

Osservazione strumentale del clima terrestre

Nel corso del XVII secolo, mentre il globo stava sopportando una delle fasi più fredde della *Piccola Era Glaciale*, Galileo Galilei e il suo allievo Evangelista Torricelli idearono, rispettivamente, il termometro ed il barometro, inaugurando così il periodo delle rilevazioni strumentali dei parametri climatici della Terra. Nel 1654 il Granduca di Toscana Ferdinando II fondò l'Accademia del Cimento. Essa si occupava di raccogliere i dati della prima rete mondiale di osservatori meteorologici, con stazioni situate a Firenze, Pisa, Parma, Cutigliorno, Vallombrosa, Bologna, Milano, Innsbruck, Parigi e Varsavia. Pochi anni dopo (nel 1659) anche l'Inghilterra iniziava la registrazione sistematica delle temperature dell'aria, producendo la più lunga serie strumentale attualmente disponibile: la *Central England Temperature*. Serie altrettanto lunghe sono quelle relative a Berlino (dal 1700), Germantown (dal 1731), Milano (dal 1740) e Stoccolma (dal 1756).

Al giorno d'oggi la temperatura dell'aria viene registrata in un gran numero di località per mezzo di termometri posti ad una altezza di 2 metri dal suolo e protetti dall'irraggiamento solare diretto, che ne altererebbe la lettura, in capannine meteorologiche ventilate. Attraverso le misurazioni termometriche è possibile individuare un parametro noto come «temperatura media globale del pianeta», am-

piamente usato per valutare l'andamento climatico della Terra. Dal momento che, nel dibattito sul *global warming*, il sopracitato parametro viene correntemente impiegato per sostenere la tesi del «surrisaldamento del sistema climatico», sembra doveroso chiarirne l'effettiva natura. Bisogna innanzitutto dire che la TMG non è una misurazione reale della temperatura ma solo un tentativo di valutare globalmente il contenuto energetico dell'atmosfera al livello del suolo. Nel presente paragrafo esamineremo in dettaglio la complessità delle procedure che ne consentono la determinazione.

Le temperature sulla superficie terrestre variano in maniera significativa principalmente in funzione della latitudine. Tuttavia, anche in una stessa regione, esse possono cambiare notevolmente a seconda dell'altitudine. Per questo motivo, se si vuole «fotografare» l'andamento climatico di una determinata area, è necessario innanzitutto che vi siano numerosi centri di rilevamento. In secondo luogo occorre procedere nel calcolo di una «media spaziale» delle temperature, pesata in base alla frazione di territorio che compete alla singola unità operativa. In altri termini, l'importanza di ogni osservatorio è proporzionale all'estensione del territorio da esso rappresentato. La media spaziale così ottenuta viene definita «temperatura media globale della regione»⁶⁹.

Affinché questo parametro sia significativo da un punto di vista fisico, è necessario che ogni stazione meteo rappresenti una porzione di territorio sufficientemente piccola, in modo che non vi siano variazioni apprezzabili della temperatura dovute a differenti caratteristiche ambientali. Per intenderci, se una stazione di misurazione rappresenta un territorio molto vasto, comprendente sia pianure costiere sia zone montane, i dati rilevati non possono rappresentare i fenomeni fisici che avvengono in tutta l'area.

È facile intuire come la valutazione della suddetta media spaziale

⁶⁹ Può essere «media giornaliera globale» se per ogni osservatorio si sono considerate le temperature medie della giornata, «media mensile globale» se per ogni osservatorio si sono considerate le temperature medie mensili e così via.

sull'intero pianeta (o in generale su una zona molto estesa) non sia affatto un compito agevole; essa infatti richiede di elaborare le temperature individuate dalle migliaia di basi meteorologiche distribuite nei vari continenti e dei rilevamenti fatti a bordo delle navi.

Ma non è tutto. I punti di misurazione sono numerosi nei paesi industrializzati e densamente popolati, mentre sono scarsi nei paesi in via di sviluppo. Le stazioni meteo africane spesso sono isolate e coprono territori molto vasti; pertanto, come si è visto, i loro dati non possono essere considerati significativi.

Se poi si vuole che la temperatura media globale venga valutata non solo su scale spaziali molto ampie, ma anche per intervalli di tempo abbastanza lunghi da ricavarne informazioni sull'andamento climatico (quindi su scale temporali dell'ordine del secolo o maggiori) bisogna disporre, per ogni osservatorio scelto, di registrazioni affidabili. Ciò, a differenza di quanto si potrebbe pensare, non è affatto facile per diversi motivi. In primo luogo, nei rilevamenti di una singola unità potrebbero mancare i dati pertinenti ad un determinato momento storico, in secondo luogo non tutte le stazioni dispongono di misurazioni relative allo stesso lasso di tempo⁷⁰. Inoltre, nella maggior parte dei casi, tali dati non dipendono solo dalla valutazione della grandezza fisica «temperatura dell'aria», ma risentono anche di perturbazioni esterne dovute ad esempio alla sostituzione della strumentazione, allo spostamento del punto di misura in luoghi con diverse situazioni microclimatiche o al muta-

⁷⁰ Spesso le stazioni che hanno cominciato per prime l'attività sono state chiuse o spostate in altre sedi. Inoltre, durante i primi pionieristici anni di rilevazioni strumentali, sovente si riscontrano lunghi periodi di mancate registrazioni; ad esempio l'operatore della stazione di Alco (Alabama) si scusa per non aver potuto eseguire i rilevamenti nell'ottobre 1897, in quanto posto in quarantena a causa di un'epidemia di febbre gialla. Thomas W. Carter, addetto alla strumentazione di Madison (Alabama) riporta, nel dicembre 1918, di non aver potuto eseguire il suo lavoro per 16 giorni in quanto colpito dalla violenta epidemia di quell'anno. Il 24 luglio del 1924 un tornado si abbatté sull'osservatorio spazzando via le capannine. Per nove giorni non furono effettuati rilevamenti. (Christy. *When was the hottest summer?* «Bulletin of American Meteorological Society», 2002).

mento delle condizioni di urbanizzazione attorno ad esso. Di conseguenza, le registrazioni termometriche su scale temporali molto lunghe risentono di un «rumore» non dovuto a reali variazioni nelle condizioni climatiche. Occorre dunque «pulire» i dati in modo che rimanga solamente il segnale dovuto a effettive oscillazioni termiche e si possano confrontare serie di valori registrati in tempi e in punti diversi del territorio. Questo processo di aggiustamento è denominato «omogeneizzazione». Una serie temporale di temperature è detta «omogenea» se le modificazioni che essa presenta «sono dovute esclusivamente ai capricci del tempo o del clima» (Jones *et al.*, 1999). Ovviamente i criteri di omogeneizzazione non sono unici e ogni autore può utilizzare quelli ritenuti più opportuni: è stato dimostrato che il risultato finale dipende dalla procedura di aggiustamento adottata e pertanto il risultato non è univoco (Balling, 2002). Non a caso, come vedremo in seguito, la determinazione delle temperature medie globali è stata oggetto di frode.

Un ulteriore problema risiede nella scarsità di dati relativi alla temperatura dell'aria sopra il livello del mare, il quale ricopre circa il 70% della superficie terrestre. Le rilevazioni a disposizione sono quelle effettuate dal personale a bordo delle navi e relative all'acqua (SST, *Sea Surface Temperature*). Anche in questo caso sono tuttavia necessari alcuni aggiustamenti. Infatti, fino all'inizio degli anni '40 la misurazione veniva eseguita immergendo un termometro in un campione di acqua marina prelevata mediante un secchio; in seguito essa venne effettuata all'ingresso delle condotte di raffreddamento dei motori, collocate a maggiore profondità. L'effetto di questo aggiustamento è una delle maggiori cause di incertezza nella determinazione della temperatura media globale.

Temperatura media globale: non esistono verità assolute

Abbiamo visto come la temperatura media globale non sia una grandezza che si può misurare direttamente ma un indice che va calcolato in base ad un elevato numero di rilevazioni strumentali. Par-

tendo dallo stesso set di dati, cioè dalla stessa serie di letture termometriche, si possono ottenere differenti valori a seconda del procedimento algoritmico utilizzato, dei criteri per la scelta delle stazioni meteorologiche «utili» e del trattamento del «rumore» nelle serie di dati. Ovviamente la divulgazione dei metodi statistici di correzione adottati è prova dell'onestà e della chiarezza del procedimento.

Un esempio di quanto sia difficile applicare questa procedura anche a piccole aree è dato da John R. Christy che, in un articolo dal titolo *When was the hottest summer?*, pubblicato nel maggio 2002 sul «Bulletin of American Meteorological Society», illustra le difficoltà inerenti la valutazione della temperatura estiva globale di una piccola area dell'Alabama settentrionale (Christy, 2002). L'apparentemente semplice domanda: «è mai stato così caldo prima d'ora?» comporta una risposta per nulla semplice.

«Ciò che ostacola la nostra possibilità di rispondere è la mancanza di registrazioni affidabili e consistenti delle variabili climatiche su scale centenarie, così che possa essere stimata con una qualche affidabilità la probabilità di eventi che avvengono solo alcune volte in un secolo (...).»

Non sono solo i dati raccolti dalle prime stazioni di rilevamento a risentire delle lacune appena accennate; anche le misurazioni recenti, «apparentemente» più affidabili, presentano numerosi problemi di omogeneità. Si riporta, a titolo di esempio, il caso dell'osservatorio di Athens (Alabama), incluso da Christy nel set di dati originale e successivamente scartato. Infatti, a partire dal 1994, la temperatura registrata dall'osservatorio è all'incirca 1,5 °C superiore alla media di tre stazioni adiacenti e ben al di fuori dell'intervallo di errore stimato (fig. 22). Tale deviazione verso l'alto non è giustificata da nessun documento relativo a sostituzioni, spostamenti della strumentazione o altro, pertanto si tratta di un trend di riscaldamento «spurio»⁷¹ (probabilmente dovuto a malfunzionamento della strumentazione) non fisicamente significativo.

⁷¹ Ossia non dovuto ad una reale variazione della temperatura.

Christy cita inoltre il caso dell'osservatorio dell'Huntsville National Weather Service (Huntsville, Alabama) che nel 1958 si trovava all'interno dell'area urbana; nel 1967 venne spostato 18 km più ad Est, in una zona di campi coltivati, ed attualmente è situato presso l'aeroporto della città. Nell'ambito dell'area aeroportuale il punto di misura è stato ulteriormente trasferito dalle adiacenze del terminal, un'area asfaltata, in una zona senza tracce di urbanizzazione e, di conseguenza, con un microclima diverso. Il trasferimento è stato inoltre accompa-

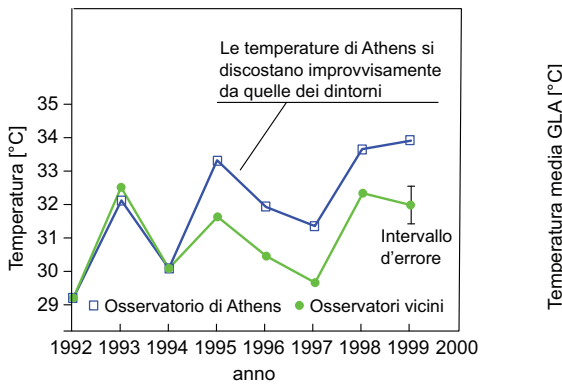


Figura 22. Serie temporale delle temperature massime medie estive (GLA, giugno, luglio e agosto) nell'osservatorio di Athens (Alabama) e media di tre stazioni adiacenti. Esempio di un *trend* spurio (Christy, 2002).

gnato da due sostituzioni della strumentazione. Poiché tutti questi eventi sono documentati, occorre valutare il loro impatto sulla serie delle temperature. L'autore stima che lo spostamento dell'aeroporto di Huntsville dall'area cittadina a quella rurale abbia introdotto una deviazione verso il basso di circa $-0,36$ °C, allo stesso modo la sostituzione della strumentazione ne avrebbe comportato una di $-0,3$ °C. L'entità della correzione va determinata mediante il confronto con le serie delle stazioni vicine, confronto che potrebbe non risultare facile qualora il territorio fosse fortemente disomogeneo, con brusche variazioni di altimetria o condizioni di urbanizzazione. Al termine di

questa complessa procedura Christy può ricavare la serie temporale delle temperature massime estive relative all'Alabama settentrionale (fig. 23), rispondendo quindi alla domanda posta nel titolo: qual è stata l'estate più calda?

«Probabilmente il 1925 (34,91 °C, temperatura massima globale per i mesi estivi GLA). (...) Comunque il 1952 (34,785 °C), il 1930 (34,74 °C), il 1954 (34,72 °C), il 1936 e il 1943 (entrambi 34,59 °C) sono all'interno del margine di errore di $\pm 0,4$ °C. (...) Il mese più caldo è stato molto probabilmente il luglio 1930, con 36,87 °C. (...)

Le procedure di «correzione» introducono un certo grado di incertezza nel risultato, tanto più alto in funzione dell'ampiezza del territorio ma anche dell'estensione della fase temporale, in quanto i dati disponibili si diradano (ad esempio le stazioni utilizzabili, secondo Christy, per ricostruire il panorama climatico nel 1912 sono solo 2, contro le 13 degli ultimi decenni).

In conclusione del suo lavoro, lo studioso ammette onestamente:

«Durante il tempo necessario a descrivere la metodologia utilizzata per rispondere, colui che domanda rimane in genere confuso e perde interesse. (...) Noi abbiamo la tendenza a deluderlo con la nostra incapacità di dare risposte definitive, poiché i dati climatici devono essere accompagnati dai relativi livelli di incertezza. Questa necessità è difficile da trasferire al pubblico o ai media che generalmente credono che 'incerto' significhi 'erroneo' o 'inutile'. Nessuno mai si aspetterebbe un titolo di testa che dicesse: 'le temperature estive sono tra le settime e le dodicesime dal 1893 con una confidenza del 95%', sebbene ciò sia altamente accurato [N.d.R. da un punto di vista scientifico]».

Ed infine:

«L'implicazione di questo studio è che spesso non possiamo fornire una risposta al pubblico o ai media con la certezza che loro si aspettano dagli scienziati».

Purtroppo la stessa onestà non contraddistingue gran parte del mondo scientifico. «Trucchi» nell'elaborazione dei dati hanno portato a clamorosi falsi, spacciati come l'evidenza incontestabile di un pia-

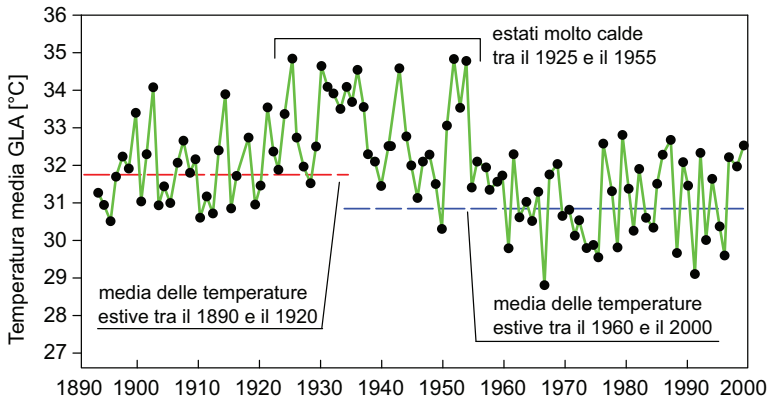


Figura 23. Temperature massime estive (GLA) medie per l'Alabama settentrionale, nel periodo 1893-2000. Come si vede le ultime estati non sono state affatto roventi. Negli anni tra il 1920 e il 1950 le massime della stagione estiva sfioravano i 35 °C, mentre dal 1960 al 2000 hanno raggiunto a malapena i 32 °C.

neta che si surriscaldava. Al contrario i risultati del lavoro appena discusso mostrano che, considerate le procedure di correzione e i relativi margini di incertezza, le estati di fine secolo non sono state affatto roventi come vorrebbero i sostenitori dell'effetto serra. Viceversa, esse sono state molto più fresche rispetto ai mesi estivi degli anni dal 1925 al 1955. Addirittura, la media delle massime estive dal 1960 al 2000 è inferiore alla corrispondente di inizio secolo. Cioè cento anni fa in Alabama faceva più caldo di oggi.

La temperatura globale del XX secolo. Andamento e incertezza nelle stime

Oltre a evidenziare i problemi inerenti la definizione di una serie temporale di temperature globali, l'analisi di Christy porta alla luce un altro aspetto molto importante: l'incertezza del risultato. In una regione abbastanza piccola (quindi caratterizzata da una buona copertura geografica delle stazioni e da uniformità del territorio) quale

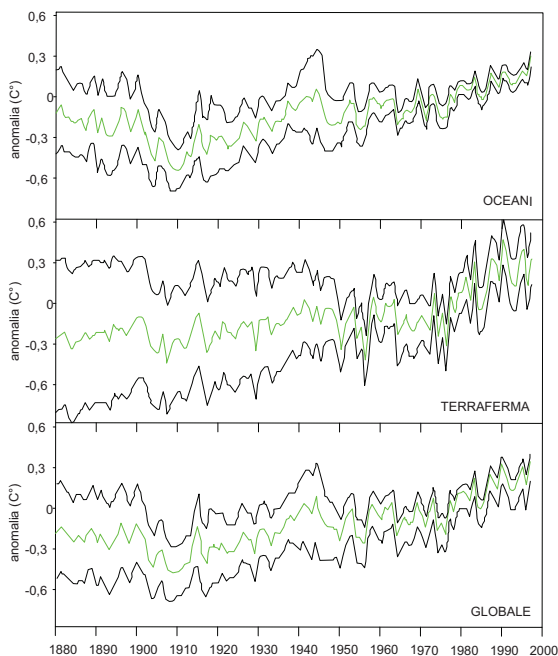


Figura 24. Anomalie della temperatura media annuale globale degli oceani (SST), media annuale globale delle terre emerse (LST) e media annuale globale (Smith, 2005).

L'anomalia di temperatura è lo scostamento dalla media corrispondente agli anni 1961-1990. È mostrato anche l'intervallo di errore relativo ad un intervallo di confidenza del 95% (nel quale c'è il 95% di probabilità che si trovi il risultato «vero»).

quella da lui considerata, l'incertezza è risultata di $\pm 0,4$ °C.

Nella figura 24 si riporta una recente ricostruzione della temperatura globale terrestre, nella quale vengono evidenziate le variazioni relative alle acque superficiali oceaniche e alla terraferma, nonché la media globale. I dati utilizzati corrispondono a osservazioni effettuate tra la latitudine 60° S e 60° N, vista la scarsa copertura geografica delle latitudini estreme (Smith *et al.*, 2005).

Un dato balza subito agli occhi: il riscaldamento di questo secolo non è uniforme. La temperatura globale terrestre è rimasta pressoché invariata dal 1880 al 1915; dal 1910 al 1945 si ha un deciso aumento, dopodiché è diminuita leggermente fino al 1970. Infine, dal 1970 ai nostri giorni, c'è stato un ulteriore incremento. Complessivamente, «il riscaldamento del XX secolo è di circa +0,6 °C. Ma a causa delle incertezze nella stima esso può essere valutato, con una certa affidabilità, tra +0,3 °C e +0,9 °C» (Smith *et al.*, 2005). Queste incertezze sono

state fatte passare sotto assoluto silenzio dai sostenitori del riscaldamento globale.

Gli stessi risultati emergono da studi precedenti. Secondo C.K. Folland la variazione delle temperature alla superficie terrestre nel XX secolo è circa $0,57\text{ °C} \pm 0,17\text{ °C}$ e l'emisfero Sud, dominato da vaste distese oceaniche, presenta un tasso di riscaldamento più basso ($0,48\text{ °C} \pm 0,15\text{ °C}$) (Folland *et al.*, 2001). La temperatura media degli oceani (SST) presenta una minore variabilità rispetto a quella al di sopra della terraferma, in virtù della maggiore capacità dell'acqua di trattenere il calore.

Gli andamenti evidenti su scala planetaria sono sostanzialmente confermati da uno studio climatico relativo agli USA, il cui database è forse il più curato ed affidabile del pianeta. L'analisi è stata effettuata nel periodo che va dal 1910 al 1997, utilizzando le temperature rilevate giornalmente da 1.062 stazioni climatiche sul territorio di 48 stati (esclusi Hawaii e Alaska) (Knappenberger *et al.*, 2001). Anche in questo caso è evidente il pronunciato riscaldamento di inizio secolo, una fase di raffreddamento tra il 1940 e il 1969 e un successivo incremento delle temperature (fig. 25).

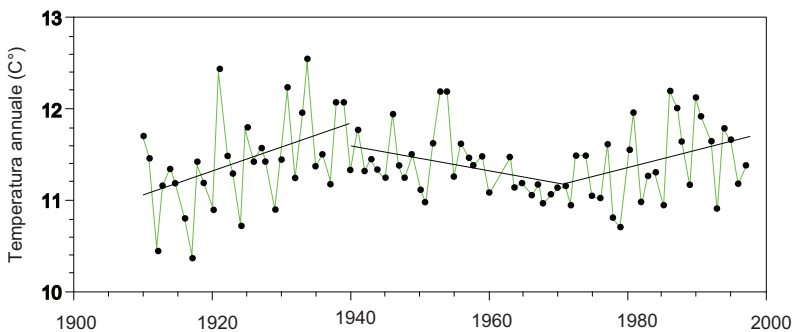


Figura 25. Temperatura media annuale nel territorio degli Usa continentali tra il 1910 e il 1997.

Patrick Michaels, professore di Scienze dell'Ambiente presso la University of Virginia, ex presidente dell'American Association of State Climatologists nonché autore e revisore dell'IPCC, fa giustamente osservare come il riscaldamento o raffreddamento della terra non abbia nulla a che fare con la CO₂ emessa dall'uomo.

«Nel periodo tra il 1905 e il 1940, in cui il mondo occidentale viveva le guerre e le crisi economiche con un arretramento dello sviluppo industriale e quindi con miseria e poche attività umane nei confronti dell'ambiente, la temperatura globale è aumentata notevolmente. Invece tra il 1945 e il 1975, periodo di boom economico e con uno sviluppo industriale mai registrato, la temperatura è diminuita»⁷².

Dello stesso parere è anche Willie Soon, astrofisico presso la Solar and Stellar Physics Division dell'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics:

«L'incremento totale di temperatura pari a circa +0.5 °C che si è verificato nel XX secolo è spesso citato per sostenere l'ipotesi del riscaldamento globale (...) D'altro canto, poiché circa l'80% dell'aumento delle concentrazioni di CO₂ in atmosfera è avvenuto *dopo* che si era verificata la parte più consistente di tale incremento, questo non può esserne stato la causa»⁷³.

Queste osservazioni sono sintetizzate nella figura 26, in cui si riportano due ricostruzioni della temperatura media globale della Terra (tra cui quella utilizzata dal *Working Group I* dell'IPCC nel *Fourth Assessment Report*⁷⁴) e la curva di utilizzo dei combustibili fossili, ossia la produzione di CO₂ da parte dell'uomo (Marland, 2007). È evidente come l'emissione in atmosfera della CO₂ di origine antropica non abbia nulla a che fare con la prima fase di riscaldamento di inizio secolo. È altrettanto evidente che tra il 1940 e il 1980, mentre le tem-

⁷² N. Materi. *Il Nobel ci ripensa: d'effetto serra? un bluff*. «Il Giornale», 4 novembre 2007.

⁷³ Soon *et al.*, *Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide*. «Climate Research», vol. 13, 1999.

⁷⁴ Quarto rapporto di valutazione dell'IPCC. L'Intergovernmental Panel For Climate Change pubblica periodici *Report* sullo «stato dell'arte» in materia di clima. *Il Working Group I* fornisce la base scientifica per tali *Report*.

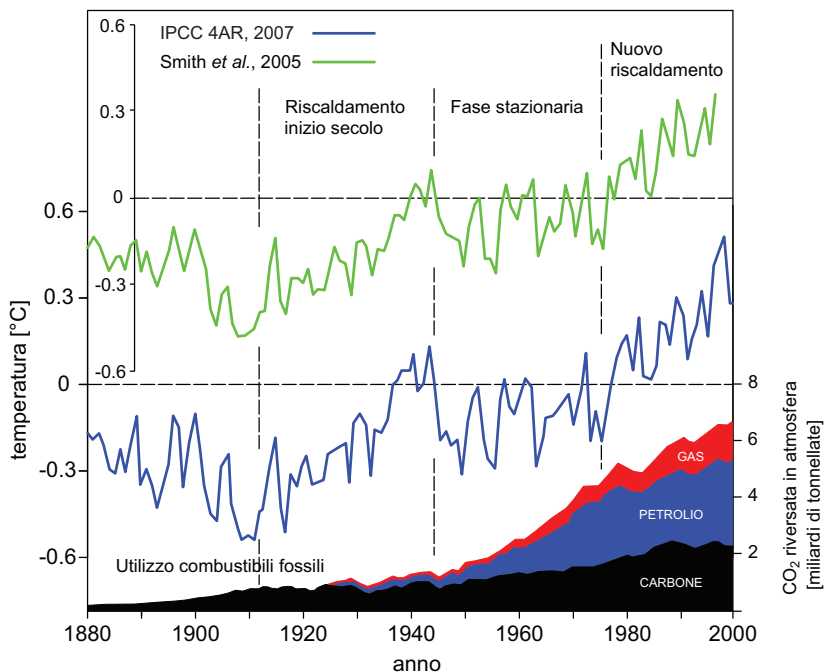


Figura 26. Raffronto tra diverse ricostruzioni della temperatura media globale della Terra e l'utilizzo di combustibili fossili da parte dell'uomo. Gran parte del riscaldamento di questo secolo ebbe luogo prima del 1940, quando il loro utilizzo era modesto (Smith *et al.*, 2005).

perature dell'aria alla superficie del pianeta diminuiscono ovunque, le emissioni di CO₂ aumentano del 250%.