il TAR riportava una simile discrepanza per il periodo 1910-1990. {5.5}

**Sono stati osservati numerosi cambiamenti del clima di lungo termine alle scale continentali, regionali e di bacino oceanico. Questi cambiamenti includono variazioni delle**

**temperature e dei ghiacci nell'Artico, estese variazioni delle quantità delle precipitazioni, della salinità dell'oceano, delle strutture dei venti e delle tipologie di eventi estremi come siccità, forti precipitazioni, ondate di calore e intensità dei cicloni tropicali<sup>10</sup>. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}**

- Le temperature medie dell'Artico sono aumentate ad un tasso pari a quasi il doppio di quello globale medio degli ultimi 100 anni. Le temperature artiche hanno un'alta variabilità decennale, e un periodo di riscaldamento è stato osservato anche fra il 1925 e il 1945. {3.2}
- Fin dal 1978 i dati da satellite mostrano che l'estensione annuale media dei ghiacci marini artici si è ridotta del 2.7 [da 2.1 a 3.3] % per decennio, con maggiori diminuzioni durante l'estate del 7.4 [da 5.0 a 9.8] % per decennio. Questi valori sono consistenti con quelli riportati nel TAR. {4.4}
- Nella zona Artica, le temperature alla superficie dello strato di permafrost sono generalmente aumentate a partire dagli anni ottanta (fino a 3 °C). Dal 1900, la massima area coperta stagionalmente da terreno ghiacciato è diminuita di circa il 7% nell'emisfero Nord, con una diminuzione durante la primavera fino al 15%. {4.7}
- Su molte grandi regioni sono stati osservati trend di lungo termine dal 1900 al 2005 delle quantità delle precipitazioni.<sup>11</sup> Sono stati osservati significativi incrementi delle precipitazioni nelle parti orientali del Nord e del Sud America, nel Nord Europa e in Asia settentrionale e centrale. E' stata osservata una tendenza alla siccità nel Sahel, nel Mediterraneo, nell'Africa meridionale e in parti dell'Asia meridionale. Le precipitazioni hanno un'alta variabilità spaziale e temporale, e i dati disponibili in alcune regioni sono limitati. Non sono stati osservati trend di lungo termine per le altre grandi regioni valutate<sup>11</sup>. {3.3, 3.9}
- La diminuzione di salinità degli oceani alle medie e alte latitudini insieme all'aumento della salinità degli oceani alle basse latitudini suggeriscono un cambiamento delle precipitazioni e dell'evaporazione sopra gli oceani. {5.2}
- A partire dagli anni sessanta i venti occidentali alle medie latitudini si sono intensificati in entrambi gli emisferi. {3.5}
- Sono state osservate siccità più lunghe e più intense in aree sempre più estese a partire dagli anni settanta, particolarmente nelle zone tropicali e sub-tropicali. L'aumento di periodi secchi, collegati alle alte temperature e alla diminuzione delle precipitazioni, ha contribuito ai cambiamenti nelle siccità. I cambiamenti della temperatura alla superficie del mare, delle strutture dei venti e la diminuzione del manto nevoso e della copertura nevosa sono anch'essi collegati alle siccità. {3.3}
- La frequenza degli eventi di forte precipitazione è aumentata sopra la maggior parte delle terre emerse, in linea con il riscaldamento e con gli aumenti osservati di vapore acqueo in atmosfera. {3.8, 3.9}
- Negli ultimi 50 anni sono stati osservati ampi cambiamenti delle temperature estreme. Giorni freddi, notti fredde e gelate sono diventati meno frequenti, mentre i giorni caldi, le notti calde e le ondate di calore sono diventate più frequenti (vedi Tabella SPM.2). {3.8}
- Ci sono osservazioni che mostrano un aumento dell'attività dei cicloni tropicali intensi nel Nord Atlantico a partire dal 1970, aumento correlato con un aumento delle temperature superficiali marine tropicali. Ci sono indizi di aumentata attività dei cicloni tropicali intensi anche in altre regioni, per le quali ci sono maggiori questioni di qualità dei dati. La variabilità multi-decennale e la qualità delle misurazioni relative ai cicloni tropicali, effettuate prima delle osservazioni di

<sup>10</sup> I cicloni tropicali comprendono uragani e tifoni.

<sup>11</sup> Le regioni oggetto di valutazione sono quelle trattate nel Capitolo dedicato alle proiezioni regionali del TAR e nel Capitolo 11 di questo Rapporto.

routine da satellite circa nel 1970, rendono più complicata l'identificazione dei trend di lungo termine dell'attività dei cicloni tropicali. Non esiste un trend chiaro del numero di cicloni tropicali in un anno. {3.8}

**Tabella SPM.2.** 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. {Tabelle 3.7, 3.8, 9.4; Sezioni 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9}

Fenomeno <sup>a</sup> 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 <sup>d</sup> 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 <sup>c</sup>	Probabile <sup>d</sup>	Virtualmente certo <sup>d</sup>
Giorni e notti calde: aumento della frequenza e riscaldamento sopra la maggior parte delle terre emerse	Molto probabile <sup>e</sup>	Probabile (notti) <sup>d</sup>	Virtualmente certo <sup>d</sup>
Periodi caldi/ondate di calore: aumento della frequenza sopra la maggior parte delle terre emerse	Probabile	Più probabile che no <sup>f</sup>	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 <sup>f</sup>	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 <sup>f</sup>	Probabile
Eventi estremi di innalzamento del livello del mare (esclusi gli tsunami) <sup>g</sup> : aumento dell'incidenza	Probabile	Più probabile che no <sup>f,h</sup>	Probabile <sup>i</sup>

Note:

(a) Vedi Tabella 3.6 per ulteriori dettagli riguardo le definizioni.

(b) Vedi Tabella TS.4, Box TS.5 e Tabella 9.4.

(c) Diminuzione della frequenza di giorni e notti fredde (i più freddi 10%).

(d) Riscaldamento dei giorni e delle notti più estreme ogni anno.

(e) Aumento della frequenza di giorni e notti calde (i più caldi 10%).

(f) La grandezza dei contributi antropogenici non è stata valutata. L'attribuzione per questi fenomeni è basata sul giudizio degli esperti ("expert judgment") piuttosto che su un formali studi di attribuzione.

(g) Un evento di livello del mare estremamente alto dipende dal livello medio del mare e dai sistemi meteorologici regionali. Qui è definito come il più alto 1% dei valori orari del livello del mare osservato in una stazione per un dato periodo di riferimento.

(h) I cambiamenti degli eventi di livello del mare estremamente alto seguono strettamente i cambiamenti del livello del mare medio. {5.5} E' molto probabile che l'attività antropogenica abbia contribuito all'innalzamento del livello medio del mare. {9.5}

(i) In tutti gli scenari, la proiezione del livello del mare medio globale al 2100 è più alta che nel periodo di riferimento. {10.6} L'effetto dei cambiamenti dei sistemi meteorologici regionali sugli eventi estremi di livello del mare non è stato valutato.

**Per alcune caratteristiche del clima non sono stati osservati cambiamenti. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}**

- Il TAR riportava una diminuzione dell'intervallo delle temperature diurne (Diurnal Temperature Range - DTR), ma i dati disponibili comprendevano solo gli anni dal 1950 al 1993. Osservazioni aggiornate rivelano che il DTR non è cambiato dal 1979 al 2004, poiché le temperature sia diurne che notturne sono aumentate a circa lo stesso tasso. Questi trend sono molto variabili da una regione all'altra. {3.2}
- L'estensione del ghiaccio marino antartico continua a mostrare una variabilità interannuale insieme a variazioni localizzate, ma non trend medi statisticamente significativi, consistentemente con la mancanza di riscaldamento osservata nelle temperature atmosferiche

mediate sulla regione. {3.2, 4.4}

- Non vi sono prove sufficienti per determinare se esistano dei trend nella circolazione generale dell’oceano globale (Meridional Overturning Circulation - MOC) o nei fenomeni su scale minori come i tornado, le grandinate, i fulmini e le tempeste di sabbia. {3.8, 5.3}

## LA PROSPETTIVA PALEOCLIMATICA

*Gli studi paleoclimatici usano le variazioni degli indicatori sensibili ai cambiamenti climatici per cogliere i cambiamenti del clima globale nel passato su scale di tempo che vanno da decine a milioni di anni. Questi dati indiretti (per es. la larghezza degli anelli degli alberi) possono essere influenzati sia dalla temperatura locale, sia da altri fattori come le precipitazioni, e spesso sono rappresentativi di una particolare stagione piuttosto che di anni interi. Gli studi effettuati dopo il TAR hanno aumentato l’affidabilità di questo tipo di misure attraverso dati aggiuntivi che hanno mostrato un comportamento coerente di indicatori multipli in diverse parti del mondo. In ogni caso, le incertezze generalmente aumentano andando indietro nel tempo, a causa di una crescente copertura spaziale limitata.*

**Le informazioni paleoclimatiche supportano l’interpretazione che il riscaldamento dell’ultima metà del secolo sia inusuale almeno rispetto ai precedenti 1300 anni. L’ultima volta che le regioni polari furono significativamente più calde rispetto ad oggi per un lungo periodo di tempo (circa 125000 anni fa), le riduzioni di volume del ghiaccio polare portarono ad un innalzamento del livello del mare da 4 a 6 metri. {6.4, 6.6}**

- Le temperature medie nell’emisfero Nord durante la seconda metà del XX secolo sono state *molto probabilmente* più alte di qualsiasi altro periodo di 50 anni negli ultimi 500 anni e *probabilmente* le più alte almeno negli ultimi 1300 anni. Alcuni studi recenti indicano una maggiore variabilità delle temperature dell’emisfero Nord rispetto a quella indicata nel TAR, in particolare trovando che vi furono periodi più freddi nel XII, XIV, XVII e XIX secolo. I periodi più caldi precedenti il XX secolo sono nell’intervallo di incertezza dato nel TAR. {6.6}
- Il livello del mare medio globale nell’ultimo periodo interglaciale (circa 125000 anni fa) era *probabilmente* da 4 a 6 metri maggiore rispetto a quello del XX secolo, principalmente a causa del ritiro dei ghiacci polari. I dati provenienti dalle carote di ghiaccio indicano che le temperature medie polari in quel periodo erano comprese tra i 3 e i 5 °C in più rispetto al presente, a causa di alcune differenze nell’orbita Terrestre. La calotta glaciale della Groenlandia ed altri ghiacci artici *probabilmente* contribuirono per non più di 4 m all’innalzamento del livello del mare osservato. Ci può anche essere stato un contributo dall’Antartide. {6.4}

## COMPRENDERE E “ATTRIBUIRE” I CAMBIAMENTI CLIMATICI

*Questa valutazione prende in considerazione registrazioni più lunghe e più affidabili, una gamma di osservazioni più estesa e miglioramenti nella simulazione di molti aspetti del clima e della sua variabilità, in base a studi effettuati dopo il TAR. Essa considera, inoltre, i risultati dei nuovi studi di “attribuzione” (“attribution”), che hanno valutato se i cambiamenti osservati siano quantitativamente consistenti con la risposta attesa ai forzanti esterni e inconsistenti con spiegazioni alternative plausibili dal punto di vista fisico.*

**La maggior parte dell'aumento osservato delle temperature medie globali dalla metà del XX secolo, è *molto probabilmente* dovuta all'aumento osservato delle concentrazioni di gas serra di origine antropica<sup>12</sup>. Questo è un risultato nuovo rispetto alle conclusioni del TAR, per il quale “la maggior parte del riscaldamento osservato negli ultimi 50 anni è *probabilmente* dovuto all'aumento osservato delle concentrazioni di gas serra”. Ora evidenti influenze dell'attività umana si estendono anche ad altri aspetti del clima, inclusi il riscaldamento degli oceani, l'aumento delle temperature medie sui continenti, le temperature estreme e le strutture dei venti (vedi Figura SPM.4 e Tabella SPM.2). {9.4, 9.5}**

- E' *probabile* che gli incrementi delle concentrazioni dei gas serra da soli avrebbero potuto causare un riscaldamento maggiore di quello osservato, perché gli aerosol vulcanici ed antropogenici hanno compensato parte del riscaldamento che avrebbe altrimenti avuto luogo. {2.9, 7.5, 9.4}
- Il diffuso riscaldamento dell'atmosfera e degli oceani osservato, insieme alla perdita di masse di ghiaccio, supporta la conclusione che è *estremamente improbabile* che i cambiamenti climatici globali degli ultimi 50 anni possano essere spiegati senza forzanti esterni, ed è *molto probabile* che non siano stati causati solo dalle cause naturali conosciute. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- Il riscaldamento del sistema climatico è stato individuato tramite le variazioni delle temperature alla superficie e in atmosfera, delle temperature delle prime svariate centinaia di metri dell'oceano e tramite i contributi all'innalzamento del livello del mare. Studi di “*attribution*” hanno stabilito i contributi antropogenici a tutte queste variazioni. La struttura osservata del riscaldamento della troposfera e del raffreddamento della stratosfera è *molto probabilmente* dovuta all'influenza combinata dell'aumento dei gas serra e dell'assottigliamento dello strato di ozono stratosferico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- E' *probabile* che vi sia stato un riscaldamento antropogenico significativo durante gli ultimi 50 anni mediando sopra tutti i continenti, fatta eccezione per l'Antartide (vedi Figura SPM.4). Le strutture osservate del riscaldamento, inclusi un maggiore riscaldamento sopra le terre emerse rispetto agli oceani, e le loro modificazioni nel tempo, sono simulate solo attraverso modelli che includono il forzante antropogenico. La capacità dei modelli climatici accoppiati di simulare l'evoluzione osservata della temperatura su ognuno dei sei continenti fornisce prove più forti dell'influenza umana sul clima rispetto a quelle fornite nel TAR. {3.2, 9.4}
- Rimangono ancora alcune difficoltà nel simulare e nell'attribuire in modo affidabile i cambiamenti di temperatura osservati a scale più piccole. A queste scale, la variabilità naturale del clima è relativamente maggiore, rendendo così più difficile distinguere i cambiamenti presumibilmente dovuti ai forzanti esterni. Le incertezze sui forzanti locali e sui feedback rendono inoltre difficile la stima del contributo degli aumenti di gas serra alle variazioni di temperatura osservate su piccole scale spaziali. {8.3, 9.4}
- Il forzante antropogenico ha *probabilmente* contribuito al cambiamento delle strutture dei venti<sup>13</sup>, influenzando le traiettorie delle tempeste extra-tropicali e le strutture della temperatura in entrambi gli emisferi. Tuttavia, i cambiamenti osservati nella circolazione dell'Emisfero Settentrionale sono maggiori rispetto a quelli simulati in risposta alla variazione del forzante del XX secolo. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}
- Le temperature estreme delle notti calde, delle notti fredde e dei giorni freddi sono *probabilmente* aumentati a causa del forzante antropogenico. E' *più probabile che no* che il forzante antropogenico abbia fatto aumentare il rischio di ondate di calore (vedi Tabella SPM.2). {9.4}

<sup>12</sup> Le considerazioni sulle rimanenti incertezze sono basate sulle metodologie attuali.

<sup>13</sup> In particolare, gli *Annular Modes* dell'Emisfero Nord e Sud ed i relativi cambiamenti dell'Oscillazione del Nord-Atlantica. {3.6, 9.5, Box TS.2}

**L'analisi dei modelli climatici vincolati dalle osservazioni permette, per la prima volta, una valutazione del *probabile* range di sensibilità del clima e fornisce una comprensione più affidabile della risposta del sistema climatico al forzante radiativo. {6.6, 8.6, 9.6. Box 10.2}**

- La sensibilità dell'equilibrio del clima è una misura della risposta del sistema clima ad un forzante radiativo costante. Non è una proiezione, ma è definita come il riscaldamento alla superficie medio globale in seguito ad un raddoppiamento delle concentrazioni di anidride carbonica. *Probabilmente* varia in un intervallo che va da 2 a 4.5 °C con miglior stima di circa 3° C, ed è *molto improbabile* che sia minore di 1.5 °C. Non possono essere esclusi valori sostanzialmente più alti di 4.5° C, ma l'accordo tra i modelli e le osservazioni non è altrettanto buona per tali valori. Le variazioni di vapore acqueo rappresentano il maggior feedback che influisce sulla sensibilità del clima e ora sono meglio compresi rispetto al TAR. I feedback delle nuvole costituiscono ancora la maggior fonte di incertezza. {8.6, 9.6, Box 10.2}
- È *molto improbabile* che i cambiamenti climatici avvenuti almeno nei sette secoli precedenti il 1950 siano dovuti alla variabilità generata all'interno del sistema climatico stesso. Una frazione significativa della variabilità della temperatura inter-decennale ricostruita per l'Emisfero Nord per questi secoli è attribuibile *molto probabilmente* alle eruzioni vulcaniche e alle variazioni dell'irradianza solare, ed è *probabile* che il forzante antropogenico abbia contribuito al riscaldamento nella prima parte del XX secolo, evidente in questi record. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

## PROIEZIONI DEI FUTURI CAMBIAMENTI DEL CLIMA

*Un notevole miglioramento nella valutazione delle proiezioni dei cambiamenti climatici, rispetto al TAR, è il grande numero di simulazioni disponibili per un'ampia gamma di modelli. Presi insieme alle ulteriori informazioni provenienti dalle osservazioni, i modelli forniscono una base quantitativa per la stima delle probabilità per molti aspetti dei cambiamenti climatici futuri. Le simulazioni dei modelli coprono una gamma di possibili scenari futuri, che implicano assunzioni teoriche sulle emissioni e sulle concentrazioni. Queste simulazioni comprendono gli scenari di riferimento SRES<sup>14</sup> per il periodo 2000-2100 ed esperimenti modellistici con le concentrazioni di gas serra e aerosol mantenute costanti dopo l'anno 2000 o 2100.*

**Le proiezioni per i prossimi 2 decenni indicano un riscaldamento di circa 0.2 °C per decennio per un range di scenari di emissione SRES. Anche se le concentrazioni di tutti i gas serra e di tutti gli aerosol fossero mantenute costanti ai livelli dell'anno 2000, ci si aspetterebbe un ulteriore riscaldamento di circa 0.1° C per decennio. {10.3, 10.7}**

- Fin dal primo Rapporto dell'IPCC del 1990, le valutazioni delle proiezioni suggerivano aumenti delle temperature medie globali comprese fra 0.15 e 0.3 °C per decennio nel periodo 1990-2005. Ora questi valori possono essere confrontati con quelli osservati, di circa 0.2 °C per decennio, rafforzando la fiducia nelle proiezioni su breve periodo. {1.2, 3.2}
- Gli esperimenti modellistici mostrano che, se anche tutte le cause del forzante radiativo fossero mantenute costanti ai livelli dell'anno 2000, nei prossimi due decenni si verificherebbe un ulteriore trend di riscaldamento di circa 0.1° C per decennio, causato principalmente dalla lenta risposta degli oceani. Se le emissioni risultassero entro il range degli scenari SRES, ci si dovrebbe aspettare un riscaldamento circa doppio di questo (0.2 °C per decennio). La miglior

<sup>14</sup> SRES si riferisce allo *Special Report on Emission Scenarios* dell'IPCC (2000). La famiglia degli scenari e gli scenari illustrativi SRES, che non includono ulteriori iniziative sul clima, sono sintetizzate in una box alla fine di questa Sintesi per i Decisori Politici. Le concentrazioni di CO<sub>2</sub> equivalenti approssimate corrispondenti al forzante radiativo calcolato dovuto ai gas serra e agli aerosol antropogenici nel 2100 (vedi pagina 823 del TAR) per gli scenari illustrativi di riferimento SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 e A1FI sono circa 600, 700, 800, 850, 1250 e 1550 ppm rispettivamente. Gli scenari B1, A1B e A2 sono stati al centro di studi di inter-comparazione di modelli e molti di quei risultati sono valutati in questo Rapporto.

stima delle proiezioni proveniente dai modelli indica che il riscaldamento medio decennale sopra ogni continente abitato nel 2030 è insensibile alla scelta degli diversi scenari SRES, ed è *molto probabile* che tale riscaldamento sia almeno due volte maggiore del suo corrispondente stimato tramite modelli per la variabilità naturale durante il XX secolo. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, Figura TS.29}

**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 durante il XXI secolo; questi cambiamenti *molto probabilmente* potrebbero essere maggiori di quelli osservati durante il XX secolo. {10.3}**

- I progressi fatti nella modellistica dei cambiamenti climatici permettono ora di fornire le miglior stime e gli intervalli di *probabilità* delle incertezze valutati per le proiezioni del riscaldamento per i vari scenari di emissione. In questo Rapporto i risultati provenienti dai diversi scenari di emissione sono forniti esplicitamente, in modo da evitare di perdere informazioni politicamente rilevanti. Le proiezioni del riscaldamento globale medio superficiale per la fine del XXI secolo (2090–2099) rispetto agli anni 1980–1999 sono mostrate nella Tabella SPM.3. Esse illustrano le differenze fra gli scenari di emissione SRES più alti e più bassi e le incertezze relative alle proiezioni del riscaldamento associate a questi scenari. {10.5}
- In questa valutazione sono date le miglior stime e gli intervalli di *probabilità* del riscaldamento medio globale dell'aria alla superficie per i sei scenari di riferimento SRES, che sono mostrate nella Tabella SPM.3. Per esempio, la miglior stima per lo scenario basso (B1) è di 1.8 °C (l'intervallo di *probabilità* va da 1.1° C a 2.9 °C), e la miglior stima per lo scenario alto (A1FI) è di 4.0 °C (l'intervallo di *probabilità* va da 2.4 °C a 6.4 °C). Sebbene queste proiezioni siano largamente consistenti con quanto riportato nel TAR (da 1.4 °C a 5.8 °C), esse non sono direttamente confrontabili (vedi Figura SPM.5). Il Rapporto AR4 è più avanzato poiché fornisce le miglior stime e un intervallo di *probabilità* valutato per ogni scenario di riferimento. La nuova valutazione degli intervalli di *probabilità* si basa ora su un maggior numero di modelli climatici di crescente complessità e realismo, ed anche su nuove informazioni relative ai feedback del ciclo del carbonio ed ai vincoli sulla risposta del clima provenienti dalle osservazioni.
- Il riscaldamento tende a ridurre l'assorbimento di anidride carbonica atmosferica della terra e degli oceani, aumentando la frazione di emissioni antropogeniche che rimangono in atmosfera. Nel caso dello scenario A2, per esempio, il feedback clima-ciclo del carbonio fa aumentare il corrispondente riscaldamento globale medio al 2100 di più di 1 °C. Gli intervalli superiori valutati per le proiezioni di temperatura sono maggiori di quelli del TAR (vedi Tabella SPM.3), principalmente poiché la più ampia gamma ed il maggior numero di modelli ora disponibili suggeriscono feedback clima-ciclo del carbonio più forti. {7.3, 10.5}
- Le proiezioni, basate sui modelli, di innalzamento del livello del mare medio globale per la fine del XXI secolo (2090-2099) sono mostrate in Tabella SPM.3. Per ogni scenario, il punto centrale dell'intervallo nella Tabella SPM.3 si trova entro il 10% della media dei modelli del TAR per il periodo 2090-2099. Gli intervalli sono più stretti che nel TAR, principalmente per via di migliori informazioni su alcune incertezze relative alle proiezioni dei vari contributi.<sup>15</sup> {10.6}
- I modelli attuali non includono le incertezze del feedback clima-ciclo del carbonio e nemmeno la totalità degli effetti dei cambiamenti di flusso delle calotte di ghiaccio, a causa della mancanza in letteratura di informazioni di base. Le proiezioni includono un contributo dovuto all'aumento del flusso di ghiaccio dalla Groenlandia e dall'Antartide ai tassi osservati fra il

<sup>15</sup> Le proiezioni del TAR erano state fatte per il 2100, mentre le proiezioni in questo Rapporto sono state fatte per il 2090-2099. Il TAR avrebbe dovuto avere intervalli simili a quelli della Tabella SPM.3 se avesse trattato le incertezze nella stessa maniera.

1993 e il 2003, ma questi tassi di flusso potrebbero aumentare o diminuire in futuro. Per esempio, se questo contributo dovesse crescere linearmente con la variazione di temperatura media globale, gli intervalli superiori dell'innalzamento del livello del mare per gli scenari SRES mostrati in tabella SPM.3 aumenterebbero da 0.1 m a 0.2 m. Non si possono escludere valori maggiori, ma la comprensione di questi effetti è troppo limitata per valutare la loro probabilità, o fornire una miglior stima o un limite massimo per l'innalzamento del livello del mare. {10.6}

**Tabella SPM.3.** Proiezioni del riscaldamento medio globale alla superficie e dell'innalzamento del livello del mare medio globale per la fine del XXI secolo. {10.5, 10.6, Tabella 10.7}

Caso	Variazione di Temperatura (°C al 2090-2099 rispetto al 1980-1999) <sup>a</sup>		Innalzamento del Livello del Mare (m al 2090-2099 rispetto al 1980-1999) Intervallo basato sui modelli escludendo futuri cambiamenti dinamici rapidi del flusso di ghiaccio
	Miglior stima	Intervallo di probabilità	
Concentrazioni costanti per l'anno 2000 <sup>b</sup>	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

Note:

<sup>a</sup> Queste stime provengono dalla valutazione di una gerarchia di modelli che comprendono un modello climatico base, parecchi modelli del Sistema Terra di intermedia complessità e un gran numero di modelli di Circolazione Generale Oceano-Atmosfera (AOGCM).

<sup>b</sup> La composizione costante per l'anno 2000 proviene solo da modelli AOGCM.

- L'aumento delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica porta ad un aumento dell'acidificazione degli oceani. Le proiezioni, basate sugli scenari SRES, indicano una riduzione media globale del pH<sup>16</sup> superficiale degli oceani compresa fra 0.14 e 0.35 unità per il XXI secolo, che va ad aggiungersi alla riduzione attuale di 0.1 unità dal periodo pre-industriale. {5.4, Box 7.3, 10.4}

**Vi è attualmente una più *alta confidenza* nelle proiezioni della distribuzione futura del riscaldamento e di altre caratteristiche a scala regionale, comprese le variazioni della struttura dei venti, delle precipitazioni e di alcuni aspetti degli eventi estremi e del ghiaccio. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}**

- Le proiezioni del riscaldamento nel XXI secolo mostrano schemi geografici, indipendenti dagli scenari, simili a quelli osservati durante diversi decenni in passato. Ci si aspetta che il riscaldamento sia maggiore sopra le terre e alle più alte latitudini settentrionali, e minimo sopra l'Oceano Meridionale ed alcune parti dell'Oceano Nord Atlantico (vedi Figura SPM.6). {10.3}
- Le proiezioni indicano una diminuzione della copertura nevosa. Le proiezioni indicano inoltre diffusi aumenti della profondità di disgelo nella maggior parte delle zone di permafrost. {10.3, 10.6}
- Secondo le proiezioni, il ghiaccio marino tenderà a ridursi sia nelle zone artiche che antartiche per tutti gli scenari SRES. In alcune proiezioni, il ghiaccio marino artico durante la tarda estate sparse quasi completamente verso la fine del XXI secolo. {10.3}
- È *molto probabile* che eventi di estremo caldo, ondate di calore e forti precipitazioni continueranno a diventare più frequenti. {10.3}

<sup>16</sup> Le diminuzioni del pH corrispondono ad aumenti dell'acidità di una soluzione. Si veda il Glossario per ulteriori dettagli.

- In base ad una vasta gamma di modelli, è *probabile* che i futuri cicloni tropicali (tifoni e uragani) diventeranno più intensi, con punte della velocità del vento in aumento e precipitazioni più forti associate ad un continuo incremento delle temperature marine superficiali dei tropici. Si ritengono meno affidabili le proiezioni che riguardano una diminuzione del numero di cicloni tropicali a livello globale. L'apparente aumento della proporzione di cicloni tropicali molto intensi a partire dal 1970 in alcune regioni è molto maggiore di quanto simulato dai modelli attuali per lo stesso periodo. {9.5, 10.3, 3.8}
- Le proiezioni mostrano come le traiettorie dei cicloni extra-tropicali si spostino verso i poli, con conseguenti variazioni delle strutture dei venti, delle precipitazioni e delle temperature, continuando lo schema generale dei trend osservati durante l'ultima metà del secolo. {3.6, 10.3}
- Rispetto al TAR si rileva un miglioramento nella comprensione delle proiezioni delle strutture delle precipitazioni. Alle alte latitudini sono *molto probabili* aumenti delle quantità di precipitazione, mentre sulla maggior parte delle terre nelle regioni subtropicali sono *probabili* delle diminuzioni (fino a circa il 20% per lo scenario A1B nel 2100, vedi Figura SPM.7), confermando gli schemi osservati nei trend recenti. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2-11.9}
- In base alle attuali simulazioni da modelli, è *molto probabile* che la circolazione generale (MOC) dell'Oceano Atlantico rallenterà durante il XXI secolo. Il rallentamento, calcolato come media di più modelli, è del 25% al 2100 (con un intervallo che va da 0 al 50%) per lo scenario di emissione SRES A1B. Le proiezioni di temperatura nella regione Atlantica, tuttavia, indicano un aumento, dovuto al riscaldamento molto maggiore associato alle proiezioni degli aumenti dei gas serra. E' *molto improbabile* che la MOC subisca un brusco cambiamento durante il XXI secolo. Cambiamenti della MOC nel lungo termine non possono essere quantificati con affidabilità. {10.3, 10.7}

**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. {10.4, 10.5, 10.7}**

- Mentre il sistema climatico si riscalda, ci si aspetta che l'accoppiamento clima-ciclo del carbonio vada ad aggiungere anidride carbonica in atmosfera, ma la grandezza di questo feedback è ancora incerta. Ciò aumenta l'incertezza relativa alla traiettoria delle emissioni di anidride carbonica richiesta per raggiungere un particolare livello di stabilizzazione della concentrazione atmosferica di anidride carbonica. In base all'attuale livello di comprensione del feedback clima-ciclo del carbonio, gli studi modellistici suggeriscono che stabilizzare l'anidride carbonica a 450 ppm potrebbe richiedere che le emissioni totali per il XXI secolo vengano ridotte da una media di approssimativamente 670 [da 630 a 710] GtC (2460 [da 2310 a 2600] GtCO<sub>2</sub>) ad approssimativamente 490 [da 375 a 600] GtC (1800 [da 1370 a 2200] GtCO<sub>2</sub>). Analogamente, per stabilizzare a 1000 ppm, questo feedback potrebbe richiedere che le emissioni totali vengano ridotte da una media da modelli di circa 1415 [da 1340 a 1490] GtC (5190 [da 4910 a 5460] GtCO<sub>2</sub>) a circa 1100 [da 980 a 1250] GtC (4030 [da 3590 a 4580] GtCO<sub>2</sub>). {7.3, 10.4}
- Se il forzante radiativo venisse stabilizzato nel 2100 ai livelli<sup>14</sup> B1 o A1B, ci sarebbe comunque un ulteriore aumento della temperatura media globale di circa 0.5 °C, principalmente nel 2200. {10.7}
- Se il forzante radiativo venisse stabilizzato nel 2100 ai livelli<sup>14</sup> A1B, l'espansione termica da sola porterebbe ad un innalzamento del livello del mare da 0.3 a 0.8 m nel 2300 (rispetto al periodo 1980-1999). L'espansione termica continuerebbe per molti secoli, a causa del tempo richiesto per il trasporto di calore nelle profondità degli oceani. {10.7}

- Le proiezioni indicano che la riduzione delle calotte glaciali della Groenlandia continuerà a contribuire al sollevamento del livello dal mare dopo il 2100. I modelli attuali suggeriscono che le perdite di massa di ghiaccio aumentano con la temperatura più rapidamente degli incrementi della massa di ghiaccio per via delle precipitazioni, e che il bilancio di massa alla superficie diventa negativo nel caso di un riscaldamento medio globale superiore a 1.9 - 4.6 °C (rispetto ai valori pre-industriali). Se un bilancio di massa negativo alla superficie fosse mantenuto per millenni, questo porterebbe virtualmente alla completa eliminazione delle calotte di ghiaccio della Groenlandia, e come risultato si avrebbe un aumento del livello del mare di circa 7 m. Le corrispondenti temperature future in Groenlandia sono confrontabili con quelle ipotizzate per l'ultimo periodo interglaciale, 125000 anni fa, quando, secondo le informazioni paleoclimatiche, ci fu una riduzione dell'estensione dei ghiacci polari terrestri ed un innalzamento del livello dal mare da 4 a 6 m. {6.4, 10.7}
- I processi dinamici relativi ai flussi di ghiaccio non sono stati ancora inseriti nei modelli attuali, ma potrebbero aumentare la vulnerabilità delle calotte di ghiaccio al riscaldamento, come suggerito da alcune recenti osservazioni, facendo così aumentare il futuro innalzamento del livello del mare. La comprensione di questi processi è limitata e non c'è accordo sulla loro entità. {4.6, 10.7}
- Le proiezioni derivanti da studi fatti dai modelli globali attuali indicano che la calotta glaciale Antartica rimarrà troppo fredda per permettere un ampio scioglimento superficiale e aumenterà la propria massa per via di un aumento delle precipitazioni nevose. Comunque, potrebbe verificarsi una perdita netta di massa di ghiaccio se i meccanismi di scarico dinamico del ghiaccio dovessero dominare il bilancio di massa della calotta glaciale. {10.7}
- Le emissioni antropogeniche di anidride carbonica passate e future continueranno a contribuire al riscaldamento ed al sollevamento del livello del mare per più di un millennio, a causa delle scale temporali richieste per la rimozione di questi gas dall'atmosfera. {7.3, 10.3}

### Gli Scenari di Emissione dell'IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES)<sup>17</sup>

**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 rispetto alle altre trame.

**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.

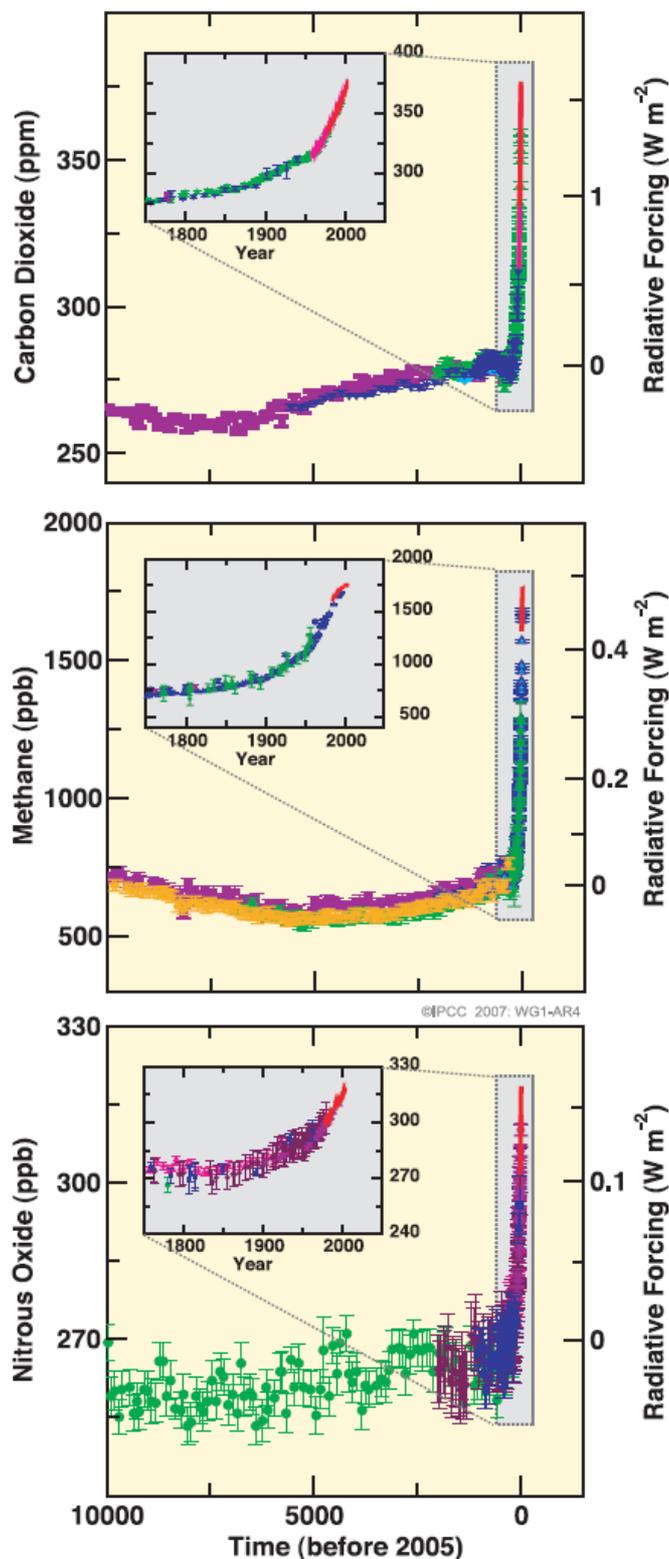
**B2.** La famiglia di scenari B2 descrive un mondo in cui l'enfasi è sulle soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale ed ambientale. E' un mondo in cui la popolazione globale cresce continuamente, ad un tasso minore della famiglia A2, con livelli intermedi di sviluppo economico e cambiamenti 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.

Per ognuno dei sei gruppi di scenari **A1B**, **A1FI**, **A1T**, **A2**, **B1** e **B2** è stato scelto uno scenario illustrativo. Essi dovrebbero essere considerati tutti ugualmente plausibili.

Gli scenari SRES non includono ulteriori iniziative climatiche, il che significa che nessuno scenario include gli effetti dell'implementazione della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite per i Cambiamenti Climatici (UNFCCC) o degli obiettivi di emissione del Protocollo di Kyoto.

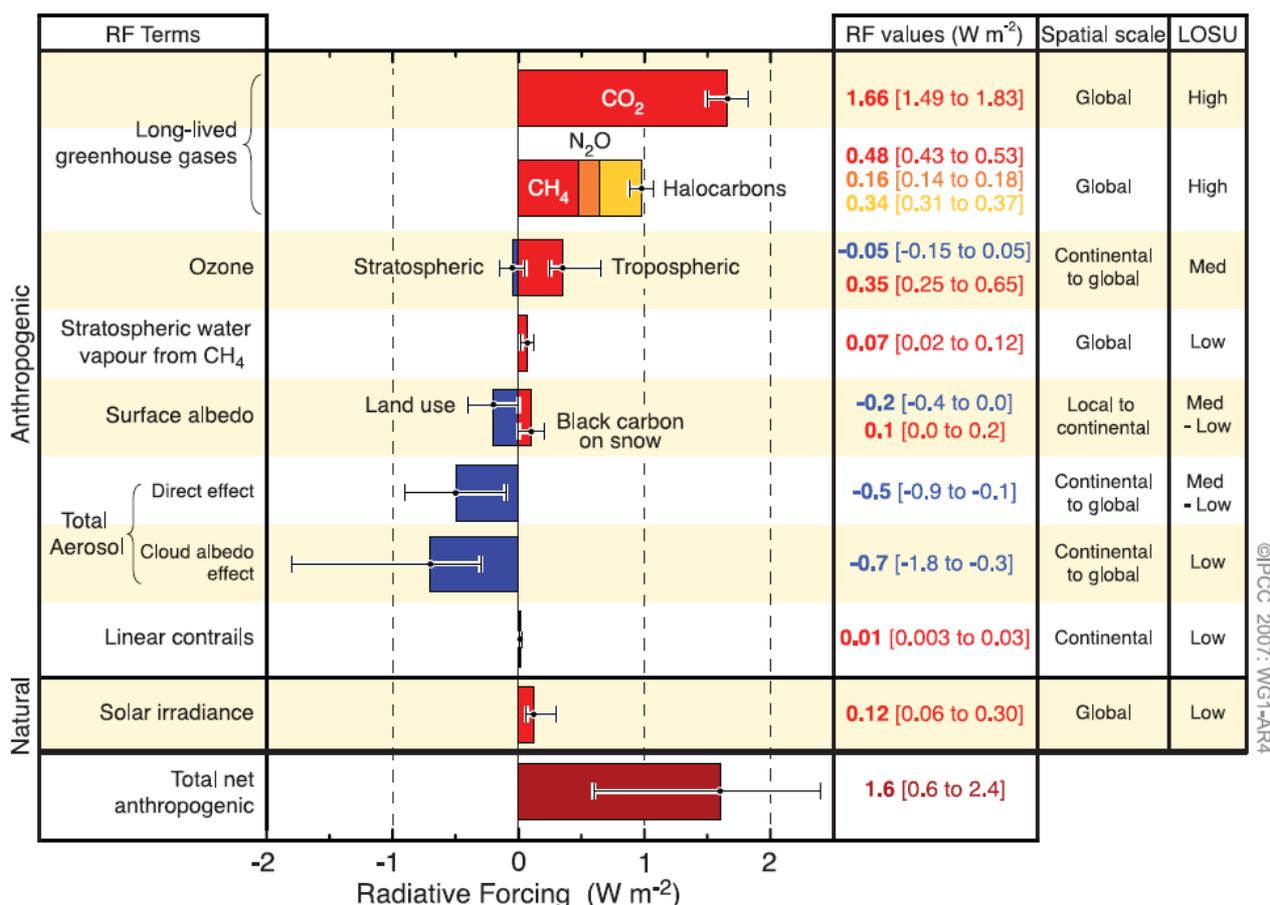
<sup>17</sup> Gli scenari di emissione non sono compresi in questo Rapporto di Lavoro I dell'IPCC. Questa box, che riassume gli scenari SRES, è stata presa dal TAR, previa approvazione linea per linea da parte dell'IPCC.

### Variazioni dei gas serra da carote di ghiaccio e dati moderni



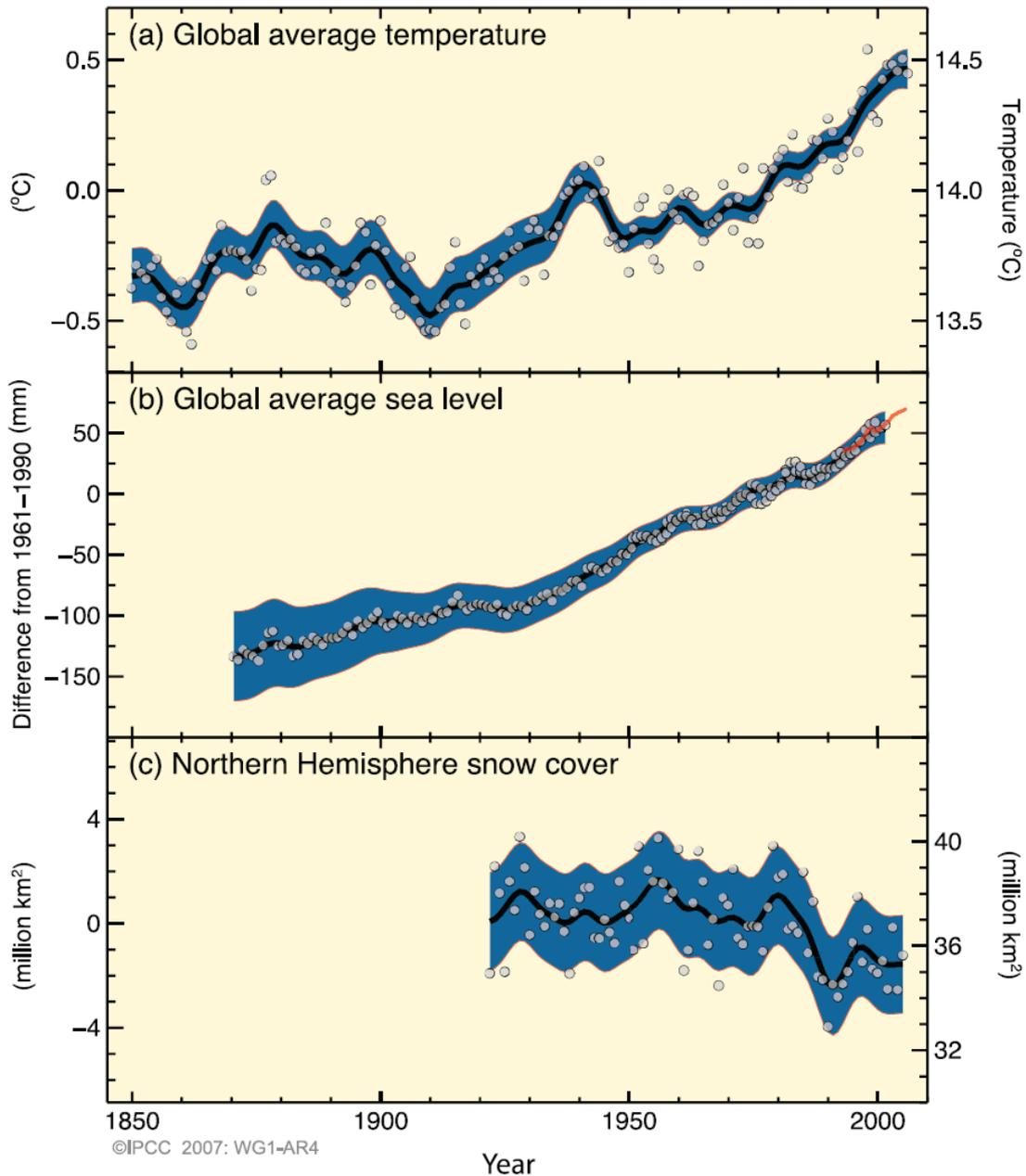
**FIGURA SPM.1.** Concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica, metano e protossido di azoto degli ultimi 10,000 anni (pannelli grandi) e dal 1750 (pannelli interni piccoli). Le misure provengono da carote di ghiaccio (i simboli con colori differenti si riferiscono a studi diversi) e campioni atmosferici (linee rosse). I corrispondenti forzanti radiativi sono mostrati sull'asse destro dei pannelli grandi. {Figura 6.4}

### Componenti del forzante radiativo



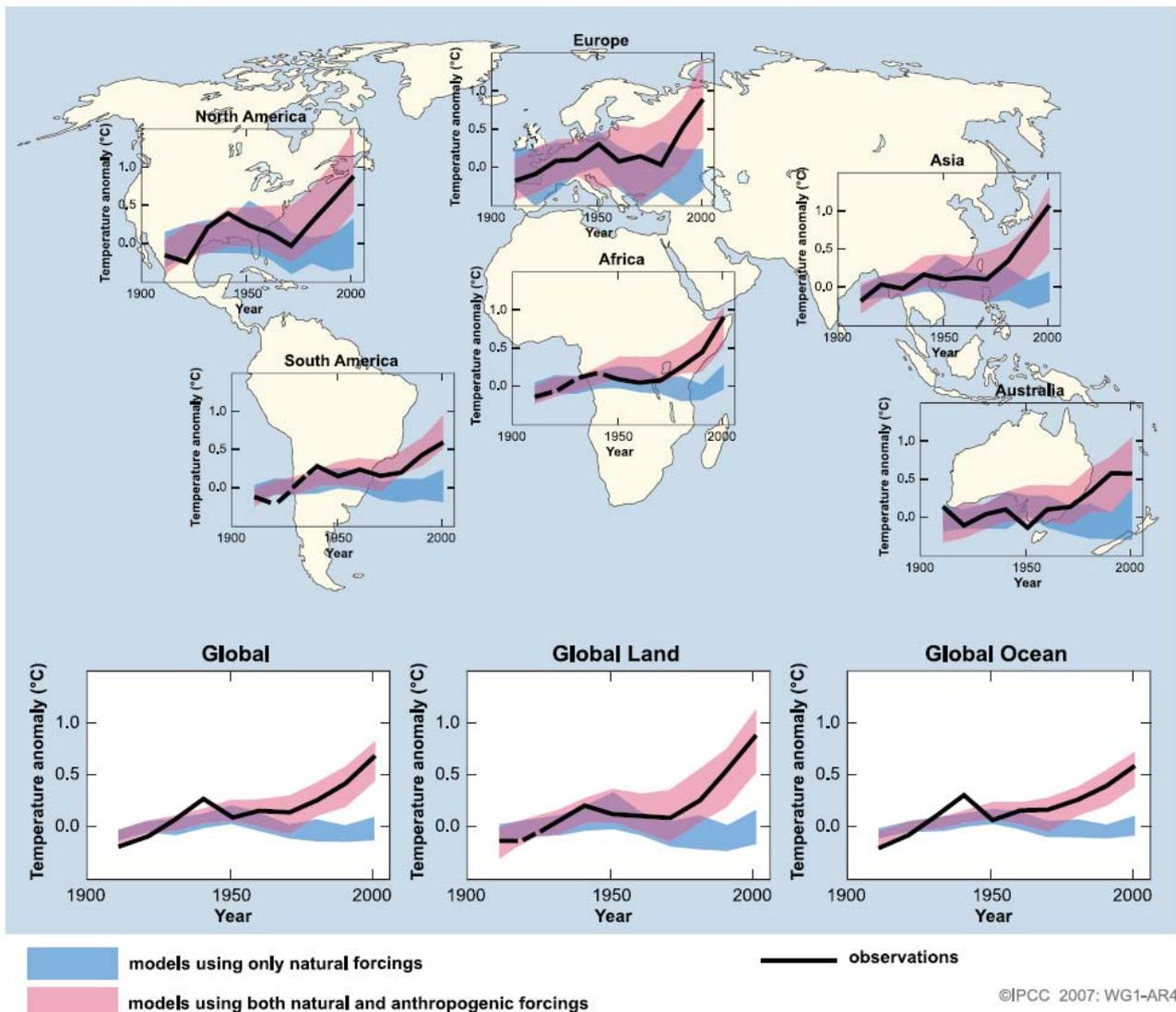
**FIGURA SPM.2.** Stime e intervalli del flusso radiativo (RF) medio globale nel 2005 per l'anidride carbonica ( $CO_2$ ), il metano ( $CH_4$ ), il protossido di azoto ( $N_2O$ ) ed altri importanti agenti e meccanismi antropogenici, insieme con la tipica estensione geografica (scala spaziale) del forzante ed il livello di comprensione scientifica valutato ("Level Of Scientific Understanding" - LOSU). Sono mostrati anche il forzante radiativo antropogenico netto ed il suo intervallo. Questi richiedono la stima asimmetrica della somma delle incertezze dei termini componenti e non possono essere ottenuti per semplice addizione. Si ritiene che i fattori addizionali di forzante non inclusi in figura abbiano un LOSU molto basso. Gli aerosol dei vulcani costituiscono un contributo aggiuntivo al forzante naturale, ma non sono inclusi in questa figura per via della loro natura episodica. L'intervallo della condensazione del vapore acqueo causata dagli aerei non comprende altri possibili effetti dell'aviazione civile sulla nuvolosità. {2.9, Figura 2.20}

### Variazioni della temperatura, del livello del mare e della copertura nevosa dell'Emisfero Nord



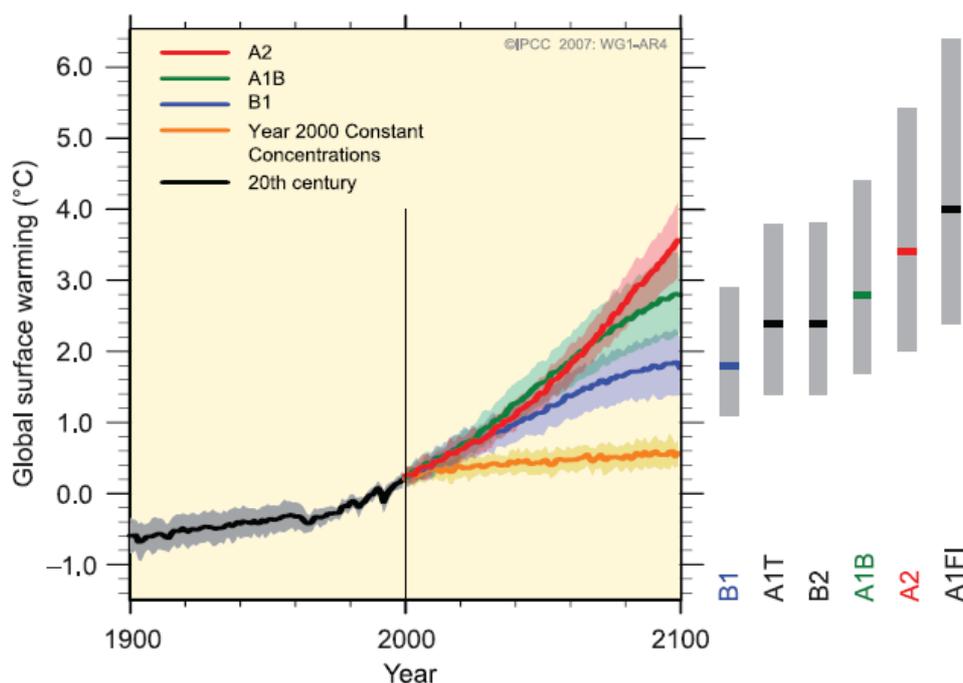
**FIGURA SPM.3.** Cambiamenti osservati di a) temperatura media globale alla superficie, (b) livello del mare medio globale da mareografi (blu) e da dati da satellite (rosso) e (c) copertura nevosa dell'emisfero Nord fra Marzo e Aprile. Tutti i cambiamenti sono relativi alle corrispondenti medie per il periodo 1961-1990. Le curve smussate rappresentano i valori medi decennali mentre i cerchi mostrano i valori annuali. Le aree ombreggiate sono gli intervalli di incertezza stimati attraverso un'analisi dettagliata delle incertezze conosciute (a e b) e in base alle serie temporali (c). {FAQ 3.1, Figura 1, Figura 4.2, Figura 5.13}

## Variatione della temperatura su scala globale e continentale



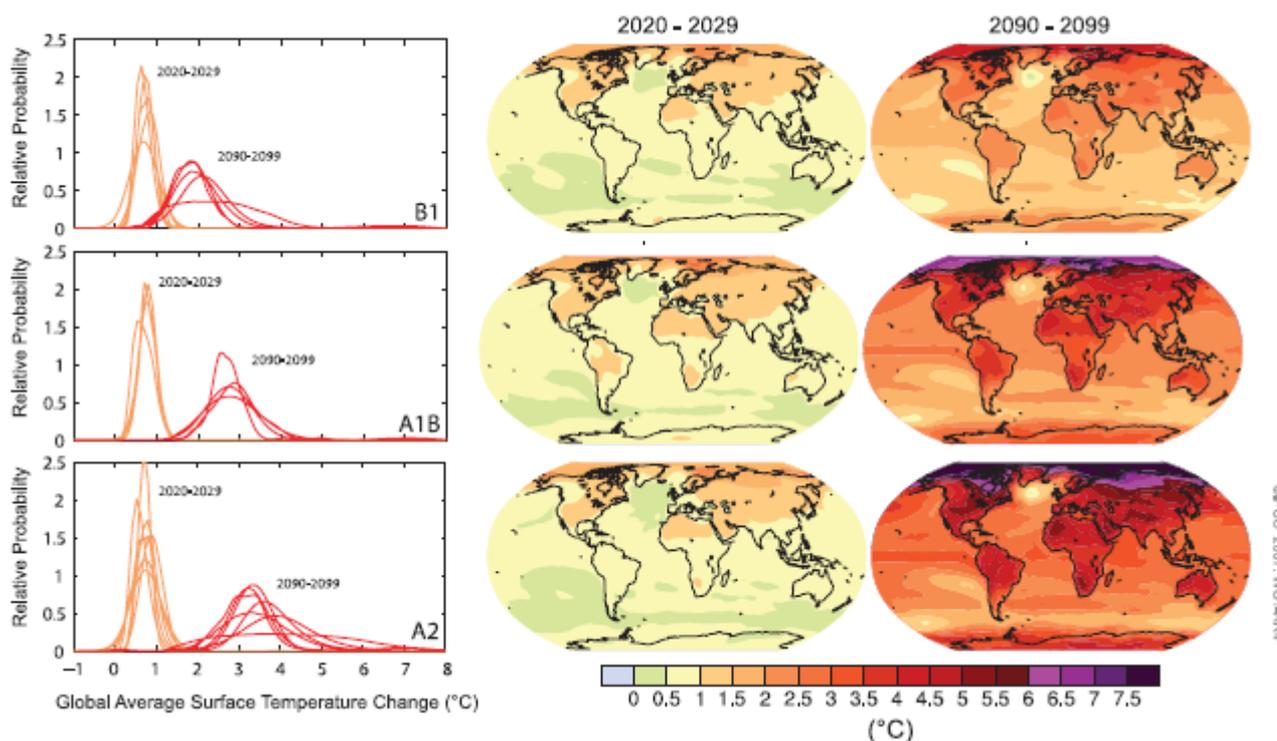
**FIGURA SPM.4.** Confronto delle variazioni della temperatura alla superficie su scala continentale e globale osservati con quelle risultanti dalle simulazioni effettuate con i modelli climatici usando forzanti naturali e antropogenici. Le medie decennali delle osservazioni sono mostrate per il periodo 1906-2005 (linea nera), raffigurate rispetto al centro del decennio e relative alla corrispondente media per il periodo 1901-1950. Le linee sono tratteggiate dove la copertura spaziale è minore del 50%. Le bande ombreggiate in blu mostrano l'intervallo dal 5 al 95% per 19 simulazioni di 5 modelli climatici che usano solo i forzanti naturali dovuti all'attività solare e ai vulcani. Le bande ombreggiate in rosso mostrano l'intervallo dal 5 al 95% per 58 simulazioni di 14 modelli climatici che usano sia i forzanti naturali sia quelli antropogenici. {FAQ 9.2, Figura 1}

## Medie di più modelli e intervalli valutati per il riscaldamento superficiale



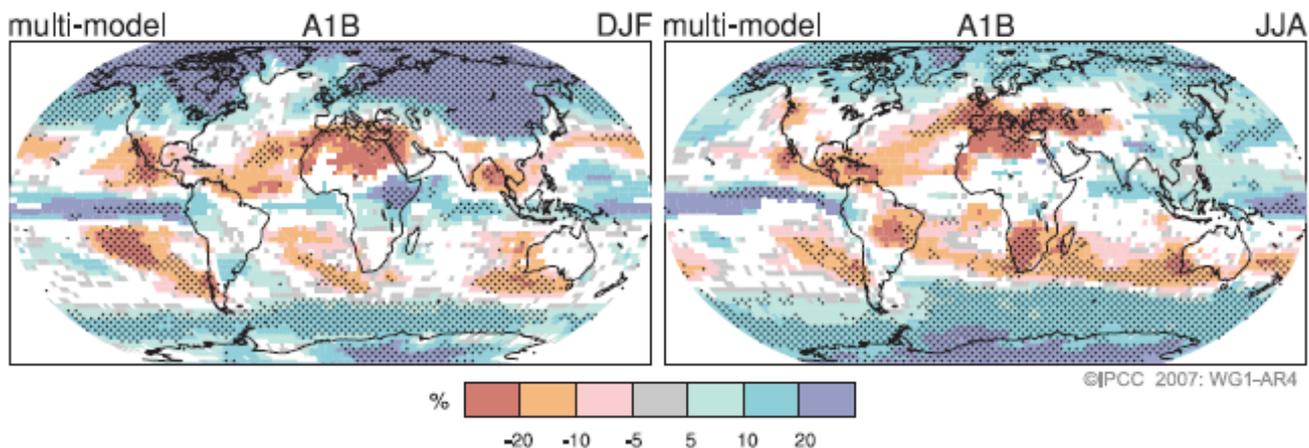
**Figure SPM-5.** Le linee spesse sono le medie globali di più modelli del riscaldamento della superficie (rispetto al periodo 1980-1999) per gli scenari A2, A1B e B1, mostrati come la continuazione delle simulazioni per il XX secolo. Le aree ombreggiate indicano l'intervallo di più o meno una deviazione standard delle medie annuali di ogni singolo modello. La linea arancione si riferisce all'esperimento in cui le concentrazioni sono mantenute costanti ai valori dell'anno 2000. Le barre grigie a destra indicano la miglior stima (linea solida all'interno di ciascuna barra) e l'intervallo di **probabilità** valutato per i sei scenari di riferimento SRES. La valutazione della miglior stima e dell'intervallo di **probabilità** nelle barre grigie include sia gli AOGCM della parte sinistra della figura, sia i risultati provenienti da una gerarchia di modelli indipendenti e da vincoli osservativi. {Figure 10.4 e 10.29}

### Proiezioni delle temperature superficiali



**FIGURA SPM.6.** Proiezioni delle variazioni di temperatura alla superficie per l'inizio e la fine del XXI secolo rispetto al periodo 1980-1999. I pannelli centrali e quelli di destra mostrano le proiezioni medie di più modelli AOGCM per gli scenari SRES B1 (in alto), A1B (nel mezzo) e A2 (in basso) mediati su un periodo di dieci anni dal 2020 al 2029 (centro) e dal 2090 al 2099 (destra). I pannelli di sinistra mostrano le corrispondenti incertezze come le probabilità relative del riscaldamento medio globale stimato da numerosi modelli AOGCM diversi e modelli del Sistema Terra di Intermedia Complessità per gli stessi periodi. Alcuni studi forniscono risultati solo per un sottoinsieme degli scenari SRES, o per varie versioni dei modelli. Perciò la differenza nel numero di curve, mostrata nei pannelli di sinistra, è dovuta solamente a differenze nella disponibilità dei risultati. {Figure 10.8 e 10.28}

### Proiezioni dei pattern di variazione delle precipitazioni



**FIGURA SPM.7.** Variazioni relative delle precipitazioni (in percentuale) per il periodo 2090-2099, rispetto al periodo 1980-1999. I valori sono le medie di più modelli basati sullo scenario SRES A1B da Dicembre a Febbraio (sinistra) e da Giugno ad Agosto (destra). Le aree bianche indicano dove meno del 66% dei modelli concordano nel segno della variazione, e le aree punteggiate indicano dove più del 90% dei modelli concordano sul segno della variazione. {Figura 10.9}