Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

CAMBIAMENTO CLIMATICO 2007: I PRINCIPI FISICI DI BASE. SINTESI PER I POLICYMAKERS*

Introduzione

Il contributo del Gruppo di lavoro I al "Quarto rapporto di valutazione" dell'IPCC descrive i progressi compiuti nella comprensione dei contributi antropici e naturali ai cambiamenti climatici[1], dei cambiamenti climatici osservati, dei processi climatici e delle loro relazioni di causa/effetto e delle stime dei cambiamenti climatici previsti per il futuro.
Esso si basa sulle valutazioni precedenti dell'IPCC e incorpora i nuovi risultati emersi dagli ultimi sei anni di ricerche. Il progresso scientifico verificatosi a partire dal Terzo rapporto di valutazione ("Third Assessment Report" - TAR) si basa su grandi quantità di nuovi dati più completi, su analisi più sofisticate dei dati, su una migliore conoscenza dei processi e della loro simulazione mediante modelli, nonché su una più ampia esplorazione degli intervalli di incertezza.
I paragrafi evidenziati in grassetto nella presente Sintesi per i Policymakers fanno riferimento alle sezioni dei capitoli indicate tra parentesi graffe.

Contribuiti antropici e naturali ai cambiamenti climatici

Le variazioni nelle quantitià di gas a effetto serra e di aerosol, nell'atmosfera, della radiazione solare e delle proprietà della superficie del suolo modificano il bilancio energetico del sistema climatico.
Tali variazioni vengono espresse in termini di forzante radiativo[2], un parametro utilizzato per confrontare in quale modo una serie di fattori antropici e naturali induca il riscaldamento o il raffreddamento del clima a livello globale.
Dal momento del Terzo rapporto di valutazione (TAR), nuove osservazioni dei gas a effetto serra, dell'attività solare, delle proprietà della superficie del suolo e di alcuni aspetti degli aerosol, nonché la relativa modellistica, hanno contribuito al miglioramento delle stime quantitative del forzante radiativo.

La concentrazione atmosferica globale di biossido di carbonio, metano e monossido di azoto è aumentata nettamente a seguito delle attività antropiche a partire dal 1750, ed è ormai ampiamente superiore ai valori pre-industriali determinati mediante carote di ghiaccio dove sono conservate le informazioni di molte migliaia di anni (vedere la figura SPM-1). L'incremento globale della concentrazione del biossido di carbonio è dovuto principalmente all'uso dei combustibili fossili e alle variazioni nell'utilizzo dei terreni, mentre quello del metano e del monossido di azoto è dovuto in primo luogo all'agricoltura. {2.3, 6.4, 7.3}

- Il biossido di carbonio è il più importante gas a effetto serra antropogenico (vedere la figura SPM-2). La concentrazione atmosferica globale del biossido di carbonio è aumentata, passando da un valore pre-industriale di circa 280 ppm a 379 ppm[3] nel 2005. La concentrazione atmosferica del biossido di carbonio nel 2005 è nettamente superiore al range naturale dei valori durante gli ultimi 650.000 anni (180 - 300 ppm), determinati a partire dalle carote di ghiaccio. Negli ultimi 10 anni, il tasso annuo di crescita della concentrazione del biossido di carbonio (media nel periodo 1995 – 2005: 1,9 ppm all'anno) è risultato il più elevato dall'inizio delle misurazioni atmosferiche "in continuo" (media nel periodo 1960 – 2005: 1,4 ppm all'anno), benché si rilevi una variabilità dei tassi di crescita da un anno all'altro. {2.3, 7.3}
- La fonte principale della maggiore concentrazione atmosferica del biossido di carbonio rispetto ai valori del periodo pre-industriale risiede nell'uso dei combustibili fossili, mentre le variazioni di utilizzo dei terreni costituiscono un altro contributo di rilievo ma più limitato. Le emissioni annue di biossido di carbonio di origine fossile[4] sono aumentate, passando da una media di 6,4 [6,0 - 6,8][5] GtC (23,5 [22,0 - 25,0] $GtCO_2$) all'anno negli anni '90, a 7,2 [6,9 - 7,5] GtC (26,4 [25,3 - 27,5] $GtCO_2$) all'anno nel periodo 2000–2005 (i dati relativi al 2004 e al 2005 sono stime provvisorie). Si stima che le emissioni di biossido di carbonio associate alle variazioni di utilizzo dei terreni siano state pari a 1,6 [0,5 - 2,7] GtC (5,9 [1,8 - 9,9] $GtCO_2$) all'anno negli anni '90, benché tali stime presentino una notevole incertezza. {7.3}
- La concentrazione globale del metano è aumentata dal valore pre-industriale di circa 715 ppb a 1.732 ppb nei primi anni '90 e a 1.774 ppb nel 2005. La concentrazione atmosferica del metano nel 2005 è largamente superiore all'intervallo dei valori naturali degli ultimi 650.000 anni (320 - 790 ppb) come risulta dalle carote di ghiaccio. I tassi di crescita si sono ridotti a partire dai primi anni '90 in misura coerente con il fatto che le emissioni totali (date dalla somma delle sorgenti antropogeniche e naturali) sono rimaste quasi costanti nel corso di tale periodo. È *molto probabile*[6] che l'aumento osservato della concentrazione del metano sia dovuto alle attività antropogeniche, prevalentemente l'agricoltura e l'uso dei combustibili fossili, ma il peso relativo dei contributi da differenti sorgenti non è determinato con precisione. {2.3, 7.4}
- La concentrazione atmosferica globale del monossido di azoto è aumentata dal valore pre-industriale di circa 270 ppb a 319 ppb nel 2005. Il tasso di crescita è rimasto approssimativamente costante a partire dal 1980. Oltre un terzo di tutte le emissioni di monossido di azoto è di origine antropogenica, ed è principalmente dovuto all'agricoltura. {2.3, 7.4}

La conoscenza degli effetti dell'attività dell'uomo nel riscaldamento e nel raffreddamento del clima è migliorata dal momento della pubblicazione del Terzo rapporto di valutazione (TAR), dando origine a una *confidenza molto alta*[7] circa il fatto che a par-

[n.d.r.] L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) è stato istituito nel 1988 dalle Nazioni Unite (con la World Meteorological Organization - WMO - e lo United Nations Environment Programme – UNEP). La principale funzione dell'IPCC è quella di elaborare una valutazione oggettiva e trasparente delle informazioni tecnico-scientifiche e socio-economiche utili per la comprensione dei cambiamenti climatici e delle loro prevedibili conseguenze, oltre che per l'individuazione delle possibili risposte e delle conseguenti decisioni in termini di adattamento e di mitigazione.
Dal punto di vista organizzativo, l'IPCC è articolato nei seguenti Working Group (WG):
- WGI, che si interessa specificamente del clima, considerando in particolare i cambiamenti in atto e quelli ipotizzabili per il futuro;
- WGII, che si occupa degli impatti dei cambiamenti climatici, anche in rapporto alla vulnerabilità dei sistemi naturali ed umani e alle possibili modalità di adattamento;
- WGIII, che si interessa delle misure di mitigazione rispetto ai cambiamenti climatici, soprattutto in riferimento alla riduzione delle emissioni dei cosiddetti gas a effetto serra (anidride carbonica, metano e monossido d'azoto).

Inoltre, nell'ambito dell'IPCC è istituita anche una Task Force sugli Inventari Nazionali dei "gas serra".
l'IPCC presenta periodicamente una rassegna e una valutazione sullo stato delle conoscenze sui cambiamenti del clima. Finora sono stati presentati tre Rapporti (Assessment Report): il "First Assessment Report" (1990); il "Second Assessment Report" (1995) e il "Third Assessment Report" (2001).
Attualmente è in fase di elaborazione il quarto Rapporto che è suddiviso, in funzione dei diversi gruppi di lavoro, in tre specifici rapporti oltre che in una Sintesi generale.
Recentemente sono stati completati i rapporti del WGI e del WGII, mentre quello del WGIII e la Sintesi generale saranno conclusi rispettivamente nei mesi di

maggio e di novembre.
In queste pagine sono pubblicate la traduzione integrale in italiano (curata da questa redazione) e la versione in lingua originale della sintesi del Rapporto del WGI ("Summary for Policymakers") che è stata presentata e approvata al termine della Decima Sessione dello stesso gruppo di lavoro, tenutasi a Parigi dal 29 gennaio al 1 febbraio 2007. I punti principali del "Summary for Policymakers", che tiene conto delle ricerche pregresse e dei risultati scientifici degli ultimi sei anni in materia di cambiamenti climatici, mettono in evidenza che il riscaldamento del clima risulta un processo ormai inequivocabile; che, a partire dalla metà del XVIII secolo, le attività dell'uomo hanno contribuito a tale riscaldamento; che, con una probabilità compresa tra il 90% e il 95%, l'incremento della concentrazione nell'atmosfera dei "gas serra" è la causa dell'aumento della temperatura media globale registrata dalla seconda metà del XX secolo a oggi; che entro il 2100, la temperatura dell'atmosfera potrebbe subire un aumento compreso tra 1,1 °C e 6,4 °C (a seconda degli scenari di emissione dell'anidride carbonica utilizzati); che a causa dello scioglimento dei ghiacci e a causa dell'aumento della temperatura media globale degli oceani, e della relativa espansione termica delle masse d'acqua, è prevedibile un innalzamento del livello medio marino per il 2100 secondo un range compreso tra 18 cm e 59 cm (si ricorda a questo proposito che il sistema MOSE per la difesa di Venezia e della laguna dalle acque alte è stato progettato, secondo un criterio precauzionale, per fronteggiare un aumento del livello del mare fino a 60 cm nei prossimi cento anni).

La pubblicazione dei testi è stata autorizzata dalla Segreteria dello stesso IPCC. La versione in inglese è disponibile in internet, nel sito dell'IPCC a Ginevra (www.ipcc.ch).

tire dal 1750 le attività antropiche hanno prodotto un effetto netto medio globale di riscaldamento, con un forzante radiativo pari a +1,6 [+0,6 - +2,4] W m^{-2} (vedere la figura SPM-2). {2.3, 6.5, 2.9}

- Il forzante radiativo combinato dovuto all'aumento del biossido di carbonio, del metano e del monossido di azoto è pari a +2,30 [+2,07 - +2,53] W m^{-2}, e il suo tasso di crescita nel corso dell'era industriale è stato *molto probabilmente* senza precedenti in oltre 10.000 anni (vedere le figure SPM-1 e SPM-2). Il forzante radiativo dovuto al biossido di carbonio è aumentato del 20% tra il 1995 e il 2005, la massima variazione di qualunque decennio almeno negli ultimi 200 anni. {2.3, 6.4}
- I contributi antropogenici agli aerosol (principalmente solfati, carbonio organico, nero fumo, nitrati e polveri) producono nel complesso un effetto di raffreddamento, con un forzante radiativo totale diretto pari a -0,5 [-0,9 - -0,1] W m^{-2} e un forzante indiretto dell'albedo delle nuvole pari a -0,7 [-1,8 - -0,3] W m^{-2}. Grazie al miglioramento delle misurazioni *in situ*, da satellite e al suolo, nonché a una modellistica più completa, la conoscenza di tali forzanti è oggi migliore di quanto non fosse al momento del TAR, ma permane l'incertezza dominante del forzante radiativo. Gli aerosol influiscono inoltre sulla durata delle nuvole e sulle precipitazioni. {2.4, 2.9, 7.5}
- Varie altre sorgenti forniscono contributi antropogenici di rilievo al forzante radiativo. Le variazioni dell'ozono troposferico dovute alle emissioni di sostanze chimiche che danno luogo alla formazione di ozono (ossidi di azoto, monossido di carbonio e idrocarburi) forniscono un contributo pari a +0,35 [+0,25 - +0,65] W m^{-2}. Il forzante radiativo diretto dovuto a variazioni degli alocarburi[8] è pari a +0,34 [+0,31 - +0,37] W m^{-2}. Le variazioni dell'albedo della superficie, dovute ad alterazioni della copertura dei suoli e alla deposizione di nero fumo sulla neve, esercitano un forzante pari rispettivamente a -0,2 [-0,4 - 0,0] e +0,1 [0,0 - +0,2] W m^{-2}. La figura SPM-2 mostra ulteriori termini di entità inferiore a ± 0,1 W m^{-2}. {2.3, 2.5, 7.2}
- Si stima che le variazioni dell'irraggiamento solare a partire dal 1750 causino un forzante radiativo pari a +0,12 [+0,06 - +0,30] W m^{-2}, inferiore alla metà della stima fornita nel TAR. {2.7}

Osservazioni dirette di cambiamenti climatici recenti

Il miglioramento e l'ampliamento di numerosi insiemi di dati, delle loro analisi, nonché l'ampliamento della copertura geografica, la migliore conoscenza delle incertezze e l'ampliamento della varietà delle misurazioni, verificatisi a partire dalla pubblicazione del TAR, hanno dato origine a un miglioramento delle conoscenze relative al modo in cui il clima cambia nello spazio e nel tempo. Osservazioni sempre più complete sui ghiacciai e il manto nevoso sono disponibili a partire dagli anni '60, mentre per il livello del mare e le calotte glaciali a partire dall'ultimo decennio circa. In alcune aree geografiche, tuttavia, la copertura dei dati rimane limitata.

Il riscaldamento del sistema climatico è inequivocabile, come emerge ormai in modo evidente dall'osservazione dell'aumento della temperatura media globale dell'atmosfera e degli oceani, dal diffuso scioglimento delle nevi e dei ghiacci e dall'aumento del livello medio globale dei mari (vedere la figura SPM-3). {3.2, 4.2 e 5.5}

- 11 degli ultimi 12 anni (1995 - 2006) figurano tra i 12 anni più caldi registrati mediante strumenti di rilievo della temperatura superficiale globale[9] (a partire dal 1850). La tendenza lineare aggiornata su 100 anni (1906 - 2005), pari a 0,74 [0,56 - 0,92] °C, è pertanto superiore alla tendenza corrispondente fornita nel TAR per il periodo 1901 - 2000, pari a 0,6 [0,4 - 0,8] °C. La tendenza lineare del riscaldamento nel corso degli ultimi 50 anni (0,13 [0,10 - 0,16] °C al decennio) è quasi doppia rispetto a quella relativa agli ultimi 100 anni. L'aumento complessivo della temperatura dal 1850 - 1899 al 2001 - 2005 è pari a 0,76 [0,57 - 0,95] °C. Gli effetti delle isole di calore urbane sono reali ma localizzati, e influiscono in misura trascurabile (meno di 0,006 °C al decennio sulle terre emerse e zero sugli oceani) su tali valori. {3.2}
- Nuove analisi delle misurazioni della temperatura della bassa e media troposfera, provenienti da aerostati e satelliti, mostrano tassi di riscaldamento simili a quelli delle registrazioni delle temperature sulla superficie, e sono coerenti entro le rispettive incertezze, eliminando in larga misura una discrepanza notata nel TAR. {3.2, 3.4}
- Il contenuto medio di vapore acqueo atmosferico è aumentato a partire almeno dagli anni '80 sulle terre emerse e sugli oceani, nonché nella troposfera superiore. L'aumento è largamente coerente con il vapor acqueo aggiuntivo che l'aria più calda è in grado di contenere. {3.4}
- Osservazioni condotte a partire dal 1961 mostrano che la temperatura media globale degli oceani è aumentata fino a una profondità di almeno 3.000 metri, e che gli oceani assorbono oltre l'80% del calore aggiunto al sistema climatico. Tale riscaldamento provoca un'espansione dell'acqua dei mari, contribuendo all'innalzamento del livello dei mari (vedere la tabella SPM-1). {5.2, 5.5}
- In media, i ghiacciai e il manto nevoso delle aree montane hanno registrato una riduzione in entrambi gli emisferi. Le diffuse riduzioni dei ghiacciai e delle calotte glaciali hanno contribuito all'innalzamento del livello dei mari (le calotte glaciali non comprendono quelle della Groenlandia e del continente antartico; vedere la tabella SPM-1). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- Nuovi dati raccolti dopo la data di pubblicazione del TAR mostrano ora che le perdite delle calotte glaciali della Groenlandia e del continente antartico hanno contribuito *molto probabilmente* all'innalzamento del livello dei mari tra il 1993 e il 2003 (vedere la tabella SPM-1). Si è registrato un aumento della velocità di scorrimento di alcuni

Cause di innalzamento del livello del mare	Tasso di innalzamento del livello del mare (mm per anno) 1961 – 2003	1993 – 2003
Espansione termica	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,50
Ghiacciai e calotte polari	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Calotta glaciale della Groenlandia	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Calotta glaciale antartica	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Somma dei singoli contributi climatici all'innalzamento del livello del mare	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Innalzamento totale osservato del livello del mare	1,8 ± 0,5[a]	3,1 ± 0,7[a]
Differenza (valore osservato meno somma dei contributi climatici stimati)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Tabella SPM-1. Tasso osservato di innalzamento del livello dei mari e stima dei contributi di diverse cause. {5.5 e Tabella 5.3}

[a] I dati precedenti al 1993 provengono da mareometri, mentre quelli dopo il 1993 dall'altimetria satellitare

ghiacciai della Groenlandia e del continente antartico, che trasportano il ghiaccio dall'interno delle calotte glaciali. Il corrispondente incremento della perdita di massa delle calotte glaciali ha spesso fatto seguito all'assottigliamento, alla riduzione o alla perdita delle banchise o al distacco di lingue glaciali galleggianti. Tali perdite di ghiaccio sono sufficienti a spiegare la maggior parte della perdita netta di massa del continente antartico e circa la metà di quella della Groenlandia. La restante perdita di ghiaccio della Groenlandia si è verificata a seguito del fatto che le perdite per scioglimento sono state superiori all'accumulo dovuto alle precipitazioni nevose. {4.6, 4.8, 5.5}

- Tra il 1961 e il 2003, il livello medio globale dei mari si è innalzato a un tasso medio pari a 1,8 [1,3 - 2,3] mm all'anno. Tra il 1993 e il 2003, tale tasso è risultato maggiore, e pari a circa 3,1 [2,4 - 3,8] mm all'anno. Non è chiaro se l'incremento del tasso di innalzamento nel periodo 1993 - 2003 rifletta una variabilità decennale o un aumento della tendenza a lungo termine. Esiste un'*elevata confidenza* circa il fatto che il tasso osservato di innalzamento del livello dei mari sia aumentato dal XIX al XX secolo. Si stima che l'innalzamento complessivo nel XX secolo sia stato pari a 0,17 [0,12 - 0,22] m. {5.5}
- Per il periodo 1993 - 2003, la somma dei contributi climatici è coerente, entro le incertezze, con l'innalzamento totale del livello dei mari osservato direttamente (vedere la tabella SPM-1). Tali stime si basano sui dati migliori, rilevati da satellite e *in situ*, ora disponibili. Per il periodo 1961 - 2003, si stima che la somma dei contributi climatici sia inferiore all'innalzamento del livello dei mari osservato. Il TAR indicava una discrepanza simile per il periodo 1910 - 1990. {5.5}

Su scala continentale, regionale e di bacino oceanico sono stati osservati numerosi cambiamenti climatici a lungo termine. Fra questi figurano le variazioni della temperatura e del ghiaccio nell'Artico, le diffuse variazioni delle precipitazioni, della salinità degli oceani e della circolazione dei venti e i fenomeni climatici estremi, compresi siccità, precipitazioni intense, onde di calore e intensità dei cicloni tropicali[10].

- Negli ultimi 100 anni, la temperatura media nell'artico è aumentata a un tasso quasi doppio rispetto a quello medio globale. Le temperature della zona artica presentano un'elevata variabilità decennale e un periodo caldo venne osservato anche tra il 1925 e il 1945. {3.2}
- I dati da satellite disponibili dal 1978 mostrano che l'estensione annua media della banchisa artica sul mare si è ridotta del 2,7 [2,1 - 3,3] % al decennio, con riduzioni più marcate, pari al 7,4 [5,0 - 9,8] % al decennio, durante l'estate. Tali valori sono coerenti con quelli indicati nel TAR. {4.4}
- In generale, a partire dagli anni '80 nell'Artico si è registrato un aumento (fino a 3 °C) della temperatura sulla superficie dello strato di permafrost. A partire dal 1900, nell'emisfero nord la superficie massima coperta da terreno ghiacciato, a livello stagionale, si è ridotta del 7% circa, con una riduzione fino al 15% durante la primavera. {4.7}
- In molte aree geografiche di grande estensione[11] sono state osservate tendenze a lungo termine dell'entità delle precipitazioni nel periodo 1900 - 2005. In particolare, si è rilevato un aumento significativo delle precipitazioni nella parte orientale dell'America del Nord e del Sud, nell'Europa settentrionale e nell'Asia settentrionale e centrale. Si è osservata una riduzione delle precipitazioni nel Sahel, nel Mediterraneo, nell'Africa meridionale e in parti dell'Asia meridionale. Le precipitazioni presentano un'elevata variabilità spaziale e temporale, e in alcune aree geografiche i dati sono limitati. Nelle altre grandi aree geografiche oggetto di valutazione non sono state osservate tendenze a lungo termine[11]. {3.3, 3.9}
- La riduzione della salinità delle acque alle latitudini medio-alte e il contestuale aumento della salinità di quelle alle basse latitudini suggeriscono l'esistenza di variazioni delle precipitazioni e dell'evaporazione sugli oceani. {5.2}
- A partire dagli anni '60, in entrambi gli emisferi si è assistito a un rafforzamento dei venti occidentali alle medie latitudini. {3.5}
- A partire dagli anni '70 si sono registrati fenomeni di siccità più intensi, prolungati e di maggiore ampiezza, specialmente nelle aree tropicali e subtropicali. Alle variazioni dei fenomeni di siccità hanno contribuito la riduzione dell'umidità associata all'aumento delle temperature e la riduzione delle precipitazioni. Le variazioni della temperatura della superficie dei mari (SST, Sea Surface Temperature) e della circolazione dei venti, nonché

Tabella SPM-2. Tendenze recenti, valutazione dell'influenza antropica sulla tendenza e proiezioni relative agli eventi meteorologici estremi per i quali si è osservata una tendenza nella parte finale del XX secolo. {Tabelle 3.7, 3.8 e 9.4, Sezioni 3.8, 5.5, 9.7 e 11.2 - 11.9}

Fenomeno[a] e direzione della tendenza	*Probabilità che la tendenza si sia verificata alla fine del XX secolo (tipicamente dopo il 1960)*	*Probabilità di un contributo antropogenico alla tendenza[b] osservata*	*Probabilità delle tendenze future basate su proiezioni per il XXI secolo, utilizzando gli scenari SRES*
Giornate e notti più calde e riduzione del numero di giornate e notti fredde nella maggior parte delle aree delle terre emerse	Molto probabile[c]	Probabile[d]	Quasi certo[d]
Giornate e notti più calde e aumento della frequenza delle giornate e delle notti calde nella maggior parte delle aree delle terre emerse	Molto probabile[e]	Probabile (notti)[d]	Quasi certo[d]
Periodi caldi/onde di calore. Aumento della frequenza nella maggior parte delle aree della terraferma	Probabile	Più probabile che no[f]	Molto probabile
Eventi con precipitazioni intense. Aumento della frequenza (o della frazione della piovosità totale derivante da precipitazioni intense) nellamaggior parte dellle aree	Probabile	Più probabile che no[f]	Molto probabile
Aree interessate dall'aumento dei fenomeni di siccità	Probabile in molte aree geografiche a partire dagli anni settanta	Più probabile che no	Probabile
Aumento delle attività cicloniche tropicali intense	Probabile in molte aree geografiche a partire dagli anni settanta	Più probabile che no[f]	Probabile
Aumento dell'incidenza di innalzamenti estremi del livello del mare (esclusi gli tsunami)[g]	Probabile	Più probabile che no[f h]	Probabile[i]

[a] Per ulteriori dettagli relativi alle definizioni, vedere la tabella 3.7.
[b] Vedere la tabella TS-4, il riquadro TS.3.4 e la tabella 9.4.
[c] Riduzione della frequenza delle giornate e delle notti fredde (10% più freddo).
[d] Aumento della temperatura delle giornate e delle notti più estreme di ciascun anno.
[e] Aumento della frequenza delle giornate e delle notti calde (10% più caldo).
[f] L'entità dei contributi antropogenici non è stata valutata. L'assegnazione di questi fenomeni si basa sul giudizio degli esperti più che su studi formali di assegnazione.
[g] I valori estremamente elevati del livello del mare dipendono dal livello medio del mare e dai sistemi climatici regionali. In questa sede essi sono definiti come l'1% superiore dei valori orari del livello del mare osservato presso una stazione in un determinato periodo di riferimento.
[h] Le variazioni dei livelli estremamente elevati del mare seguono strettamente quelle dei livelli medi del mare {5.5.2.6}. È *molto probabile* che le attività antropiche abbiano contribuito all'innalzamento del livello medio dei mari. {9.5.2}
[i] In tutti gli scenari, il livello medio globale dei mari previsto per il 2100 è superiore a quello registrato nel periodo di riferimento {10.6}. L'effetto delle variazioni dei sistemi climatici regionali sui valori estremi del livello dei mari non è stato valutato

la riduzione degli accumuli di neve e del manto nevoso sono state anch'esse messe in relazione con i fenomeni di siccità. {3.3}

- In quasi tutte le terre emerse è aumentata la frequenza delle precipitazioni intense, un dato coerente con il riscaldamento e gli aumenti osservati del vapore acqueo atmosferico. {3.8, 3.9}
- Negli ultimi 50 anni si sono registrate diffuse variazioni delle temperature estreme. Le giornate e le notti fredde, come pure la brina, sono diventate meno frequenti, mentre le giornate e le notti calde, nonché le onde di calore, sono divenute più frequenti (vedere la tabella SPM-2). {3.8}
- Esistono dati osservati che indicano un aumento delle attività cicloniche tropicali intense nell'Atlantico settentrionale a partire dal 1970 circa, correlato con l'aumento della temperature della superficie dei mari tropicali. Vi sono inoltre indicazioni di un aumento delle attività cicloniche tropicali intense in alcune altre aree geografiche, per le quali vi sono maggiori preoccupazioni per la qualità dei dati. L'identificazione delle eventuali tendenze a lungo termine dell'attività ciclonica tropicale è resa più complessa dalla variabilità pluridecennale e dalla qualità delle registrazioni relative ai cicloni tropicali prima del 1970. Non esiste una chiara tendenza del numero annuale di cicloni tropicali. {3.8}

Per alcuni aspetti del clima non sono stati osservati cambiamenti.

- Il TAR indicava una riduzione dell'intervallo delle temperature diurne (DTR, Diurnal Temperature Range), ma i dati allora disponibili si riferivano soltanto al periodo 1950 - 1993. Osservazioni aggiornate mostrano che il DTR non è variato tra il 1979 - 2004, in quanto sia la temperatura diurna, sia quella notturna sono aumentate circa allo stesso ritmo. Le tendenze presentano un'elevata variabilità da un'area geografica all'altra. {3.2}
- L'estensione della banchisa marina antartica continua a mostrare una variabilità annuale e variazioni localizzate, ma nessuna tendenza significativa dal punto di vista statistico; tutto ciò è coerente con l'assenza di un riscaldamento riflesso nella temperatura media dell'atmosfera in tutta l'area geografica. {3.2, 4.4}
- Non sono disponibili prove sufficienti a determinare se siano presenti trend rispetto alla circolazione meridionale di sostituzione negli oceani a livello planetario o rispetto a fenomeni su piccola scala come i tornado, la grandine, i fulmini e le tempeste di polvere. {3.8, 5.3}

Una prospettiva paleoclimatica

Gli studi paleoclimatici utilizzano le variazioni di indicatori sensibili ai fattori climatici per dedurre i cambiamenti del clima globale verificatisi nel passato, su scale temporali che spaziano da decenni a milioni di anni. Tali dati indiretti (ad esempio l'ampiezza degli anelli degli alberi) possono risentire sia della temperatura locale, sia di altri fattori come le precipitazioni, e sono spesso rappresentativi di determinate stagioni, più che di intere annate. Gli studi svolti dopo il TAR traggono ulteriore confidenza dai dati aggiuntivi che

mostrano un comportamento coerente di più indicatori in varie parti del mondo. A causa della copertura spaziale sempre più limitata, tuttavia, le incertezze in generale aumentano a mano a mano che ci si allontana procedendo verso il passato.

Le informazioni paleoclimatiche offrono un supporto all'interpretazione secondo la quale il riscaldamento registrato nell'ultimo mezzo secolo è insolito almeno per gli ultimi 1300 anni. Nell'ultimo periodo (circa 125.000 anni fa) in cui le regioni polari sono state significativamente più calde rispetto a oggi, per un lungo periodo, la riduzione del volume dei ghiacci polari ha dato luogo a un innalzamento di 4 - 6 metri del livello dei mari. {6.4, 6.6}

- Le temperature medie dell'emisfero nord durante la seconda metà del XX secolo sono *molto probabilmente* più alte che in qualunque altro cinquantennio negli ultimi 500 anni e sono *probabilmente* le più alte degli ultimi 1300 anni. Alcuni recenti studi indicano una maggiore variabilità delle temperature dell'emisfero nord rispetto a quanto riportato nel TAR, rilevando in particolare che vi sono stati periodi più freddi nei secoli dal XII al XIV, nonché nel XVII e nel XIX secolo. I periodi più caldi verificatisi prima del XX secolo rientrano nell'intervallo di incertezza indicato nel TAR. {6.6}
- Il livello medio globale dei mari durante l'ultimo periodo interglaciale (circa 125.000 anni fa) era *probabilmente* da 4 a 6 metri più alto di quello registrato durante il XX secolo, principalmente a causa della riduzione dei ghiacci polari. I dati delle carote di ghiaccio indicano che le temperature medie delle regioni polari erano allora superiori a quelle attuali in misura compresa tra 3 °C e 5 °C, a causa delle differenze dell'orbita terrestre. La calotta glaciale della Groenlandia e gli altri ghiacciai artici hanno *probabilmente* fornito un contributo non superiore a 4 m dell'innalzamento osservato del livello dei mari. Può inoltre esservi stato un contributo del continente antartico. {6.4}

Conoscenza e attribuzione dei cambiamenti climatici

La presente valutazione prende in esame registrazioni più lunghe e migliori, una gamma di osservazioni più ampia e vari miglioramenti della simulazione di molti aspetti del clima e della sua variabilità sulla base di studi svolti dopo il TAR. Essa tiene inoltre conto dei risultati di nuovi studi di assegnazione che hanno valutato se le variazioni osservate fossero coerenti, sotto il profilo quantitativo, con la risposta prevista ai forzanti esterni ma non con altre spiegazioni plausibili dal punto di vista fisico.

La maggior parte dell'aumento osservato della temperatura media globale a partire dalla metà del XX secolo è dovuta *molto probabilmente* all'aumento osservato della concentrazione dei gas-serra antropogenici[12]. Si tratta di un progresso rispetto alla conclusione del TAR secondo la quale "la maggior parte del riscaldamento osservato negli ultimi 50 anni è *probabilmente* dovuto all'aumento della concentrazione dei gas-serra". Gli effetti rilevabili dell'attività dell'uomo si estendono oggi ad altri aspetti del clima, fra cui il riscaldamento degli oceani, l'aumento delle temperature medie continentali, gli estremi delle temperature e la circolazione dei venti (vedere la figura SPM-4 e la tabella SPM-2). {9.4, 9.5}

- È *probabile* che il solo aumento della concentrazione dei gas-serra avrebbe causato un riscaldamento superiore a quello osservato, in quanto gli aerosol vulcanici e antropogenici hanno compensato parte del riscaldamento che si sarebbe altrimenti verificato. {2.9, 7.5, 9.4}
- Il diffuso riscaldamento osservato dell'atmosfera e degli oceani, unitamente alla perdita di massa glaciale, prestano supporto alla conclusione secondo cui è *estremamente improbabile* che i cambiamenti climatici globali degli ultimi cinquant'anni possano essere spiegati senza forzanti esterni, mentre è *molto probabile* che essi non siano dovuti esclusivamente a cause naturali note. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- Il riscaldamento del sistema climatico è stato rilevato mediante le variazioni della temperatura superficiale e atmosferica e della temperatua delle prime centinaia di metri d'acqua negli oceani e mediante i contributi all'innalzamento del livello dei mari. Gli studi di assegnazione hanno definito i contributi antropogenici a tutte queste variazioni. Lo schema osservato di riscaldamento della troposfera e di raffreddamento della stratosfera è dovuto *molto probabilmente* all'effetto combinato dell'aumento della concentrazione dei gas-serra e dalla riduzione di quella dell'ozono stratosferico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- È *probabile* che, negli ultimi 50 anni, vi sia stato un significativo riscaldamento medio su ciascun continente ad eccezione di quello antartico (vedere la figura SPM-4), a causa delle attività umane. Gli schemi di riscaldamento osservati, compreso il maggiore riscaldamento sulle terre emerse che sugli oceani, e le loro variazioni nel tempo, vengono simulati soltanto con modelli che includono il forzante antropogenico. La capacità dei modelli climatici accoppiati di simulare l'evoluzione osservata della temperatura su ciascuno dei sei continenti fornisce una prova dell'influenza antropica sul clima più solida di quella disponibile nel TAR. {3.2, 9.4}
- Permangono alcune difficoltà nel simulare e attribuire in modo affidabile le variazioni della temperatura osservate su scale più ridotte. Su tali scale, la variabilità naturale del clima è relativamente più ampia, rendendo più difficile l'identificazione delle variazioni previste a seguito dei forzanti esterni. L'incertezza relativa alle forzanti locali e ai feedback complicano anche la stima del contributo dell'aumento della concentrazione dei gas-serra alle variazioni della temperatura osservate su piccola scala. {8.3, 9.4}

• È *probabile* che il forzante antropogenico abbia contribuito alla variazione della circolazione dei venti[13], influendo sul percorso delle tempeste extratropicali e sulla distribuzione delle temperature al di fuori delle zone tropicali di entrambi gli emisferi. Le variazioni osservate della circolazione dell'emisfero nord sono tuttavia più ampie di quelle ottenute nelle simulazioni che utilizzano i forzanti del XX secolo. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

• È *probabile* che l'aumento delle temperature massime nelle notti calde e minime nelle notti fredde e nei giorni freddi sia dovuto al forzante antropogenico, ed è *più probabile che non* che quest'ultimo abbia incrementato il rischio di onde di calore (vedere la tabella SPM-2). {9.4}

L'analisi dei modelli del clima, unitamente ai vincoli derivanti dalle osservazioni, consente per la prima volta di fornire una valutazione dell'intervallo *probabile* della sensibilità del clima, nonché una maggiore attendibilità nella comprensione della risposta del sistema climatico al forzante radiativo. {6.6, 8.6, 9.6 e riquadro 10.2}

• La sensibilità dell'equilibrio del clima costituisce una misura della risposta del sistema climatico a un forzante radiativo prolungato. Tale sensibilità non è una proiezione, ma è definita come il riscaldamento medio globale della superficie a seguito di un raddoppio della concentrazione del biossido di carbonio. È *probabile* che il suo valore sia compreso tra 2 e 4,5 °C, con una migliore stima pari a 3 °C, mentre è *molto improbabile* che essa risulti inferiore a 1,5 °C. Benché non sia possibile escludere valori sostanzialmente più elevati di 4,5 °C, per tali valori la corrispondenza tra i modelli e le osservazioni non è altrettanto buono. Le variazioni del vapore acqueo costituiscono il feedback con l'effetto più marcato sulla sensibilità del clima, e la loro conoscenza è oggi migliore di quanto non fosse al momento del TAR. Il feedback delle nuvole rimane la principale fonte di incertezza. {8.6, 9.6 e riquadro 10.2}

• È *molto improbabile* che le variazioni del clima (almeno nei sette secoli precedenti il 1950) siano state causate soltanto dalla variabilità generata all'interno del sistema climatico. È *molto probabile* che una frazione di rilievo della variabilità interdecennale della temperatura nell'emisfero nord, così come ricostruita per tali secoli, possa essere attribuita a eruzioni vulcaniche e a variazioni dell'irraggiamento solare, ed è *probabile* che il forzante antropogenico abbia contribuito al riscaldamento dell'inizio del XX secolo, evidenziato da tali dati. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Proiezioni delle future variazioni del clima

Un notevole progresso della presente valutazione sulle proiezioni delle variazioni del clima, rispetto al TAR, è costituito dal grande numero di simulazioni disponibili ricavata da un ventaglio più ampio di modelli. Unite alle informazioni aggiuntive provenienti dalle osservazioni, tali simulazioni forniscono una base quantitativa per la stima della probabilità di molti aspetti dei cambiamenti climatici futuri. Le simulazioni mediante i modelli coprono una gamma di possibili scenari futuri che comprende ipotesi teoriche circa le emissioni o le concentrazioni. Tali simulazioni comprendono gli scenari di riferimento SRES[14] per il periodo 2000 - 2100 ed esperimenti su modello con concentrazioni dei gas-serra e degli aerosol mantenute costanti a partire dal 2000 o dal 2100.

Per una serie di scenari SRES relativi alle emissioni è prevedibile un riscaldamento di circa 0,2 °C al decennio per i prossimi 20 anni. Anche qualora la concentrazione di tutti i gas-serra e gli aerosol fosse mantenuta costante al livello del 2000, ci si dovrebbe attendere un ulteriore riscaldamento di circa 0,1 °C al decennio. {10.3, 10.7}

• Dal momento del primo rapporto dell'IPCC, risalente al 1990, le proiezioni hanno suggerito un aumento della temperatura media globale compreso tra circa 0,15 e 0,3 °C al decennio per il periodo tra il 1990 e il 2005. Tale previsione può ora essere confrontata con i valori osservati, pari a circa 0,2 °C al decennio, rafforzando l'attendibilità nelle proiezioni a breve termine. {1.2, 2.3}

• Le prove su modello mostrano che anche qualora tutti gli agenti del forzante radiativo venissero mantenuti costanti al livello dell'anno 2000, nei prossimi due decenni si registrerebbe una tendenza verso un ulteriore riscaldamento ad un ritmo di circa 0,1°C al decennio, principalmente a seguito della lentezza della risposta degli oceani. Qualora le emissioni cadessero all'interno dell'intervallo degli scenari SRES, il riscaldamento previsto sarebbe circa doppio (0,2 °C al decennio). Le proiezioni dei modelli rispetto alle stime migliori indicano che la media decennale del riscaldamento fino al 2030, su ciascun continente abitato, non varia nei diversi scenari SRES e che tale media è *molto probabilmente* pari ad almeno il doppio della corrispondente stima fornita dal modello per la variabilità naturale nel corso del XX secolo. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7 e figura TS-29}

Emissioni continue di gas-serra a un ritmo pari o superiore a quello attuale causerebbero un ulteriore riscaldamento, dando origine a numerose variazioni del sistema climatico nel corso del XXI secolo, *molto probabilmente* di entità superiore a quelle osservate durante il XX secolo. {10.3}

• I progressi della modellistica dei cambiamenti climatici consentono oggi di fornire migliori stime e *probabili* intervalli di incertezza stimati per il riscaldamento previsto per differenti scenari di emissione. Per evitare la perdita di queste informazioni di rilievo dal punto di vista politico, il presente rapporto fornisce in modo esplicito i risultati relativi a differenti scenari di emissione. La tabella SPM-3 mostra i valori della media globale del riscaldamento superficiale previsto per la fine del XXI secolo (2090 - 2099) rispetto al periodo 1980 - 1999.

Caso	Variazione della temperatura (°C al 2090-2099 rispetto al 1980-1999)[a]		Innalzamento del livello del mare (m al 2090-2099 rispetto al 1980-1999)
	Stima migliore	Intervallo di probabilità	Intervallo basato su modelli; sono escluse rapide variazioni dinamiche future del flusso dei ghiacci
Concentrazioni costanti al livello dell'anno 2000[b]	0,6	0,3 – 0,9	NA
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

Tabella SPM-3. Valori medi globali del riscaldamento della superficie e dell'innalzamento del livello dei mari previsti per la fine del XXI secolo {10.5, 10.6 e tabella 10.7}

[a] Le presenti stime si basano su una gerarchia di modelli che comprende un modello climatico base, alcuni modelli terrestri di complessità intermedia (EMIC, Earth Model of Intermediate Complexity) e un gran numero di modelli della circolazione globale atmosferico-oceanica (AOGCM, Atmosphere-Ocean Global Circulation Model).
[b] La composizione costante all'anno 2000 è stata ricavata utilizzando soltanto gli AOGCM

Tali valori illustrano le differenze tra gli scenari SRES relativi a emissioni inferiori e superiori, nonché l'incertezza delle previsioni del riscaldamento associato a tali scenari. {10.5}

- Nella presente valutazione sono riportate (tabella SPM-3) le migliori stime e gli intervalli *probabili* del riscaldamento medio globale dell'aria alla superficie per i sei scenari di riferimento SRES relativi alle emissioni. La migliore stima per lo scenario basso (B1) è ad esempio pari a 1,8 °C (con un intervallo *probabile* compreso tra 1,1 e 2,9 °C), mentre quella per lo scenario alto (A1FI) è 4,0 °C (con un intervallo *probabile* compreso tra 2,4 e 6,4 °C). Pur essendo ampiamente coerenti con l'intervallo indicato nel TAR (1,4 - 5,8 °C), tali stime non sono confrontabili in modo diretto (vedere la figura SPM-5). Il rapporto AR4 è più avanzato, in quanto fornisce la migliore stima e una valutazione dell'intervallo di probabilità per ciascuno degli scenari di riferimento. La nuova valutazione degli intervalli *probabili* si basa ora su un maggior numero di modelli del clima, di complessità e realismo crescente, nonché su nuove informazioni, frutto delle osservazioni, sulla natura dei feedback del ciclo del carbonio e sui vincoli della risposta climatica. {10.5}
- Il riscaldamento tende a ridurre l'assorbimento del biossido di carbonio atmosferico da parte delle terre emerse e degli oceani, aumentando la frazione delle emissioni antropogeniche che permane nell'atmosfera. Per lo scenario A2, ad esempio, il feedback del ciclo del carbonio sul clima causa un aumento di oltre 1 °C del corrispondente riscaldamento medio globale nel 2100. Gli intervalli dei valori superiori stimati per le proiezioni della temperatura sono maggiori di quelli del TAR (vedere la tabella SPM-3) principalmente in quanto il ventaglio più ampio dei modelli attualmente disponibili suggerisce feedback più marcati del ciclo del carbonio sul clima. {7.3, 10.5}
- La tabella SPM-3 mostra le proiezioni dell'innalzamento medio globale del livello dei mari alla fine del XXI secolo (2090 - 2099) sulla base dei modelli. Per ciascuno scenario, il punto intermedio dell'intervallo indicato nella tabella SPM-3 si trova entro il 10% della media dei modelli del TAR per il periodo 2090 - 2099. Gli intervalli sono inferiori a quelli del TAR soprattutto a seguito del miglioramento delle informazioni relative ad alcune incertezze di contributi stimati[15]. {10.6}
- I modelli utilizzati finora non comprendono né le incertezze relative al feedback tra clima e ciclo del carbonio né l'effetto completo delle variazioni del flusso delle calotte glaciali, in quanto al riguardo manca una base nella letteratura pubblicata. Le proiezioni includono un contributo dovuto all'aumento del flusso di ghiaccio dalla Groenlandia e dal continente antartico con la portata osservata nel periodo 1993 - 2003, ma in futuro tali valori potrebbero aumentare o ridursi. Se tale contributo dovesse ad esempio aumentare linearmente in funzione della variazione della temperatura globale, l'intervallo superiore dell'innalzamento del livello dei mari per gli scenari SRES mostrato nella tabella SPM-3 aumenterebbe in misura compresa tra 0,1 e 0,2 m. Non è possibile escludere valori superiori, ma la conoscenza di questi effetti è troppo limitata per valutarne la probabilità o per fornire una migliore stima o un limite superiore per l'innalzamento del livello dei mari. {10.6}
- L'aumento della concentrazione del biossido di carbonio atmosferico dà origine a un incremento dell'acidificazione degli oceani. Le proiezioni basate sugli scenari SRES indicano una riduzione del pH[16] medio globale della superficie oceanica compreso tra 0,14 e 0,35 nel corso del XXI secolo, che si sommerà alla riduzione dello 0,1 verificatasi a partire dal periodo pre-industriale. {5.4, riquadro 7.3 e 10.4}

Vi è ora una maggiore attendibilità nelle proiezioni degli schemi di riscaldamento e di altre caratteristiche su scala regionale, comprese le variazioni della circolazione dei venti, della distribuzione delle precipitazioni e di alcuni aspetti relativi ai fenomeni estremi e ai ghiacci. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- Le previsioni relative al riscaldamento nel XXI secolo mostrano una distribuzione geografica indipendente dagli scenari, simile a quella osservata nei decenni precedenti. Si prevede che il riscaldamento sarà più intenso sulle terre emerse e alle più alte latitudini settentrionali, e minimo sull'oceano meridionale nonché in alcune parti dell'oceano atlantico settentrionale (vedere la figura SPM-6). {10.3}

• Si prevede che il manto nevoso si ridurrà. È previsto un diffuso aumento della profondità del disgelo nella maggior parte delle aree geografiche interessate dal permafrost. {10.3, 10.6}

• Si prevede una contrazione dei ghiacci marini sia nella regione artica sia in quella antartica per tutti gli scenari SRES. In alcune proiezioni, i ghiacci marini artici della tarda estate scompaiono quasi completamente verso la fine del XXI secolo. {10.3}

È *molto probabile* che la frequenza di temperature calde estreme, onde di calore e precipitazioni intense continui ad aumentare. {10.3}

• Sulla base di un ventaglio di modelli, è *probabile* che in futuro i cicloni tropicali (tifoni e uragani) diventino più intensi, con punte più elevate della velocità del vento e precipitazioni più intense associate al costante aumento della temperatura della superficie dei mari (SST) nelle aree tropicali. Vi è una minore attendibilità sulle proiezioni che indicano una riduzione del numero dei cicloni tropicali. L'apparente aumento della proporzione di cicloni molto intensi, riscontrato a partire dal 1970 in alcune aree geografiche, è nettamente superiore al valore ottenuto mediante le simulazioni relative a tale periodo eseguite con gli attuali modelli. {9.5, 10.3, 3.8}

• Si prevede che il percorso dei cicloni extra-tropicali si sposterà verso i poli, con conseguenti variazioni della circolazione dei venti, nonché della distribuzione delle precipitazioni e della temperatura, proseguendo secondo l'ampio schema delle tendenze osservate nel mezzo secolo trascorso. {3.6, 10.3}

• Dal momento del TAR, sta migliorando la comprensione delle proiezioni della distribuzione delle precipitazioni. È *molto probabile* un aumento dell'entità delle precipitazioni alle latitudini elevate, mentre è *probabile* una riduzione nelle regioni sub-tropicali (fino a un massimo del 20% circa nel 2100 per lo scenario A1B, vedere la figura SPM-7), proseguendo secondo gli schemi osservati delle tendenze recenti. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3 e 11.2 - 11.9}

• In base alle simulazioni eseguite con i modelli attuali, è *molto probabile* che la circolazione meridionale di sostituzione (MOC, Meridional Overturning Circulation) dell'oceano atlantico rallenti durante il XXI secolo. Per lo scenario SRES A1B, la riduzione media su più modelli è pari al 25% nel 2100 (con un intervallo compreso tra zero e il 50% circa). Nonostante tali variazioni, si prevede che la temperatura della regione atlantica aumenterà anche se si paventano cambiamenti a causa di un maggiore riscaldamento indicato dalle proiezioni dell'innalzamento della concentrazione dei gas-serra. È *molto improbabile* che la MOC subisca una brusca transizione nel corso del XXI secolo. Variazioni a più a lungo termine della MOC non possono essere valutate con sufficiente attendibilità. {10.3, 10.7}

Anche se la concentrazione dei gas-serra venisse stabilizzata, il riscaldamento e l'innalzamento del livello dei mari di origine antropogenica continuerebbero per secoli a causa della scala temporale associata ai processi climatici e ai loro feedback. {10.4, 10.5, 10.7}

• A mano a mano che il sistema climatico si riscalderà, si prevede che l'accoppiamento clima - ciclo del carbonio immetterà biossido di carbonio nell'atmosfera, ma l'entità di tale feedback è incerta. Ciò aumenta l'incertezza circa la traiettoria delle emissioni di biossido di carbonio necessarie per ottenere un determinato livello di stabilizzazione della concentrazione del biossido di carbonio atmosferico. In base alle attuali conoscenze del feedback del ciclo di carbonio sul clima, gli studi eseguiti mediante modelli suggeriscono che per stabilizzare la concentrazione del biossido di carbonio a 450 ppm potrebbe essere necessario ridurre le emissioni complessive durante il XXI secolo da una media di circa 670 [630 - 710] GtC (2.460 [2.310 - 2.600] $GtCO_2$) a circa 490 [375 - 600] GtC (1.800 [1.370 - 2.200] $GtCO_2$). Analogamente, per stabilizzare a 1.000 ppm tale feedback potrebbe essere necessario ridurre le emissioni complessive da una media pari a circa 1.415 [1.340 - 1.490] GtC (5.190 [4.910 - 5.460] $GtCO_2$) a circa 1.100 [980 - 1.250] GtC (4.030 [3.590 - 4.580] $GtCO_2$). {7.3, 10.4}

• Se nel 2100 il forzante radiativo venisse stabilizzato ai livelli[11] B1 o A1B, si potrebbe verificare un ulteriore aumento di 0,5 °C della temperatura media globale, per gran parte entro il 2200. {10.7}

• Se nel 2100 il forzante radiativo venisse stabilizzato al livello[11] A1B, la sola espansione termica porterebbe entro il 2300 a un innalzamento del livello dei mari compreso tra 0,3 e 0,8 m (rispetto al periodo 1980 - 1999). L'espansione termica continuerebbe per molti secoli a causa del tempo necessario per trasferire il calore nelle profondità degli oceani. {10.7}

• Si prevede che la contrazione della calotta glaciale della Groenlandia continuerà a contribuire all'innalzamento del livello dei mari anche dopo il 2100. Secondo i modelli attuali, la perdita di massa glaciale in funzione della temperatura aumenta più rapidamente dell'accumulo dovuto alle precipitazioni, e il saldo della massa superficiale diventa negativo per un aumento medio globale della temperatura superiore a 1,9 - 4,6 °C (rispetto ai valori pre-industriali). Un saldo negativo della massa superficiale protratto per millenni causerebbe la scomparsa quasi completa della calotta glaciale della Groenlandia, con un contributo di circa 7 m all'innalzamento del livello dei mari. Le corrispondenti temperature future della Groenlandia sono paragonabili a quelle dedotte per l'ultimo periodo interglaciale, risalente a 125.000 anni fa, durante il quale le informazioni paleoclimatiche suggeriscono una riduzione dell'estensione dei ghiacci polari e un innalzamento del livello dei mari compreso tra 4 e 6 m. {6.4, 10.7}

• I processi dinamici associati ai flussi di ghiaccio, non inclusi nei modelli attuali ma suggeriti da osservazioni recenti, potrebbero aumentare la vulnerabilità delle calotte glaciali al riscaldamento, incrementando l'innalzamento futuro del livello dei

mari. La conoscenza di tali processi è limitata e non vi è accordo sulla loro entità. {4.6, 10.7}

- Le proiezioni degli studi basati sugli attuali modelli globali indicano che la calotta glaciale antartica resterà troppo fredda per uno scioglimento superficiale diffuso e si prevede che la sua massa aumenterà a causa dell'incremento delle precipitazioni nevose. Potrebbe tuttavia verificarsi una perdita netta di massa glaciale qualora il saldo della massa della calotta glaciale risultasse dominato dallo scarico dinamico dei ghiacci. {10.7}
- Le emissioni antropogeniche di biossido di carbonio, sia passate, sia future, continueranno a contribuire al riscaldamento e all'innalzamento del livello dei mari per oltre un millennio, a causa della scala temporale necessaria per la rimozione di tale gas dall'atmosfera. {7.3, 10.3}

Scenari di emissione contenuti nel rapporto speciale dell'IPCC sugli scenari relativi alle emissioni (SRES)[17]

A1. La famiglia di scenari e quadri riassuntivi A1 descrive un mondo futuro caratterizzato da una crescita economica molto rapida, con una popolazione globale in aumento fino a un picco a metà del secolo e successivamente in declino, e un'introduzione rapida di nuove tecnologie più efficienti. Le principali tematiche sottostanti sono la convergenza tra le aree geografiche, lo sviluppo delle capacità e un aumento delle interazioni sociali e culturali, con una riduzione sostanziale delle differenze di reddito pro-capite tra le varie aree geografiche. La famiglia di scenari A1 si suddivide in tre gruppi, che descrivono direzioni alternative dei cambiamenti tecnologici del sistema energetico. I tre gruppi A1 si distinguono per la loro enfasi tecnologica, vale a dire uso intensivo dei combustibili fossili (A1FI), fonti energetiche non fossili (A1T) o una distribuzione equilibrata tra tutte le fonti (A1B) (dove per equilibrato si intende una dipendenza non eccessiva da una particolare fonte di energia, nell'ipotesi che per tutte le tecnologie di produzione e utilizzo finale dell'energia valgano tassi di miglioramento simili).

A2. La famiglia di scenari e quadri riassuntivi A2 descrive un mondo molto eterogeneo. Il tema sottostante è costituito dall'autosufficienza e dalla conservazione delle identità locali. La distribuzione della natalità fra le aree geografiche presenta soltanto una convergenza molto lenta, che dà origine a un aumento costante della popolazione. Lo sviluppo economico è prevalentemente ad orientamento regionale; la crescita economica pro-capite e i cambiamenti tecnologici sono più lenti e frammentati rispetto ad altri quadri d'insieme.

B1. Il quadro riassuntivo e lo scenario B1 descrivono un mondo convergente con la stessa popolazione globale del quadro A1, in aumento fino alla metà del secolo e successivamente in declino, ma con una rapida transizione delle strutture economiche verso un'economia dei servizi e dell'informazione, meno intensiva sotto il profilo materiale e caratterizzata dall'introduzione di tecnologie pulite ed efficienti sotto il profilo delle risorse. Questo quadro pone l'accento su soluzioni globali per la sostenibilità economica, sociale e ambientale, compresa una maggiore equità ma senza alcuna ulteriore iniziativa relativa al clima.

B2. Il quadro riassuntivo e lo scenario B2 descrivono un mondo nel quale l'accento viene posto su soluzioni locali per la sostenibilità economica, sociale e ambientale. Si tratta di un mondo con una popolazione globale in costante aumento ad un tasso inferiore a quello del quadro A2, con livelli intermedi di sviluppo economico e una maggiore diversificazione dei cambiamenti tecnologici rispetto ai quadri B1 e A1. Pur essendo orientato anche alla salvaguardia dell'ambiente e all'equità sociale, questo scenario pone l'accento sul livello locale e regionale.

Per ciascuno dei sei gruppi di scenari A1B, A1FI, A1T, A2, B1 e B2, che devono essere considerati tutti fondati in ugual misura, è stato scelto uno scenario illustrativo.

Gli scenari SRES non includono ulteriori iniziative per il clima; ciò significa che non è incluso alcuno scenario che preveda esplicitamente l'attuazione della Convenzione quadro delle Nazioni unite relativa ai cambiamenti climatici o degli obiettivi del Protocollo di Kyoto relativi alle emissioni.

Note

[*] Contributo del Gruppo di Lavoro I al "Quarto rapporto di valutazione" dell'Intergovernmental Panel on Climate Change.

Autori del testo:
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 e David Wratt
Autori che hanno contribuito:
Julie Arblaster, Guy Brasseur, Jens Hesselbjerg Christensen, Kenneth Denman, David W. Fahey, Piers Forster, Eystein Jansen, Philip D. Jones, Reto Knutti, Hervé Le Treut, Peter Lemke, Gerald Meehl, Philip Mote, David Randall, Dáithí A. Stone, Kevin E. Trenberth, Jürgen Willebrand e Francis Zwiers

La presente Sintesi per i Policymakers ha ricevuto l'approvazione formale in occasione della decima sessione del Gruppo di Lavoro I dell'IPCC svoltasi a Parigi nel mese di febbraio del 2007. Il testo, le tabelle e le figure contenute nel presente documento sono definitivi, ma possono essere soggetti a revisione redazionale

[1] Nell'accezione adottata dall'IPCC, il termine *cambiamento climatico* si riferisce a qualunque cambiamento del clima nel tempo dovuto alla variabilità naturale o ad attività antropiche. Tale uso differisce da quello adottato nella Convenzione quadro sui cambiamenti climatici, dove il termine si riferisce a variazioni del clima attribuite direttamente o indirettamente ad attività antropiche che alterano la composizione dell'atmosfera nel suo complesso e si

aggiungono alla variabilità naturale del clima osservata nel corso di periodi di tempo paragonabili.

[2] *Il forzante radiativo* rappresenta una misura dell'influenza che un fattore esercita sull'alterazione del bilancio dell'energia in ingresso nel e in uscita dal sistema terra-atmosfera. Esso costituisce un indice dell'importanza del fattore in questione come potenziale meccanismo di cambiamento del clima. Un forzante positivo tende a riscaldare la superficie, mentre uno negativo tende a raffreddarla. Nel presente rapporto, i valori dei forzanti radiativi sono validi per il 2005 rispetto alle condizioni pre-industriali definite al 1750 e sono espressi in Watt al metro quadrato (W m^{-2}). Per ulteriori dettagli, vedere il Glossario e la Sezione 2.2.

[3] ppm (parti per milione) o ppb (parti per miliardo, dove 1 miliardo è pari a 1.000 milioni) è il rapporto tra il numero di molecole di gas a effetto serra e il numero totale di molecole di aria secca. 300 ppm significa ad esempio 300 molecole di un gas a effetto serra ogni milione di molecole di aria secca.

[4] Le emissioni di biossido di carbonio di origine fossile comprendono quelle derivanti dalla produzione, dalla distribuzione e dal consumo di combustibili fossili e, come sottoprodotto, dalla produzione dei cementi. L'emissione di 1 GtC corrisponde a 3,67 $GtCO_2$.

[5] Salvo diversa indicazione, gli intervalli di incertezza relativi ai risultati forniti nella presente Sintesi sono in generale pari al 90% degli intervalli di incertezza complessivi, nel senso che vi è una probabilità del 5% che il valore si trovi al di sopra dell'intervallo fornito fra parentesi quadrate e del 5% che esso si trovi al di sotto di tale intervallo. Ove possibile vengono fornite le stime migliori. Gli intervalli di incertezza stimati non sono sempre simmetrici rispetto alla relativa stima migliore. Si noti che una serie di intervalli di incertezza presenti nel TAR del Gruppo di lavoro I corrispondeva a un valore 2-sigma (95%), ottenuto spesso utilizzando il giudizio di esperti.

[6] Nella presente Sintesi, per indicare la probabilità di un esito o di un risultato, stimata tramite il giudizio di esperti, sono stati utilizzati i termini indicati di seguito. *Quasi certo* ("virtually certain"): probabilità >99%; *estremamente probabile* ("extremely likely"): >95%; *molto probabile* ("very likely"): >90%; *probabile* ("likely"): >66%; *più probabile che non* ("more likely than not"): >50%; *improbabile* ("unlikely"): <33%; *molto improbabile* ("very unlikely"): <10%; *estremamente improbabile* ("extremely unlikely"): <5% (per ulteriori dettagli, vedere il riquadro TS.1.1)

[7] Nella presente Sintesi, per esprimere i giudizi degli esperti in merito alla correttezza delle basi scientifiche si sono utilizzati i seguenti livelli di confidenza: *confidenza molto alta* ("very high confidence"): almeno 9 probabilità su 10 che tali basi siano corrette e *confidenza elevata* ("high confidence"): circa 8 probabilità su 10 che le basi siano corrette (vedere il riquadro TS.1.1)

[8] Di recente, il forzante radiativo degli alocarburi è stato oggetto di una valutazione di dettaglio nell'ambito del Rapporto speciale dell'IPCC sulla salvaguardia dello strato di ozono e del sistema climatico globale (2005).

[9] Media dei valori della temperatura dell'aria in prossimità della superficie sulle terre emerse e della temperatura della superficie dei mari.

[10] I cicloni tropicali comprendono uragani e tifoni.

[11] Le aree geografiche oggetto della valutazione sono quelle prese in esame nelle capitolo del TAR relativo alle proiezioni regionali e nel Capitolo 11 del presente Rapporto.

[12] La considerazione dell'incertezza residua si basa sulle attuali metodologie.

[13] In particolare i modi ad anello meridionali e settentrionali e le relative variazioni dell'oscillazione del nord Atlantico. {3.6, 9.5, Box TS.3.1}

[14] La sigla SRES (Special Report on Emission Scenarios) indica il Rapporto speciale dell'IPCC sugli scenari relativi alle emissioni (2000). Il riquadro riportato alla fine della presente Sintesi riassume le famiglie di scenari SRES e i relativi casi illustrativi, che non comprendevano ulteriori iniziative per il clima. La concentrazione equivalente di CO_2 approssimativa corrispondente al valore del forzante radiativo (dovuto a gas-serra antropogenici e aerosol) calcolato per il 2100 (vedere alla pagina 823 del TAR) per gli scenari di riferimento illustrativi SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 e A1FI è pari, rispettivamente, a circa 600, 700, 800, 850, 1.250 e 1.550 ppm. Gli scenari B1, A1B e A2 sono stati oggetto di studi di confronto tra i modelli; il presente rapporto fornisce una valutazione di numerosi tra i relativi risultati.

[15] Le proiezioni del TAR riguardavano il 2100, mentre quelle del presente Rapporto si riferiscono al periodo 2090 - 2099. Se avesse trattato le incertezze allo stesso modo, il TAR avrebbe fornito intervalli simili a quelli della tabella SPM-2.

[16] La riduzione del pH di una soluzione corrisponde a un aumento della sua acidità. Per ulteriori dettagli, vedere il glossario.

[17] Il presente rapporto del Gruppo di lavoro I dell'IPCC non fornisce alcuna valutazione degli scenari relativi alle emissioni. Questo riquadro riassuntivo degli scenari SRES è tratto dal TAR, ed è stato sottoposto alla preventiva approvazione linea per linea da parte del Comitato.

[n.d.r.] La versione originale del testo in inglese pubblicato in queste pagine è disponibile in internet, nel sito dell'IPCC a Ginevra (www.ipcc.ch).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. SUMMARY FOR POLICYMAKERS*

Introduction

The Working Group I contribution to the IPCC Fourth Assessment Report describes progress in understanding of the human and natural drivers of climate change[1], observed climate change, climate processes and attribution, and estimates of projected future climate change.
It builds upon past IPCC assessments and incorporates new findings from the past six years of research. Scientific progress since the TAR is based upon large amounts of new and more comprehensive data, more sophisticated analyses of data, improvements in understanding of processes and their simulation in models, and more extensive exploration of uncertainty ranges.
The basis for substantive paragraphs in this Summary for Policymakers can be found in the chapter sections specified in curly brackets.

Human and Natural Drivers of Climate Change

Changes in the atmospheric abundance of greenhouse gases and aerosols, in solar radiation and in land surface properties alter the energy balance of the climate system.
These changes are expressed in terms of radiative forcing[2], which is used to compare how a range of human and natural factors drive warming or cooling influences on global climate.
Since the "Third Assessment Report" (TAR), new observations and related modelling of greenhouse gases, solar activity, land surface properties and some aspects of aerosols have led to improvements in the quantitative estimates of radiative forcing.

Global atmospheric concentrations of carbon dioxide, methane and nitrous oxide have increased markedly as a result of human activities since 1750 and now far exceed pre-industrial values determined from ice cores spanning many thousands of years (see Figure SPM-1). The global increases in carbon dioxide concentration are due primarily to fossil fuel use and land-use change, while those of methane and nitrous oxide are primarily due to agriculture. {2.3, 6.4, 7.3}

- *Carbon dioxide is the most important anthropogenic greenhouse gas (see Figure SPM-2). The global atmospheric concentration of carbon dioxide has increased from a pre-industrial value of about 280 ppm to 379 ppm[3] in 2005. The atmospheric concentration of carbon dioxide in 2005 exceeds by far the natural range over the last 650,000 years (180 to 300 ppm) as determined from ice cores. The annual carbon dioxide concentration growth-rate was larger during the last 10 years (1995 – 2005 average: 1.9 ppm per year), than it has been since the beginning of continuous direct atmospheric measurements (1960 – 2005 average: 1.4 ppm per year) although there is year-to-year variability in growth rates. {2.3, 7.3}*
- *The primary source of the increased atmospheric concentration of carbon dioxide since the pre-industrial period results from fossil fuel use, with land use change providing another significant but smaller contribution. Annual fossil carbon dioxide emissions[4] increased from an average of 6.4 [6.0 to 6.8][5] GtC (23.5 [22.0 to 25.0] $GtCO_2$) per year in the 1990s, to 7.2 [6.9 to 7.5] GtC (26.4 [25.3 to 27.5] $GtCO_2$) per year in 2000–2005 (2004 and 2005 data are interim estimates). Carbon dioxide emissions associated with land-use change are estimated to be 1.6 [0.5 to 2.7] GtC (5.9 [1.8 to 9.9] $GtCO_2$) per year over the 1990s, although these estimates have a large uncertainty. {7.3}*
- *The global atmospheric concentration of methane has increased from a pre-industrial value of about 715 ppb to 1732 ppb in the early 1990s, and is 1774 ppb in 2005. The atmospheric concentration of methane in 2005 exceeds by far the natural range of the last 650,000 years (320 to 790 ppb) as determined from ice cores. Growth rates have declined since the early 1990s, consistent with total emissions (sum of anthropogenic and natural sources) being nearly constant during this period. It is* very likely[6] *that the observed increase in methane concentration is due to anthropogenic activities, predominantly agriculture and fossil fuel use, but relative contributions from different source types are not well determined. {2.3, 7.4}*
- *The global atmospheric nitrous oxide concentration increased from a pre-industrial value of about 270 ppb to 319 ppb in 2005. The growth rate has been approximately constant since 1980. More than a third of all nitrous oxide emissions are anthropogenic and are primarily due to agriculture. {2.3, 7.4}*

The understanding of anthropogenic warming and cooling influences on climate has improved since the "Third Assessment Report" (TAR), leading to* very high confidence[7] *that the globally averaged net effect of human activities since 1750 has been one of warming, with a radiative forcing of +1.6 [+0.6 to +2.4] W m^{-2}. (see Figure SPM-2). {2.3, 6.5, 2.9}

- *The combined radiative forcing due to increases in carbon dioxide, methane, and nitrous oxide is +2.30 [+2.07 to +2.53] W m^{-2}, and its rate of increase during the industrial era is* very likely *to have been unprecedented in more than 10,000 years (see Figures SPM-1 and SPM-2). The carbon dioxide radiative forcing increased by 20% from 1995 to 2005, the largest change for any decade in at least the last 200 years. {2.3, 6.4}*
- *Anthropogenic contributions to aerosols (primarily sulphate, organic carbon, black carbon, nitrate and dust) together produce a cooling effect, with a total direct radiative forcing of -0.5 [-0.9 to -0.1] W m^{-2} and an indirect cloud albedo forcing of -0.7 [-1.8 to -*

0.3] W m^{-2}. These forcings are now better understood than at the time of the TAR due to improved in situ, *satellite and ground-based measurements and more comprehensive modelling, but remain the dominant uncertainty in radiative forcing. Aerosols also influence cloud lifetime and precipitation. {2.4, 2.9, 7.5}*

- *Significant anthropogenic contributions to radiative forcing come from several other sources. Tropospheric ozone changes due to emissions of ozone-forming chemicals (nitrogen oxides, carbon monoxide, and hydrocarbons) contribute +0.35 [+0.25 to +0.65] W m^{-2}. The direct radiative forcing due to changes in halocarbons[8] is +0.34 [+0.31 to +0.37] W m^{-2}. Changes in surface albedo, due to land-cover changes and deposition of black carbon aerosols on snow, exert respective forcings of -0.2 [-0.4 to 0.0] and +0.1 [0.0 to +0.2] W m^{-2}. Additional terms smaller than ±0.1 W m^{-2} are shown in Figure SPM-2. {2.3, 2.5, 7.2}*
- *Changes in solar irradiance since 1750 are estimated to cause a radiative forcing of +0.12 [+0.06 to +0.30] W m^{-2}, which is less than half the estimate given in the TAR. {2.7}*

Directed Observation of Recent Climate Change

Since the TAR, progress in understanding how climate is changing in space and in time has been gained through improvements and extensions of numerous datasets and data analyses, broader geographical coverage, better understanding of uncertainties, and a wider variety of measurements. Increasingly comprehensive observations are available for glaciers and snow cover since the 1960s, and for sea level and ice sheets since about the past decade. However, data coverage remains limited in some regions.

Warming of the climate system is unequivocal, as is now evident from observations of increases in global average air and ocean temperatures, widespread melting of snow and ice, and rising global average sea level (see Figure SPM-3). {3.2, 4.2, 5.5}

- *Eleven of the last twelve years (1995 -2006) rank among the 12 warmest years in the instrumental record of global surface temperature[9] (since 1850). The updated 100-year linear trend (1906–2005) of 0.74 [0.56 to 0.92]°C is therefore larger than the corresponding trend for 1901-2000 given in the TAR of 0.6 [0.4 to 0.8]°C. The linear warming trend over the last 50 years (0.13 [0.10 to 0.16]°C per decade) is nearly twice that for the last 100 years. The total temperature increase from 1850 – 1899 to 2001 – 2005 is 0.76 [0.57 to 0.95]°C. Urban heat island effects are real but local, and have a negligible influence (less than 0.006°C per decade over land and zero over the oceans) on these values. {3.2}*

New analyses of balloon-borne and satellite measurements of lower- and mid-tropospheric temperature show warming rates that are similar to those of the surface temperature record and are consistent within their respective uncertainties, largely reconciling a discrepancy noted in the TAR. {3.2, 3.4}

- *The average atmospheric water vapour content has increased since at least the 1980s over land and ocean as well as in the upper troposphere. The increase is broadly consistent with the extra water vapour that warmer air can hold. {3.4}*
- *Observations since 1961 show that the average temperature of the global ocean has increased to depths of at least 3000 m and that the ocean has been absorbing more than 80% of the heat added to the climate system. Such warming causes seawater to expand, contributing to sea level rise (see Table SPM-1). {5.2, 5.5}*
- *Mountain glaciers and snow cover have declined on average in both hemispheres. Widespread decreases in glaciers and ice caps have contributed to sea level rise (ice caps do not include contributions from the Greenland and Antarctic ice sheets). (See Table SPM-1.) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}*
- *New data since the TAR now show that losses from the ice sheets of Greenland and Antarctica have* very likely *contributed to sea level rise over 1993 to 2003 (see Table SPM-1). Flow speed has increased for some Greenland and Antarctic outlet glaciers, which drain ice from the interior of the ice sheets. The corresponding increased ice sheet mass loss has often followed thinning, reduction or loss of ice shelves or loss of floating glacier tongues. Such dynamical ice loss is sufficient to explain most of the Antarctic net mass loss and approximately half of the Greenland net mass loss. The remainder of the ice loss from Greenland has occurred because losses due to melting have exceeded accumulation due to snowfall. {4.6, 4.8, 5.5}*

Table SPM-1. Observed rate of sea level rise and estimated contributions from different sources. {5.5, Table 5.3}

[a] Data prior to 1993 are from tide gauges and after 1993 are from satellite altimetry

Source of sea level rise	*Rate of sea level rise (mm per year)*	
	1961 – 2003	*1993 – 2003*
Thermal expansion	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.50
Glaciers and ice caps	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Greenland ice sheet	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Antarctic ice sheet	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Sum of individual climate contributions to sea level rise	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Observed total sea level rise	1.8 ± 0.5[a]	3.1 ± 0.7[a]
Difference (Observed minus sum of estimated climate contributions)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

- *Global average sea level rose at an average rate of 1.8 [1.3 to 2.3] mm per year over 1961 to 2003. The rate was faster over 1993 to 2003, about 3.1 [2.4 to 3.8] mm per year. Whether the faster rate for 1993 to 2003 reflects decadal variability or an increase in the longer-term trend is unclear. There is* high confidence *that the rate of observed sea level rise increased from the 19th to the 20th century. The total 20th century rise is estimated to be 0.17 [0.12 to 0.22] m. {5.5}*
- *For 1993-2003, the sum of the climate contributions is consistent within uncertainties with the total sea level rise that is directly observed (see Table SPM-1). These estimates are based on improved satellite and* in-situ *data now available. For the period of 1961 to 2003, the sum of climate contributions is estimated to be smaller than the observed sea level rise. The TAR reported a similar discrepancy for 1910 to 1990. {5.5}*

At continental, regional, and ocean basin scales, numerous long-term changes in climate have been observed. These include changes in Arctic temperatures and ice, widespread changes in precipitation amounts, ocean salinity, wind patterns and aspects of extreme weather including droughts, heavy precipitation, heat waves and the intensity of tropical cyclones[10]. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- *Average Arctic temperatures increased at almost twice the global average rate in the past 100 years. Arctic temperatures have high decadal variability, and a warm period was also observed from 1925 to 1945. {3.2}*
- *Satellite data since 1978 show that annual average Arctic sea ice extent has shrunk by 2.7 [2.1 to 3.3]% per decade, with larger decreases in summer of 7.4 [5.0 to 9.8]% per decade. These values are consistent with those reported in the TAR. {4.4}*
- *Temperatures at the top of the permafrost layer have generally increased since the 1980s in the Arctic (by up to 3°C). The maximum area covered by seasonally frozen ground has decreased by about 7% in the Northern Hemisphere since 1900, with a decrease in spring of up to 15%. {4.7}*
- *Long-term trends from 1900 to 2005 have been observed in precipitation amount over many large regions[11]. Significantly increased precipitation has been observed in eastern parts of North and South America, northern Europe and northern and central Asia. Drying has been observed in the Sahel, the Mediterranean, southern Africa and parts of southern Asia. Precipitation is highly variable spatially and temporally, and data are limited in some regions. Long-term trends have not been observed for the other large regions assessed[11]. {3.3, 3.9}*
- *Changes in precipitation and evaporation over the oceans are suggested by freshening of mid and high latitude waters together with increased salinity in low latitude waters. {5.2}*
- *Mid-latitude westerly winds have strengthened in both hemispheres since the 1960s. {3.5}*
- *More intense and longer droughts have been observed over wider areas since the 1970s, particularly in the tropics and subtropics. Increased drying linked with higher temperatures and decreased precipitation have contributed to changes in drought. Changes in sea surface temperatures (SST), wind patterns, and decreased snowpack and snow cover have also been linked to droughts. {3.3}*

The frequency of heavy precipitation events has increased over most land areas, consistent with warming and observed increases of atmospheric water vapour. {3.8, 3.9}

- *Widespread changes in extreme temperatures have been observed over the last 50 years. Cold days, cold nights and frost have become less frequent, while hot days, hot nights, and heat waves have become more frequent (see Table SPM-2). {3.8}*

Table SPM-2. Recent trends, assessment of human influence on the trend, and projections for extreme weather events for which there is an observed late 20th century trend. {Tables 3.7, 3.8, 9.4, Sections 3.8, 5.5, 9.7, 11.2-11.9}

[a] See Table 3.7 for further details regarding definitions.
[b] See Table TS-4, Box TS.3.4 and Table 9.4.
[c] Decreased frequency of cold days and nights (coldest 10%).
[d] Warming of the most extreme days and nights each year.
[e] Increased frequency of hot days and nights (hottest 10%).
[f] Magnitude of anthropogenic contributions not assessed. Attribution for these phenomena based on expert judgement rather than formal attribution studies.
[g] Extreme high sea level depends on average sea level and on regional weather systems. It is defined here as the highest 1% of hourly values of observed sea level at a station for a given reference period.
[h] Changes in observed extreme high sea level closely follow the changes in average sea level {5.5.2.6}. It is very likely *that anthropogenic activity contributed to a rise in average sea level. {9.5.2}*
[i] In all scenarios, the projected global average sea level at 2100 is higher than in the reference period {10.6}. The effect of changes in regional weather systems on sea level extremes has not been assessed

Phenomenon[a] and direction of trend	*Likelihood that trend occurred in late 20th century (typically post 1960)*	*Likelihood of a human contribution to observed trend[b]*	*Likelihood of future trends based on projections for 21st century using SRES scenarios*
Warmer and fewer cold days and nights over most land areas	Very likely[c]	Likely[d]	Virtually certain[d]
Warmer and more frequent hot days and nights over most land areas	Very likely[e]	Likely (nights)[d]	Virtually certain[d]
Warm spells / heat waves. Frequency increases over most land areas	Likely	More likely than not[f]	Very likely
Heavy precipitation events. Frequency (or proportion of total rainfall from heavy falls) increases over most areas	Likely	More likely than not[f]	Very likely
Area affected by droughts increases	Likely in many regions since 1970s	More likely than not	Likely
Intense tropical cyclone activity increases	Likely in some regions since 1970	More likely than not[f]	Likely
Increased incidence of extreme high sea level (excludes tsunamis)[g]	Likely	More likely than not[f h]	Likely[i]

• *There is observational evidence for an increase of intense tropical cyclone activity in the North Atlantic since about 1970, correlated with increases of tropical sea surface temperatures. There are also suggestions of increased intense tropical cyclone activity in some other regions where concerns over data quality are greater. Multi-decadal variability and the quality of the tropical cyclone records prior to routine satellite observations in about 1970 complicate the detection of long-term trends in tropical cyclone activity. There is no clear trend in the annual numbers of tropical cyclones.* {3.8}

Some aspects of climate have not been observed to change. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

• *A decrease in diurnal temperature range (DTR) was reported in the TAR, but the data available then extended only from 1950 to 1993. Updated observations reveal that DTR has not changed from 1979 to 2004 as both day- and night-time temperature have risen at about the same rate. The trends are highly variable from one region to another.* {3.2}

• *Antarctic sea ice extent continues to show inter-annual variability and localized changes but no statistically significant average trends, consistent with the lack of warming reflected in atmospheric temperatures averaged across the region.* {3.2, 4.4}

• *There is insufficient evidence to determine whether trends exist in the meridional overturning circulation of the global ocean or in small scale phenomena such as tornadoes, hail, lightning and dust-storms.* {3.8, 5.3}

A Paleoclimatic Perspective

Paleoclimatic studies use changes in climatically sensitive indicators to infer past changes in global climate on time scales ranging from decades to millions of years. Such proxy data (e.g., tree ring width) may be influenced by both local temperature and other factors such as precipitation, and are often representative of particular seasons rather than full years. Studies since the TAR draw increased confidence from additional data showing coherent behaviour across multiple indicators in different parts of the world. However, uncertainties generally increase with time into the past due to increasingly limited spatial coverage.

Paleoclimate information supports the interpretation that the warmth of the last half century is unusual in at least the previous 1300 years. The last time the polar regions were significantly warmer than present for an extended period (about 125,000 years ago), reductions in polar ice volume led to 4 to 6 metres of sea level rise. {6.4, 6.6}

• *Average Northern Hemisphere temperatures during the second half of the 20th century were* very likely *higher than during any other 50-year period in the last 500 years and* likely *the highest in at least the past 1300 years. Some recent studies indicate greater variability in Northern Hemisphere temperatures than suggested in the TAR, particularly finding that cooler periods existed in the 12 to 14th, 17th, and 19th centuries. Warmer periods prior to the 20th century are within the uncertainty range given in the TAR.* {6.6}

• *Global average sea level in the last interglacial period (about 125,000 years ago) was* likely *4 to 6 m higher than during the 20th century, mainly due to the retreat of polar ice. Ice core data indicate that average polar temperatures at that time were 3 to 5°C higher than present, because of differences in the Earth's orbit. The Greenland ice sheet and other Arctic ice fields* likely *contributed no more than 4 m of the observed sea level rise. There may also have been a contribution from Antarctica.* {6.4}

Understanding and Attributing Climate Change

This Assessment considers longer and improved records, an expanded range of observations, and improvements in the simulation of many aspects of climate and its variability based on studies since the TAR. It also considers the results of new attribution studies that have evaluated whether observed changes are quantitatively consistent with the expected response to external forcings and inconsistent with alternative physically plausible explanations.

Most of the observed increase in globally averaged temperatures since the mid-20th century is* very likely *due to the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations[12]. This is an advance since the TAR's conclusion that "most of the observed warming over the last 50 years is* likely *to have been due to the increase in greenhouse gas concentrations". Discernible human influences now extend to other aspects of climate, including ocean warming, continental-average temperatures, temperature extremes and wind patterns (see Figure SPM-4 and Table SPM-2). {9.4, 9.5}

• *It is* likely *that increases in greenhouse gas concentrations alone would have caused more warming than observed because volcanic and anthropogenic aerosols have offset some warming that would otherwise have taken place.* {2.9, 7.5, 9.4}

• *The observed widespread warming of the atmosphere and ocean, together with ice mass loss, support the conclusion that it is* extremely unlikely *that global climate change of the past fifty years can be explained without external forcing, and* very likely *that it is not due to known natural causes alone.* {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}

• *Warming of the climate system has been detected in changes of surface and atmospheric temperatures, temperatures in the upper several hundred metres of the ocean and in contributions to sea level rise. Attribution studies have established anthropogenic contributions to all of these changes. The observed*

pattern of tropospheric warming and stratospheric cooling is very likely *due to the combined influences of greenhouse gas increases and stratospheric ozone depletion.* {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}

• *It is* likely *that there has been significant anthropogenic warming over the past 50 years averaged over each continent except Antarctica (see Figure SPM-4). The observed patterns of warming, including greater warming over land than over the ocean, and their changes over time, are only simulated by models that include anthropogenic forcing. The ability of coupled climate models to simulate the observed temperature evolution on each of six continents provides stronger evidence of human influence on climate than was available in the TAR.* {3.2, 9.4}

• *Difficulties remain in reliably simulating and attributing observed temperature changes at smaller scales. On these scales, natural climate variability is relatively larger making it harder to distinguish changes expected due to external forcings. Uncertainties in local forcings and feedbacks also make it difficult to estimate the contribution of greenhouse gas increases to observed small-scale temperature changes.* {8.3, 9.4}

• *Anthropogenic forcing is* likely *to have contributed to changes in wind patterns*[13]*, affecting extra-tropical storm tracks and temperature patterns in both hemispheres. However, the observed changes in the Northern Hemisphere circulation are larger than simulated in response to 20th century forcing change.* {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

• *Temperatures of the most extreme hot nights, cold nights and cold days are* likely *to have increased due to anthropogenic forcing. It is* more likely than not *that anthropogenic forcing has increased the risk of heat waves (see Table SPM-2).* {9.4}

***Analysis of climate models together with constraints from observations enables an assessed* likely *range to be given for climate sensitivity for the first time and provides increased confidence in the understanding of the climate system response to radiative forcing.* {6.6, 8.6, 9.6, Box 10.2}**

• *The equilibrium climate sensitivity is a measure of the climate system response to sustained radiative forcing. It is not a projection but is defined as the global average surface warming following a doubling of carbon dioxide concentrations. It is* likely *to be in the range 2 to 4.5°C with a best estimate of about 3°C, and is* very unlikely *to be less than 1.5°C. Values substantially higher than 4.5°C cannot be excluded, but agreement of models with observations is not as good for those values. Water vapour changes represent the largest feedback affecting climate sensitivity and are now better understood than in the TAR. Cloud feedbacks remain the largest source of uncertainty.* {8.6, 9.6, Box 10.2}

• *It is* very unlikely *that climate changes of at least the seven centuries prior to 1950 were due to variability generated within the climate system alone. A significant fraction of the reconstructed Northern Hemisphere interdecadal temperature variability over those centuries is* very likely *attributable to volcanic eruptions and changes in solar irradiance, and it is* likely *that anthropogenic forcing contributed to the early 20th century warming evident in these records.* {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Projections of Future Changes in Climate

A major advance of this assessment of climate change projections compared with the TAR is the large number of simulations available from a broader range of models. Taken together with additional information from observations, these provide a quantitative basis for estimating likelihoods for many aspects of future climate change. Model simulations cover a range of possible futures including idealised emission or concentration assumptions. These include SRES[14] illustrative marker scenarios for the 2000–2100 period and model experiments with greenhouse gases and aerosol concentrations held constant after year 2000 or 2100.

***For the next two decades a warming of about 0.2°C per decade is projected for a range of SRES emission scenarios. Even if the concentrations of all greenhouse gases and aerosols had been kept constant at year 2000 levels, a further warming of about 0.1°C per decade would be expected.* {10.3, 10.7}**

• *Since IPCC's first report in 1990, assessed projections have suggested global averaged temperature increases between about 0.15 and 0.3°C per decade for 1990 to 2005. This can now be compared with observed values of about 0.2°C per decade, strengthening confidence in near-term projections.* {1.2, 2.3}

• *Model experiments show that even if all radiative forcing agents are held constant at year 2000 levels, a further warming trend would occur in the next two decades at a rate of about 0.1°C per decade, due mainly to the slow response of the oceans. About twice as much warming (0.2°C per decade) would be expected if emissions are within the range of the SRES scenarios. Best-estimate projections from models indicate that decadal-average warming over each inhabited continent by 2030 is insensitive to the choice among SRES scenarios and is* very likely *to be at least twice as large as the corresponding model-estimated natural variability during the 20th century.* {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7, Figure TS-29}

***Continued greenhouse gas emissions at or above current rates would cause further warming and induce many changes in the global climate system during the 21st century that would* very likely *be larger than those observed during the 20th century.* {10.3}**

• *Advances in climate change modelling now enable best estimates and* likely *assessed uncertainty ranges to be given for projected warming for different emission scenarios. Results for different emission*

Case	Temperature Change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999)[a]		Sea Level Rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant Year 2000 concentrations[b]	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Table SPM-3. Projected globally averaged surface warming and sea level rise at the end of the 21st century. {10.5, 10.6, Table 10.7}

[a] These estimates are assessed from a hierarchy of models that encompass a simple climate model, several Earth Models of Intermediate Complexity (EMICs), and a large number of Atmosphere-Ocean Global Circulaion Models (AOGCMs).
[b] Year 2000 constant composition is derived from AOGCMs only

scenarios are provided explicitly in this report to avoid loss of this policy-relevant information. Projected globally-averaged surface warmings for the end of the 21st century (2090–2099) relative to 1980–1999 are shown in Table SPM-3. These illustrate the differences between lower to higher SRES emission scenarios and the projectedwarming uncertainty associated with these scenarios. {10.5}

- *Best estimates and* likely *ranges for globally average surface air warming for six SRES emissions marker scenarios are given in this assessment and are shown in Table SPM-3. For example, the best estimate for the low scenario (B1) is 1.8°C (*likely *range is 1.1°C to 2.9°C), and the best estimate for the high scenario (A1FI) is 4.0°C (*likely *range is 2.4°C to 6.4°C). Although these projections are broadly consistent with the span quoted in the TAR (1.4 to 5.8°C), they are not directly comparable (see Figure SPM-5). The AR4 is more advanced as it provides best estimates and an assessed likelihood range for each of the marker scenarios. The new assessment of the* likely *ranges now relies on a larger number of climate models of increasing complexity and realism, as well as new information regarding the nature of feedbacks from the carbon cycle and constraints on climate response from observations.* {10.5}
- *Warming tends to reduce land and ocean uptake of atmospheric carbon dioxide, increasing the fraction of anthropogenic emissions that remains in the atmosphere. For the A2 scenario, for example, the climate-carbon cycle feedback increases the corresponding global average warming at 2100 by more than 1°C. Assessed upper ranges for temperature projections are larger than in the TAR (see Table SPM-3) mainly because the broader range of models now available suggests stronger climate-carbon cycle feedbacks.* {7.3, 10.5}
- *Model-based projections of global average sea level rise at the end of the 21st century (2090-2099) are shown in Table SPM-3. For each scenario, the midpoint of the range in Table SPM-3 is within 10% of the TAR model average for 2090-2099. The ranges are narrower than in the TAR mainly because of improved information about some uncertainties in the projected contributions*[15]. {10.6}
- *Models used to date do not include uncertainties in climate-carbon cycle feedback nor do they include the full effects of changes in ice sheet flow, because a basis in published literature is lacking. The projections include a contribution due to increased ice flow from Greenland and Antarctica at the rates observed for 1993-2003, but these flow rates could increase or decrease in the future. For example, if this contribution were to grow linearly with global average temperature change, the upper ranges of sea level rise for SRES scenarios shown in Table SPM-3 would increase by 0.1 m to 0.2 m. Larger values cannot be excluded, but understanding of these effects is too limited to assess their likelihood or provide a best estimate or an upper bound for sea level rise.* {10.6}
- *Increasing atmospheric carbon dioxide concentrations leads to increasing acidification of the ocean. Projections based on SRES scenarios give reductions in average global surface ocean pH*[16] *of between 0.14 and 0.35 units over the 21st century, adding to the present decrease of 0.1 units since pre-industrial times.* {5.4, Box 7.3, 10.4}

There is now higher confidence in projected patterns of warming and other regional-scale features, including changes in wind patterns, precipitation, and some aspects of extremes and of ice. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- *Projected warming in the 21st century shows scenario-independent geographical patterns similar to those observed over the past several decades. Warming is expected to be greatest over land and at most high northern latitudes, and least over the Southern Ocean and parts of the North Atlantic ocean (see Figure SPM-6).* {10.3}
- *Snow cover is projected to contract. Widespread increases in thaw depth are projected over most permafrost regions.* {10.3, 10.6}
- *Sea ice is projected to shrink in both the Arctic and Antarctic under all SRES scenarios. In some projections, Arctic late-summer sea ice disappears almost entirely by the latter part of the 21st century.* {10.3}
- *It is* very likely *that hot extremes, heat waves, and heavy precipitation events will continue to become more frequent.* {10.3}
- *Based on a range of models, it is* likely *that future tropical cyclones (typhoons and hurricanes) will become more intense, with larger peak wind speeds and more heavy precipitation associated with ongoing increases of tropical SSTs. There is less confidence in projections of a global decrease in*

numbers of tropical cyclones. The apparent increase in the proportion of very intense storms since 1970 in some regions is much larger than simulated by current models for that period. {9.5, 10.3, 3.8}

- *Extra-tropical storm tracks are projected to move poleward, with consequent changes in wind, precipitation, and temperature patterns, continuing the broad pattern of observed trends over the last half-century.* {3.6, 10.3}
- *Since the TAR there is an improving understanding of projected patterns of precipitation. Increases in the amount of precipitation are* very likely *in high-latitudes, while decreases are* likely *in most subtropical land regions (by as much as about 20% in the A1B scenario in 2100, see Figure SPM-7), continuing observed patterns in recent trends.* {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 to 11.9}
- *Based on current model simulations, it is very likely that the meridional overturning circulation (MOC) of the Atlantic Ocean will slow down during the 21st century. The multi-model average reduction by 2100 is 25% (range from zero to about 50%) for SRES emission scenario A1B. Temperatures in the Atlantic region are projected to increase despite such changes due to the much larger warming associated with projected increases of greenhouse gases. It is very unlikely that the MOC will undergo a large abrupt transition during the 21st century. Longer-term changes in the MOC cannot be assessed with confidence.* {10.3, 10.7}

***Anthropogenic warming and sea level rise would continue for centuries due to the timescales associated with climate processes and feedbacks, even if greenhouse gas concentrations were to be stabilized.* {10.4, 10.5, 10.7}**

- *Climate carbon cycle coupling is expected to add carbon dioxide to the atmosphere as the climate system warms, but the magnitude of this feedback is uncertain. This increases the uncertainty in the trajectory of carbon dioxide emissions required to achieve a particular stabilisation level of atmospheric carbon dioxide concentration. Based on current understanding of climate carbon cycle feedback, model studies suggest that to stabilise at 450 ppm carbon dioxide, could require that cumulative emissions over the 21st century be reduced from an average of approximately 670 [630 to 710] GtC (2460 [2310 to 2600] $GtCO_2$) to approximately 490 [375 to 600] GtC (1800 [1370 to 2200] $GtCO_2$). Similarly, to stabilise at 1000 ppm this feedback could require that cumulative emissions be reduced from a model average of approximately 1415 [1340 to 1490] GtC (5190 [4910 to 5460] $GtCO_2$) to approximately 1100 [980 to 1250] GtC (4030 [3590 to 4580] $GtCO_2$).* {7.3, 10.4}
- *If radiative forcing were to be stabilized in 2100 at B1 or A1B levels*[11] *a further increase in global average temperature of about 0.5°C would still be expected, mostly by 2200.* {10.7}
- *If radiative forcing were to be stabilized in 2100 at A1B levels*[11]*, thermal expansion alone would lead to 0.3 to 0.8 m of sea level rise by 2300 (relative to 1980–1999). Thermal expansion would continue for many centuries, due to the time required to transport heat into the deep ocean.* {10.7}
- *Contraction of the Greenland ice sheet is projected to continue to contribute to sea level rise after 2100. Current models suggest ice mass losses increase with temperature more rapidly than gains due to precipitation and that the surface mass balance becomes negative at a global average warming (relative to pre-industrial values) in excess of 1.9 to 4.6°C. If a negative surface mass balance were sustained for millennia, that would lead to virtually complete elimination of the Greenland ice sheet and a resulting contribution to sea level rise of about 7 m. The corresponding future temperatures in Greenland are comparable to those inferred for the last interglacial period 125,000 years ago, when paleoclimatic information suggests reductions of polar land ice extent and 4 to 6 m of sea level rise.* {6.4, 10.7}
- *Dynamical processes related to ice flow not included in current models but suggested by recent observations could increase the vulnerability of the ice sheets to warming, increasing future sea level rise. Understanding of these processes is limited and there is no consensus on their magnitude.* {4.6, 10.7}
- *Current global model studies project that the Antarctic ice sheet will remain too cold for widespread surface melting and is expected to gain in mass due to increased snowfall. However, net loss of ice mass could occur if dynamical ice discharge dominates the ice sheet mass balance.* {10.7}
- *Both past and future anthropogenic carbon dioxide emissions will continue to contribute to warming and sea level rise for more than a millennium, due to the timescales required for removal of this gas from the atmosphere.* {7.3, 10.3}

The Emission Scenarios of the IPCC Special Report on Emission Scenarios (SRES)[17]

A1. *The A1 storyline and scenario family describes a future world of very rapid economic growth, global population that peaks in mid-century and declines thereafter, and the rapid introduction of new and more efficient technologies. Major underlying themes are convergence among regions, capacity building and increased cultural and social interactions, with a substantial reduction in regional differences in per capita income. The A1 scenario family develops into three groups that describe alternative directions of technological change in the energy system. The three A1 groups are distinguished by their technological emphasis: fossil intensive (A1FI), non-fossil energy sources (A1T), or a balance across all sources (A1B) (where balanced is defined as not relying too heavily on one particular energy source, on the assumption that similar improvement rates apply to all energy supply and end use technologies).*

A2. *The A2 storyline and scenario family describes a very heterogeneous world. The underlying theme is self reliance and preservation of local identities. Fertility patterns across regions converge very slowly, which results in continuously increasing population. Economic development is primarily regionally oriented and per capita economic growth and technological change more fragmented and slower than other storylines.*

B1. *The B1 storyline and scenario family describes a convergent world with the same global population, that peaks in mid-century and declines thereafter, as in the A1 storyline, but with rapid change in economic structures toward a service and information economy, with reductions in material intensity and the introduction of clean and resource efficient technologies. The emphasis is on global solutions to economic, social and environmental sustainability, including improved equity, but without additional climate initiatives.*

B2. *The B2 storyline and scenario family describes a world in which the emphasis is on local solutions to economic, social and environmental sustainability. It is a world with continuously increasing global population, at a rate lower than A2, intermediate levels of economic development, and less rapid and more diverse technological change than in the B1 and A1 storylines. While the scenario is also oriented towards environmental protection and social equity, it focuses on local and regional levels.*

An illustrative scenario was chosen for each of the six scenario groups A1B, A1FI, A1T, A2, B1 and B2. All should be considered equally sound.

The SRES scenarios do not include additional climate initiatives, which means that no scenarios are included that explicitly assume implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change or the emissions targets of the Kyoto Protocol.

Notes

**Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

***Drafting Authors**: 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*

***Draft Contributing Authors**: Julie Arblaster, Guy Brasseur, Jens Hesselbjerg Christensen, Kenneth Denman, David W. Fahey, Piers Forster, Eystein Jansen, Philip D. Jones, Reto Knutti, Hervé Le Treut, Peter Lemke, Gerald Meehl, Philip Mote, David Randall, Dáithí A. Stone, Kevin E. Trenberth, Jürgen Willebrand, Francis Zwiers*

This Summary for Policymakers was formally approved at the 10th Session of Working Group I of the IPCC, Paris, February 2007. Text, tables and figures given here are final but subject to copy-editing. Corrections made as of February 5th, 2007.

[1] Climate change *in IPCC usage refers to any change in climate over time, whether due to natural variability or as a result of human activity. This usage differs from that in the Framework Convention on Climate Change, where climate change refers to a change of climate that is attributed directly or indirectly to human activity that alters the composition of the global atmosphere and that is in addition to natural climate variability observed over comparable time periods.*

[2] Radiative forcing *is a measure of the influence that a factor has in altering the balance of incoming and outgoing energy in the Earth-atmosphere system and is an index of the importance of the factor as a potential climate change mechanism. Positive forcing tends to warm the surface while negative forcing tends to cool it. In this report radiative forcing values are for 2005 relative to pre-industrial conditions defined at 1750 and are expressed in watts per square metre (W m^{-2}). See Glossary and Section 2.2 for further details.*

[3] *ppm (parts per million) or ppb (parts per billion, 1 billion = 1,000 million) is the ratio of the number of greenhouse gas molecules to the total number of molecules of dry air. For example: 300 ppm means 300 molecules of a greenhouse gas per million molecules of dry air.*

[4] *Fossil carbon dioxide emissions include those from the production, distribution and consumption of fossil fuels and as a by-product from cement production. An emission of 1 GtC corresponds to 3.67 $GtCO_2$.*

[5] *In general, uncertainty ranges for results given in this Summary for Policymakers are 90% uncertainty intervals unless stated otherwise, i.e., there is an estimated 5% likelihood that the value could be above the range given in square brackets and 5% likelihood that the value could be below that range. Best estimates are given where available. Assessed uncertainty intervals are not always symmetric about the corresponding best estimate. Note that a number of uncertainty ranges in the Working Group I TAR corresponded to 2-sigma (95%), often using expert judgement.*

[6] *In this Summary for Policymakers, the following terms have been used to indicate the assessed likelihood, using expert judgement, of an outcome or a result:* Virtually certain *>99% probability of occurrence,* Extremely likely *>95%,* Very likely *> 90%,* Likely *>66%,* More likely than not *>50%,* Unlikely *<33%,* Very unlikely *<10%,* Extremely unlikely *< 5%. (See Box TS.1.1 for more details).*

[7] *In this Summary for Policymakers the following levels of confidence have been used to express expert judgments on the correctness of the underlying science:* very high confidence *at least a 9 out of 10 chance of being correct;* high confidence *about an 8 out of 10 chance of being correct. (See Box TS.1.1).*

[8] *Halocarbon radiative forcing has been recently assessed in detail in IPCC's Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System (2005).*

[9] *The average of near surface air temperature over land, and sea surface temperature.*

[10] *Tropical cyclones include hurricanes and typhoons.*

[11] *The assessed regions are those considered in the regional projections Chapter of the TAR and in Chapter 11 of this Report.*

[12] *Consideration of remaining uncertainty is based on current methodologies.*

[13] *In particular, the Southern and Northern Annular Modes and related changes in the North Atlantic Oscillation. {3.6, 9.5, Box TS.3.1}*

[14] *SRES refers to the IPCC Special Report on Emission Scenarios (2000). The SRES scenario families and illustrative cases, which did not include additional climate initiatives, are summarized in a box at the end of this Summary for Policymakers. Approximate CO_2 equivalent concentrations corresponding to the computed radiative forcing due to anthropogenic greenhouse gases and aerosols in 2100 (see p. 823 of the TAR) for the SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 and A1FI illustrative marker scenarios are about 600, 700, 800, 850, 1250 and 1550 ppm respectively. Scenarios B1, A1B, and A2 have been the focus of model inter-comparison studies and many of those results are assessed in this report.*

[15] *TAR projections were made for 2100, whereas projections in this Report are for 2090-2099. The TAR would have had similar ranges to those in Table SPM-2 if it had treated the uncertainties in the same way.*

[16] *Decreases in pH correspond to increases in acidity of a solution. See Glossary for further details.*

[17] *Emission scenarios are not assessed in this Working Group One report of the IPCC. This box summarizing the SRES scenarios is taken from the TAR and has been subject to prior line by line approval by the Panel.*

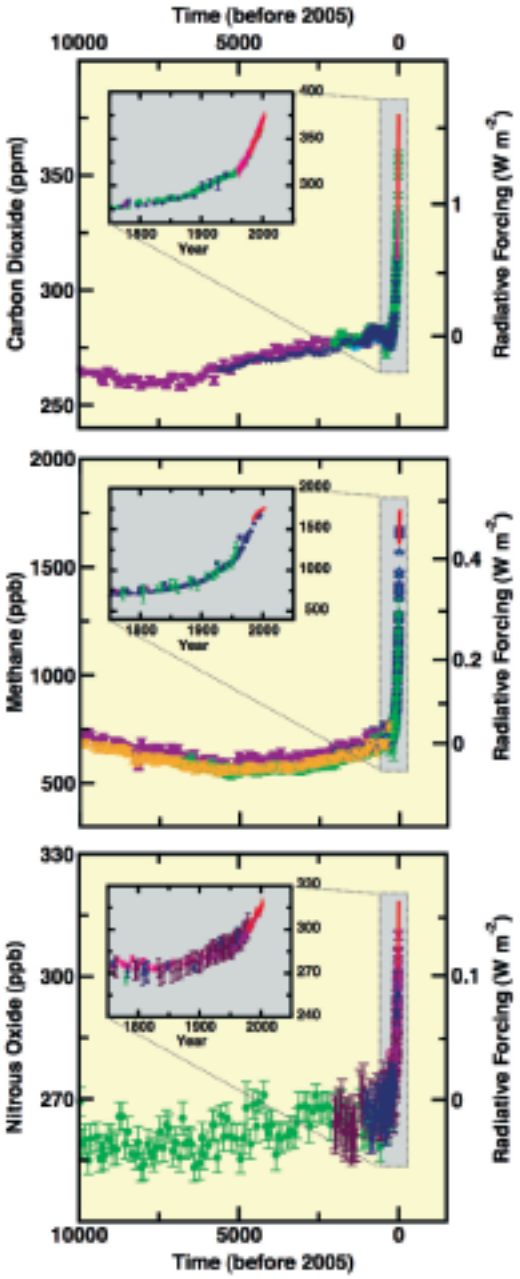
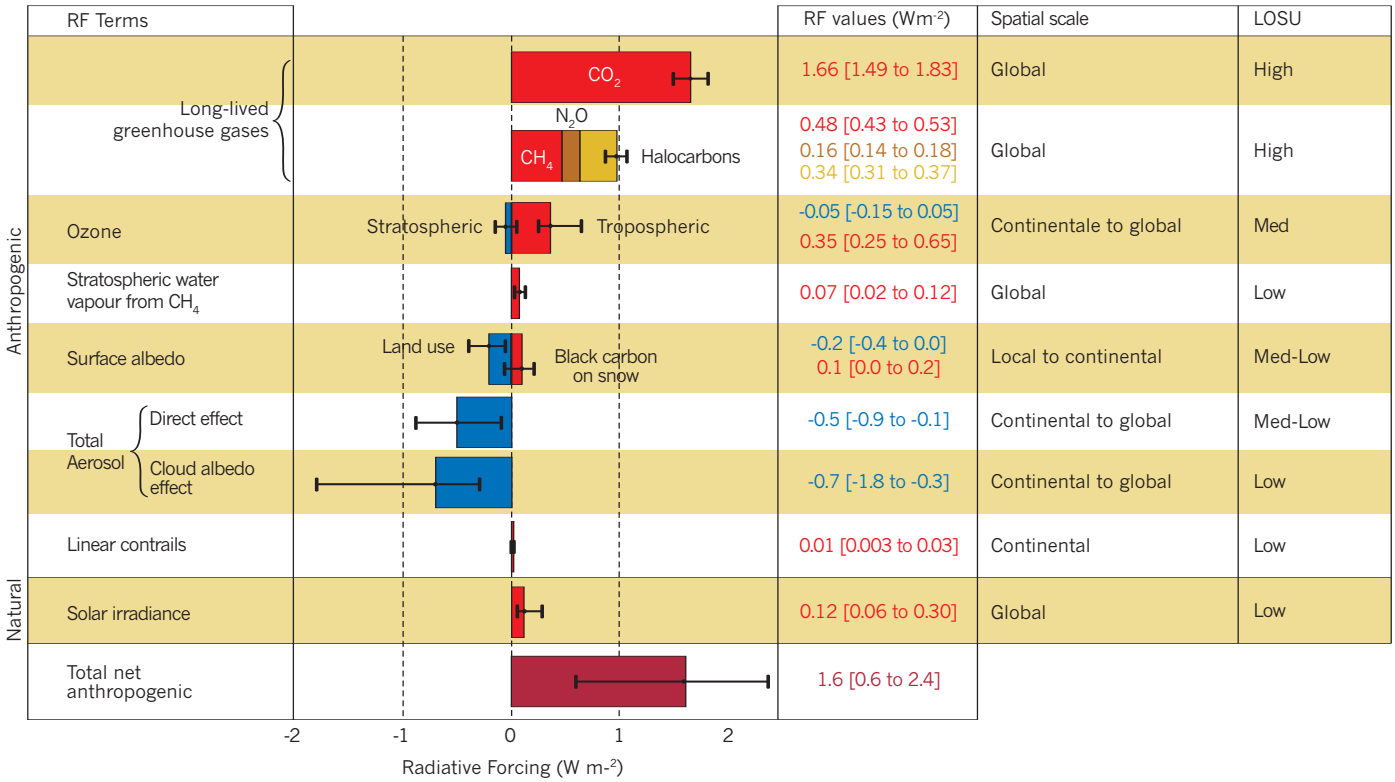


Figura SPM-1. Variazioni dei gas serra ricavate da dati attuali e carote di ghiaccio. Concentrazioni atmosferiche di biossido di carbonio, metano e monossido di azoto nel corso degli ultimi 10.000 anni (riquadri grandi) e a partire dal 1750 (riquadri di dettaglio). Le misure provengono da carote di ghiaccio (simboli con colori diversi per i vari studi) e da campioni atmosferici (linee rosse).
I corrispondenti forzanti radiativi sono indicati nell'asse sul lato destro dei riquadri grandi. {Figura 6.4}

Time (before 2005) = Anni (prima del 2005);
Carbon Dioxide = Biossido di carbonio; *Year* = Anno;
Methane = Metano; *Nitrous Oxide* = monossido di azoto;
Radiative Forcing = Forzante radiativo

***Figure SPM-1. Changes in greenhouse gasesfrom ice-core and modern data**. Atmospheric concentrations of carbon dioxide, methane and nitrous oxide over the last 10,000 years (large panels) and since 1750 (inset panels). Measurements are shown from ice cores (symbols with different colours for different studies) and atmospheric samples (red lines). The corresponding radiative forcings are shown on the right hand axes of the large panels. {Figure 6.4}*

©IPCC 2007: WGI-AR4



©IPCC 2007: WGI-AR4

Figura SPM-2. Componenti del forzante radiativo (RF). Stime del forzante radiativo (RF) medio globale, e dei relativi intervalli, nel 2005 per il biossido di carbonio (CO_2) antropogenico, il metano (CH_4), il monossido di azoto (N_2O) e altri agenti e meccanismi importanti, unitamente alla tipica estensione geografica (scala spaziale) del forzante e al livello stimato delle conoscenze scientifiche (LOSU). Sono inoltre indicati il forzante radiativo antropogenico netto e il suo intervallo. Ciò richiede l'esecuzione della somma delle stime asimmetriche dell'incertezza relativa ai vari componenti, e non può essere ottenuta mediante una semplice addizione. Si ritiene che gli ulteriori fattori forzanti non inclusi in questa abbiano un livello delle conoscenze scientifiche (LOSU) molto basso. Gli aerosol di origine vulcanica costituiscono un ulteriore forzante naturale, ma non sono qui considerati a causa della loro natura occasionale. L'intervallo relativo alle scie di condensazione lineari non comprende altri eventuali effetti dell'aviazione sulla nuvolosità. {2.9, Figura 2.20}

RF Terms = Termini RF; *RF Values* = Valori RF; *Spatial scale* = Scala spaziale; *Long-lived greenhouse gases* = Gas-serra a lunga vita; *Ozone* = Ozono; *Stratospheric water vapour from CO_4* = Vapore acqueo stratosferico da CH_4; *Surface albedo* = Albedo della superficie; *Total Aerosol* = Aerosol totali; *Direct effect* = Effetto diretto; *Cloud albedo effect* = Effetto dell'albedo delle nuvole; *Linear contrails* = Scie di condensazione lineari; *Solar irradiance* = Irraggiamento solare; *Total net anthropogenic* = Totale netto antropogenico; *Stratospheric* = Stratosferico; *Land use* = Uso del suolo; *Halocarbons* = Alocarburi, *Tropospheric* = Troposferico; *Black carbon on snow* = Nero fumo su neve; *Global* = Globale; *Continental to global* = Da continentale a globale; *Local to continental* = Da locale a continentale; *Continental* = Continentale, *High* = Alto; *Med* = Medio; *Low* = Basso; *Anthropogenic* = Antropogenico; *Natural* = Naturale; *Radiative Forcing* = Forzante radiativo

Figure SPM-2. Radiative Forcing Components. *Global-average radiative forcing (RF) estimates and ranges in 2005 for anthropogenic carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O) and other important agents and mechanisms, together with the typical geographical extent (spatial scale) of the forcing and the assessed level of scientific understanding (LOSU). The net anthropogenic radiative forcing and its range are also shown. These require summing asymmetric uncertainty estimates from the component terms, and cannot be obtained by simple addition. Additional forcing factors not included here are considered to have a very low LOSU. Volcanic aerosols contribute an additional natural forcing but are not included in this figure due to their episodic nature. Range for linear contrails does not include other possible effects of aviation on cloudiness. {2.9, Figure 2.20}*

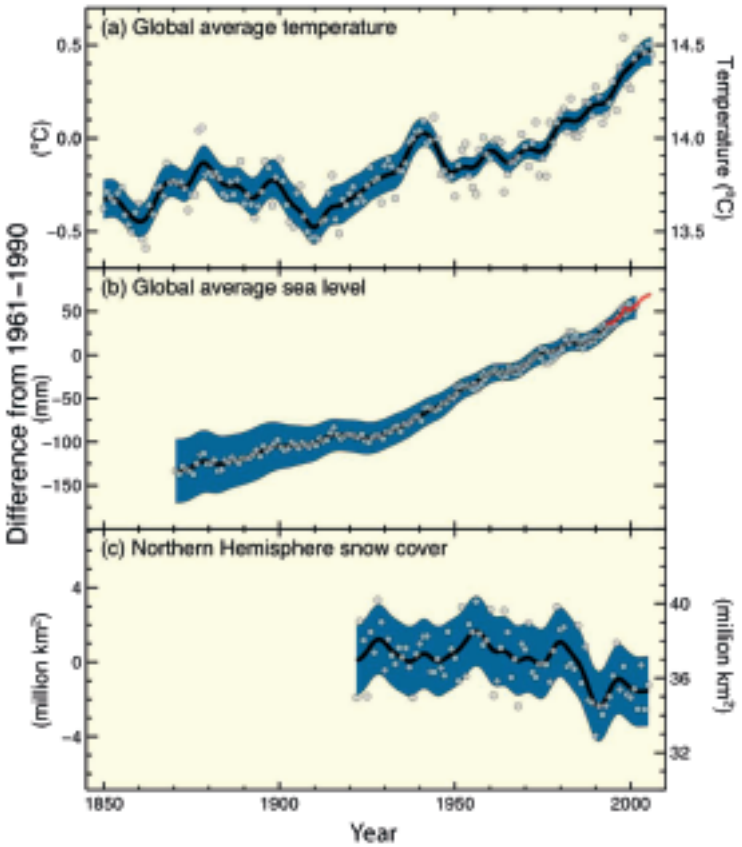
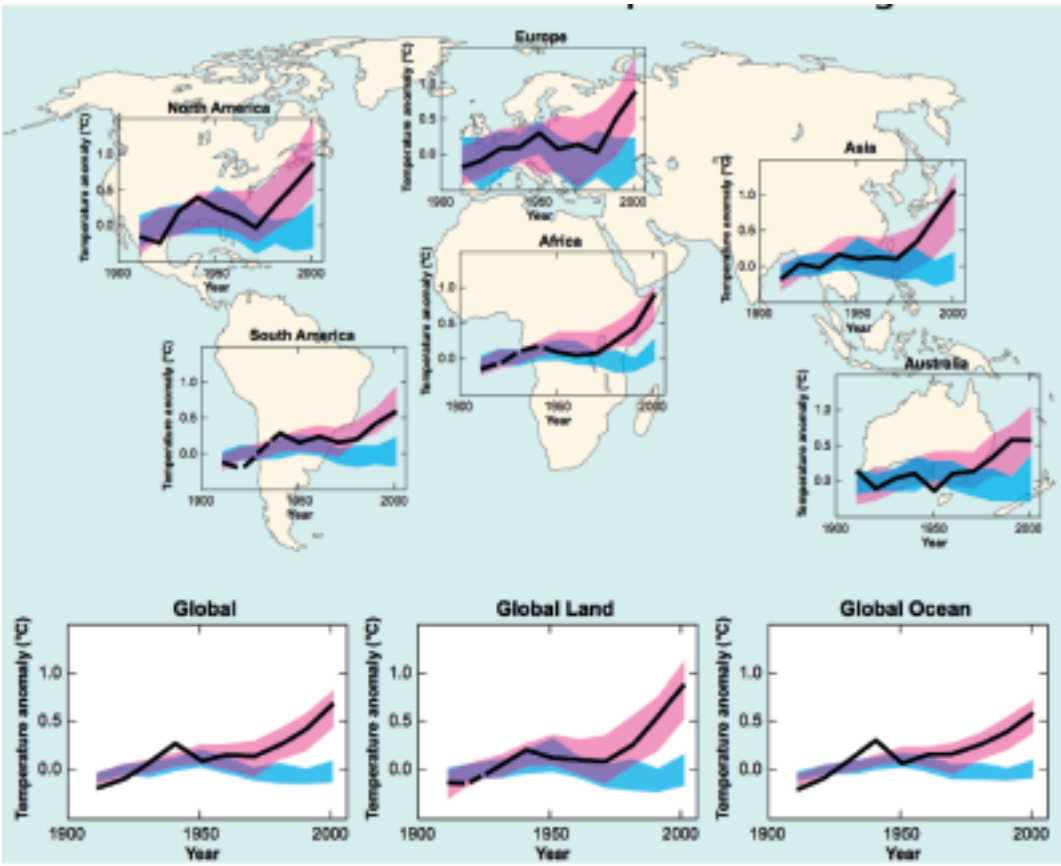


Figura SPM-3. Variazioni della temperatura, del livello dei mari e del manto nevoso nell'emisfero nord. Variazioni osservate (a) della temperatura media globale della superficie, (b) dell'aumento medio globale del livello dei mari sulla base dei dati di mareografi (blu) e satelliti (rosso) e (c) manto nevoso medio dell'emisfero nord nel periodo marzo-aprile. Tutte le variazioni si intendono rispetto alle relative medie per il periodo 1961 - 1990. Le curve regolarizzate rappresentano valori medi decennali, mentre i cerchi bianchi mostrano i valori annuali. Le aree ombreggiate rappresentano gli intervalli di incertezza stimati a partire da una analisi esauriente delle incertezze note (a e b) e dalla serie temporale (c). {FAQ 3.1, Figura 1, Figura 4.2 e Figura 5.13}

Global Mean Temperature = Temperatura media globale; *Global average sea level* = Livello medio globale del mare; *Northern hemisphere snow cover* = Manto nevoso nell'emisfero nord; *Difference from 1961 - 1990* = Differenza tra il 1961 e il 1990; *Million* = Milioni; *Temperature* = Temperatura; Year = Anno

Figure SPM-3. Changes in temperature, sea level and northern hemisphere snow cover*. Observed changes in (a) global average surface temperature; (b) global average sea level rise from tide gauge (blue) and satellite (red) data and (c) Northern Hemisphere snow cover for March-April. All changes are relative to corresponding averages for the period 1961-1990. Smoothed curves represent decadal averaged values while circles show yearly values. The shaded areas are the uncertainty intervals estimated from a comprehensive analysis of known uncertainties (a and b) and from the time series (c). {FAQ 3.1, Figure 1, Figure 4.2 and Figure 5.13}*



©IPCC 2007: WGI-AR4

Figura SPM-4. Cambiamento della temperatura a livello globale e continentale. Confronto fra le variazioni della temperatura alla superficie osservate su scala continentale e globale, da un lato, e i risultati delle simulazioni eseguite mediante i modelli del clima che utilizzano forzanti naturali e antropogenici. Le medie decennali delle osservazioni relative al periodo 1906 - 2005 (linea nera) sono riportate al centro del decennio e sono relative alla media corrispondente per il periodo 1901 - 1950. Le linee tratteggiate si riferiscono ai casi in cui la copertura spaziale è inferiore al 50%. Le fasce con ombreggiatura blu mostrano l'intervallo 5 - 95% per 19 simulazioni realizzate con 5 modelli del clima che utilizzano soltanto i forzanti naturali dovuti all'attività solare e ai vulcani. Le fasce con ombreggiatura rossa mostrano l'intervallo 5 - 95% per 58 simulazioni realizzate con 14 modelli del clima che utilizzano forzanti sia naturali, sia antropogenici. {FAQ 9.2 e Figura 1}

Temperature anomaly = Anomalia della temperatura; *Global* = Globale; *Global land* = Globale, terre emerse; *Global ocean* = Globale, oceani; *Year* = Anno

Figure SPM-4. Global and Continental Temperature Change. *Comparison of observed continental- and global-scale changes in surface temperature with results simulated by climate models using natural and anthropogenic forcings. Decadal averages of observations are shown for the period 1906–2005 (black line) plotted against the centre of the decade and relative to the corresponding average for 1901–1950. Lines are dashed where spatial coverage is less than 50%. Blue shaded bands show the 5–95% range for 19 simulations from 5 climate models using only the natural forcings due to solar activity and volcanoes.*
Red shaded bands show the 5–95% range for 58 simulations from 14 climate models using both natural and anthropogenic forcings. {FAQ 9.2, Figure 1}

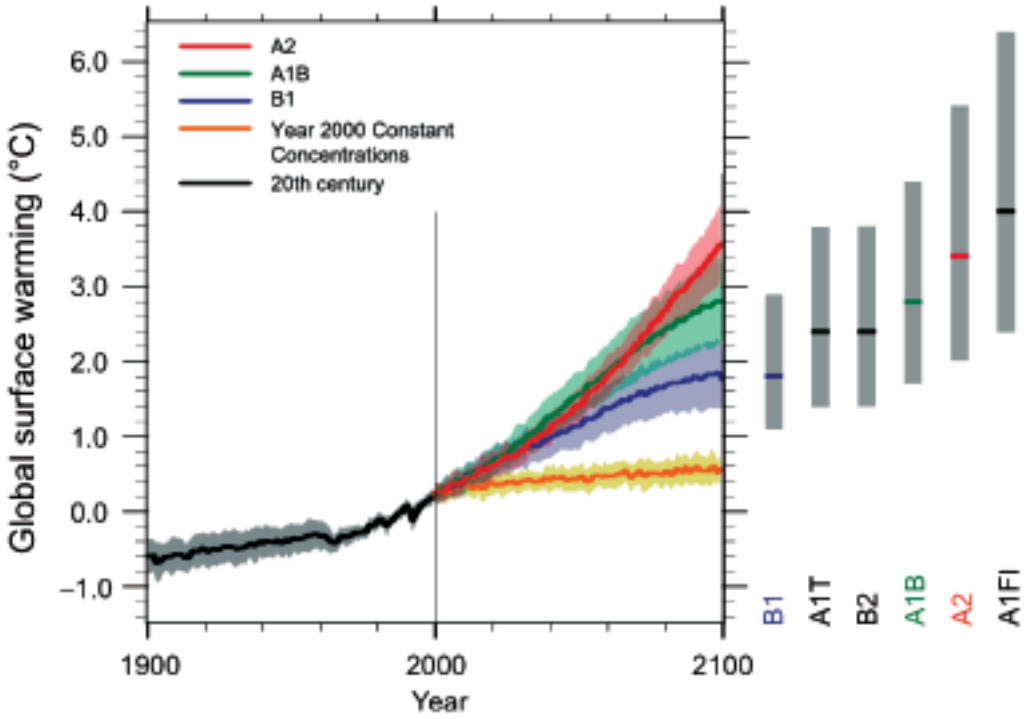
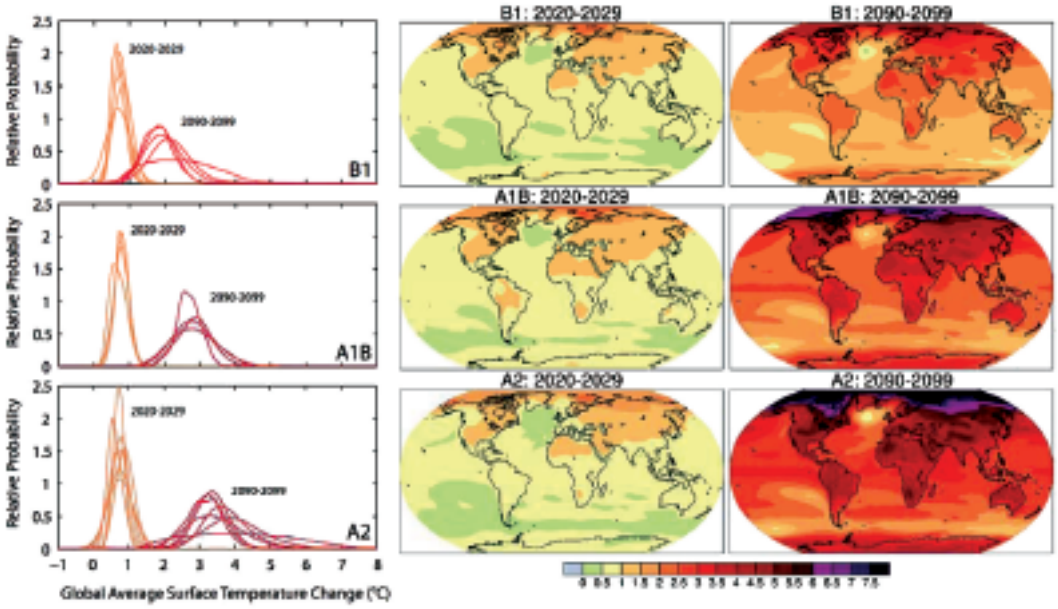


Figura SPM-5. Stima su più modelli delle medie e degli intervalli stimati del riscaldamento della superficie. Le linee continue rappresentano medie globali su più modelli del riscaldamento della superficie (rispetto al periodo 1980 - 1999) per gli scenari A2, A1B e B1, mostrate come continuazione delle simulazioni relative al XX secolo. Le ombreggiature indicano l'intervallo pari a più/meno una deviazione standard delle medie annuali dei singoli modelli. La linea arancione si riferisce all'esperimento nel quale i valori di concentrazione sono stati mantenuti costanti al livello del 2000. Le barre grigie sulla destra indicano la migliore stima (linea continua di ciascuna barra) e l'intervallo stimato come *probabile* per i sei scenari di riferimento SRES. La valutazione della migliore stima e degli intervalli *probabili* all'interno delle barre grigie include i modelli AOGCM indicati nella parte sinistra della figura, nonché i risultati di una gerarchia di modelli indipendenti e di vincoli osservativi. {Figure 10.4 e 10.29}

Global surface warming = Riscaldamento globale della superficie; *Year 2000 constant concentration* = Concentrazioni costanti al livello dell'anno 2000; *20th century* = XX secolo

Figure SPM-5. Multi-model averages and assessed ranges for surface warming*. Solid lines are multi-model global averages of surface warming (relative to 1980-99) for the scenarios A2, A1B and B1, shown as continuations of the 20th century simulations. Shading denotes the plus/minus one standard deviation range of individual model annual averages. The orange line is for the experiment where concentrations were held constant at year 2000 values. The gray bars at right indicate the best estimate (solid line within each bar) and the likely range assessed for the six SRES marker scenarios. The assessment of the best estimate and likely ranges in the gray bars includes the AOGCMs in the left part of the figure, as well as results from a hierarchy of independent models and observational constraints. {Figures 10.4 and 10.29}*

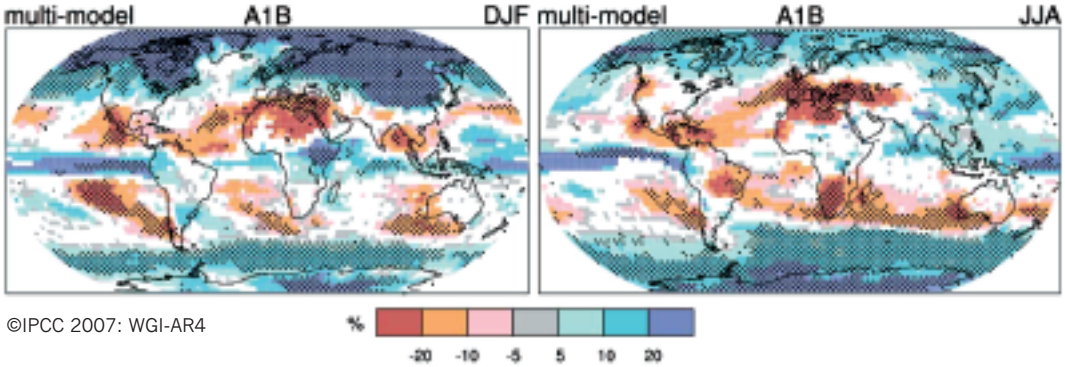


©IPCC 2007: WGI-AR4

Figura SPM-6. Proiezioni dei modelli AOGCM relative alle temperature alla superficie. Proiezione delle variazioni della temperatura alla superficie per le parti iniziale e finale del XXI secolo rispetto al periodo 1980 - 1999. Il quadro centrale e quello di destra mostrano le proiezioni medie su più modelli della circolazione generale atmosferico-oceanica per gli scenari SRES B1 (in alto), A1B (al centro) e A2 (in basso); le medie si riferiscono ai decenni 2020 - 2029 (al centro) e 2090 - 2099 (a destra). Il quadro di sinistra mostra le rispettive incertezze sotto forma di probabilità relative del riscaldamento medio globale stimato per vari studi AOGCM ed EMIC relativi agli stessi periodi. Alcuni presentano risultati soltanto per un sottoinsieme degli scenari SRES o versioni diverse dei modelli. La differenza del numero di curve mostrate nei quadri di sinistra è pertanto dovuta unicamente alle differenze nella disponibilità dei risultati. {Figure 10.8 e 10.28}

Relative probability = Probabilità relativa; *Global average surface temperature change* = Variazione della temperatura media globale alla superficie

Figure SPM-6. AOGCM Projections of Surface Temperatures*. Projected surface temperature changes for the early and late 21st century relative to the period 1980–1999. The central and right panels show the Atmosphere-Ocean General Circulation multi-Model average projections for the B1 (top), A1B (middle) and A2 (bottom) SRES scenarios averaged over decades 2020–2029 (center) and 2090–2099 (right). The left panel shows corresponding uncertainties as the relative probabilities of estimated global average warming from several different AOGCM and EMICs studies for the same periods. Some studies present results only for a subset of the SRES scenarios, or for various model versions. Therefore the difference in the number of curves, shown in the lefthand panels, is due only to differences in the availability of results. {Figures 10.8 and 10.28}*



©IPCC 2007: WGI-AR4

Figura SPM-7. Previsioni relative alla distribuzione delle variazioni delle precipitazioni. Variazioni relative delle precipitazioni (in percentuale) per il periodo 2090 - 2099 rispetto al periodo 1980 - 1999. I valori indicati sono medie su più modelli basate sullo scenario SRES A1B peri i periodi dicembre - febbraio (a sinistra) e giugno - agosto (a destra). Le aree bianche sono quelle in cui meno del 66% dei modelli concorda sul segno della variazione, mentre le aree punteggiate sono quelle in cui oltre il 90% dei modelli concorda sul segno della variazione. {Figura 10.9}

Figure SPM-7. Projected Patterns of Precipitation Changes*. Relative changes in precipitation (in percent) for the period 2090–2099, relative to 1980–1999. Values are multi-model averages based on the SRES A1B scenario for December to February (left) and June to August (right). White areas are where less than 66% of the models agree in the sign of the change and stippled areas are where more than 90% of the models agree in the sign of the change. {Figure 10.9}*