

# I DATI RIGUARDANTI LA CRISI CLIMATICA: DUBBI E INCERTEZZE CHE RICHIEDONO UN'ANALISI BASATA SULLA SCIENZA DELLE MISURE

Franco Pavese

## Riassunto

*Questa breve nota tratta della analisi metrologica riguardo all'affidabilità generale di alcuni dei dati climatici sperimentali disponibili, specie quelli usati anche per la previsione degli andamenti futuri della temperatura superficiale dell'aria terrestre, e delle loro componenti di incertezza. Discute poi sulla precisione che ne consegue nell'inferire la situazione attuale, ed ancora, in particolare, riguardo all'uso delle conoscenze attuali per ottenere una previsione accurata dei comportamenti futuri.*

## Abstract

*This short note contains a metrological analysis about the general reliability of several of the climatic experimental data, namely those used also for the forecast of the future Earth surface air temperature trends, and on their uncertainty sources, with a discussion concerning the consequent precision of the inference about the current situation, and then, in particular, about the use of the current knowledge to make an accurate forecast of the future trends.*

**Parole chiave:** *Dati climatici di temperatura, Analisi metrologica, Incertezza, Previsione, Estrapolazione, Affidabilità.*

**Keywords:** *Climatic Temperature Data, Metrological Analysis, Uncertainty, Forecast, Extrapolation, Confidence.*

In ambito scientifico, i dati sperimentali vengono ottenuti da tempo con criteri, procedure e modi di comunicazione che consentano una loro valutazione intersoggettiva, con assegnato un predeterminato livello di confidenza (o di credibilità), in modo da poter essere *paragonati tra loro* e quindi formare delle base-dati affidabili. Con questa funzione, la metrologia costituisce l'insieme sistematico riconosciuto internazionalmente delle regole e standard in questo campo.

Gli studi ai livelli più alti di precisione in metrologia permettono agli studiosi di questa disciplina di acquisire una specifica competenza e sensibilità nel trattare i dati sperimentali, e di capirne più a fondo le proprietà, permettendo in molti casi di associare un livello di confidenza più elevato alle loro elaborazioni, specialmente per quanto riguarda la valutazione dell'incertezza.

Questo fatto è particolarmente critico quando lo scopo è quello di produrre mediante questi studi una informazione *globale* sullo stato dell'intero pianeta, riguardo alle sue condizioni termodinamiche, ed in particolare riguardo alla distribuzione della sua temperatura superficiale dell'aria, con l'obiettivo, ad esempio, di fornirne un valor medio significativo. Ciò perché tale proposito richiede di ottenere informazio-

ni da una varietà di luoghi della Terra in cui il livello di sviluppo scientifico e tecnico è estremamente vario, e mediamente ancora oggi *basso*, e perché la temperatura misurata in questi casi è un parametro termodinamico non solo strettamente *locale* ma anche necessariamente "normalizzato," ed inoltre perché è sempre misurata a tale scopo con strumenti *empirici*.

Infatti, i dati su tali misure, forniti da ciascuna "stazione metereologica," sono soggetti ad una normalizzazione prescritta dal WMO, il cui grado di precisione locale è affetto dalla qualità generale del controllo metrologico in ogni singolo Paese, che è certamente molto variabile, ma che non è verificabile "a posteriori" perché il dato fornito in base alle regole WMO *non* comprende l'incertezza stimata.

Tutti gli standard in quel campo, tranne quello METAR dell'aeronautica, prevedono che il valore di temperatura sia fornito con una cifra decimale, senza che ciò significhi che la precisione di misura sia  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  - quello METAR, aeronautico ma talora usato anche nei database climatici, riporta invece esclusivamente il valore intero, senza che ciò significhi che la precisione di misura sia  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

Questi dati *originali* privi dell'informazione sull'incertezza sono poi forniti alle Organizzazioni che

li devono elaborare (WMO, NASA, HadCRUT, ...) per ottenere il valor medio terrestre, che è per sua definizione un valore di consenso (cioè privato dell'incertezza).

Perciò si perdono, sin dall'inizio e spesso sino alla fine, delle fondamentali informazioni misuristiche locali: precisione di taratura del sensore (il termometro), livello di riferibilità delle tarature al campione nazionale, bilancio analitico di tutte le altre componenti di incertezza (normalmente predominanti) delle misure effettuate mediante le "stazioni meteorologiche", che sono i tre essenziali ed imprescindibili parametri necessari per ogni successiva valutazione metrologica (e quindi scientifica).

Dopo la raccolta globale, questi dati sono soggetti ad una serie grandissima di manipolazioni:

- normalizzazione;
- eliminazione di dati anomali;
- omogeneizzazione tramite medie;
- completamento per interpolazione dei dati (spazio-temporali) mancanti;
- introduzione di nuovi fattori di variabilità;

in modo da ottenere un reticolo completo di dati (in genere per km<sup>2</sup>). Alla fine di tale processo, nei loro ultimi Rapporti la NASA(IPCC) ha dichiarato una *precisione* di  $\pm 0,05$  °C ed HadCRUT di  $\pm 0,12$  °C.

Una serie (limitata ma di sicura validità metrologica) di articoli specifici sulla *realistica* incertezza associata alle stazioni meteorologiche indica invece mediamente una precisione di circa  $\pm 0,5$  °C, con una variabilità tra  $\pm 0,25$  °C e  $\pm 0,65$  °C circa, e con punte non infrequenti di  $\pm 1$  °C, specialmente in certe regioni terrestri. A ciò vanno poi aggiunte tutte le componenti di incertezza derivanti da *ciascuna* delle successive manipolazioni di cui sopra, per ottenere il *budget di incertezza* totale, sempre presente nelle valutazioni metrologicamente corrette e invece mancante in questi trattamenti dei dati. Nulla di quanto detto sinora può essere mitigato da metodi matematici o statistici, se non confondendo la precisione di misura con la coerenza finale del set di dati trattati. Incidentalmente, le misure fornite col metodo METAR forniscono solo un numero intero e con una precisione immediata di circa  $\pm 1,2$  °C, per cui nelle regioni in cui tale standard è usato (per esempio il Canada) i dati non possono essere "migliorati" nemmeno al livello dei decimi di grado Celsius. Infine, ad esempio, dati (1980-2020) elaborati direttamente dal database HadCRUT hanno mostrato una dispersione al 97,5% di livello di confidenza di  $\pm 0,33$  °C.

Pertanto, è metrologicamente impossibile che l'anomalia attuale di  $+1,2$  °C venga dichiarata avere una incertezza di  $0,05$  °C o  $\pm 0,12$  °C: realisticamente (e arrotondando l'incertezza) dovrebbe essere  $+(1,2 \pm 1)$  °C.

Ciò non significa che non si possa affermare che si sta verificando un aumento della temperatura, ma esso è così incerto che praticamente diventa quasi impossibile farne una previsione affidabile di variazione futura per estrapolazione (si veda oltre).

Per terminare ora con l'analisi della precisione della temperatura, aggiungo che se, invece di limitarsi al solo valor medio generale, si consultasse la mappa mondiale della distribuzione delle variazioni annuali delle temperature, si otterrebbero informazioni molto più importanti e complete. Tale distribuzione è molto più significativa, per vari motivi:

- (a) la variazione annuale risulta molto disomogenea, attualmente con la massima ed omogenea concentrazione dell'aumento nell'ultimo ventennio soltanto al disopra di circa 60 ° Nord, anche oltre  $+2$  °C, ma solo in quella regione Nord di superficie relativamente limitata;
- (b) per il resto del globo terrestre, tranne che per l'Europa occidentale, vi sono solo zone relativamente più calde circoscritte e piuttosto limitate in dimensione, persino negli USA;
- (c) l'aumento è molto più basso su tutte le superfici ricoperte da acque (dove la temperatura è misurata per radiazione via satellite e quindi con precisione ancora inferiore);
- (d) è così possibile una eventuale correlazione con le densità di popolazione o di attività industriali pesanti, o di particolarità climatiche locali. Significativo, ad esempio, il fatto che la Cina mostri un discreto aumento mentre l'India, a pari popolazione, non ne mostri affatto;
- (e) può parzialmente far risaltare, o invece mitigare, (im)precisioni locali (ma su scala media perché quelle su piccola scala sono già state "spianate" nell'elaborazione dei dati), anche in relazione al punto (d).

Complessivamente l'uso di un parametro unico medio è pochissimo significativo.

Un secondo aspetto dell'analisi metrologica riguarda il caso in cui, partendo dai dati disponibili (la cui precisione è critica), si cerchi di fare una previsione sull'andamento futuro.

Le predizioni per estrapolazione sono sempre più popolari e richieste in molti campi non scientifici: economici, politici, della società. La scienza è supposta fornirle nel modo più affidabile, ma tuttavia anch'essa si basa su dati sperimentali (quindi incerti) e su inferenze; perciò, su un livello di confidenza limitato – a parte casi particolari come la sfericità della Terra, per cui ci sono voluti secoli!

C'è una vastissima letteratura a questo proposito. Qui il commento che segue è limitato alla procedura di estrapolazione, cioè di stima dell'andamento in

quella zona in cui regna esclusivamente l'ignoranza, mitigata solo parzialmente dall'esame dei dati misurati per un certo periodo anteriore di tempo e da teorie nel campo termodinamico/fisico.

Tale estrapolazione viene generalmente effettuata solo mediante modelli matematici e statistici derivanti dalle predette teorie (ma si consulti [1] per l'uso alternativo di modelli interamente "data-based"), ma essendo i dati disponibili affetti da incertezza, anche questi modelli non possono che essere affetti necessariamente da incertezza. In altre parole, da dati incerti non si può considerare valido un andamento deterministico.

A tal fine, le pubblicazioni più informative forniscono previsioni basate su una molteplicità di modelli, tutti assunti in grado di rappresentare mediante funzioni matematiche/informatiche i dati disponibili entro la precisione stabilita dalla dispersione di questi ultimi. L'ipotesi base, molto critica e molto forte, è che successivamente la legge fisica sottesa rimanga invariata (o in aggiunta venga ipotizzata variata in modo stabilito – esempio, per l'emissione di CO<sub>2</sub> o di clorati). La figura 1 presenta un esempio di trattamento IPCC relativo alla previsione di aumento della temperatura media dell'aria superficiale terrestre, effettuato con diversi modelli.

Tuttavia, tale procedimento è sovente frainteso come una valutazione dell'incertezza futura della funzione di estrapolazione. Ciò è errato, in quanto è noto che ogni funzione matematica/informatica ha una sua propria limitata possibilità di corrispondere in modo soddisfacente per (cioè di "imitare") qualunque tipo di andamento.

D'altronde, quasi mai si trovano invece in letteratura stime dirette di estrapolazione dell'incertezza dei dati disponibili, o stime dell'incertezza intrinseca del modello usato nel caso specifico, sebbene metodi statistici ben noti come, ad esempio, il bootstrap [1] o Montecarlo [2] siano comunemente disponibili a tale scopo – ma rimane intatto il problema della loro estrapolazione.

Infine, da quanto detto risulta anche evidente che la qualità (sperata) della estrapolazione è affetta dall'incertezza dei dati disponibili che maschera parzialmente l'andamento nel tempo, dall'intervallo di tempo in cui essi sono disponibili, e dall'intervallo di tempo in cui si intende effettuare una estrapolazione ragionevolmente affidabile.

In entrambe le situazioni descritte – incertezza dei dati ed incertezza delle estrapolazioni – si trovano tuttora, nella stragrande maggioranza della letteratura "mainstream" e nei vari rapporti ufficiali, dati metrologicamente inaccettabili, e potenzialmente invalidanti, in quanto indicano una precisione di pochi decimi di grado Celsius o addirittura di  $\pm 0,05$  °C, o con estrapolazioni fino al 2300, come in figura 2 (per esempio, il METAR già a 6 giorni fornisce un'incertezza aumentata a 2,0 °C).

Gli studiosi di altre discipline spesso non acquisiscono la necessaria sensibilità e capacità nell'uso di specifici strumenti di analisi e di lavoro e di procedure specificamente adatte allo scopo dell'analisi dei dati al di là di un loro esame incompleto: una esigenza questa che oggi ha portato, per esempio, allo sviluppo di una nuova disciplina, quella del trattamento dei

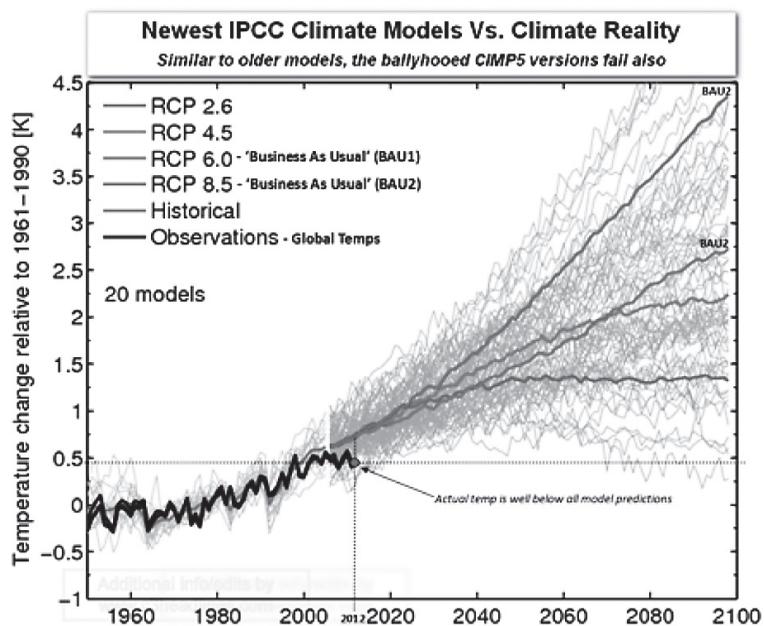


Fig. 1. Variazione della temperatura superficiale media dell'aria terrestre nel tempo, con estrapolazioni. Da Report IPCC (osservazioni fino al 2012).

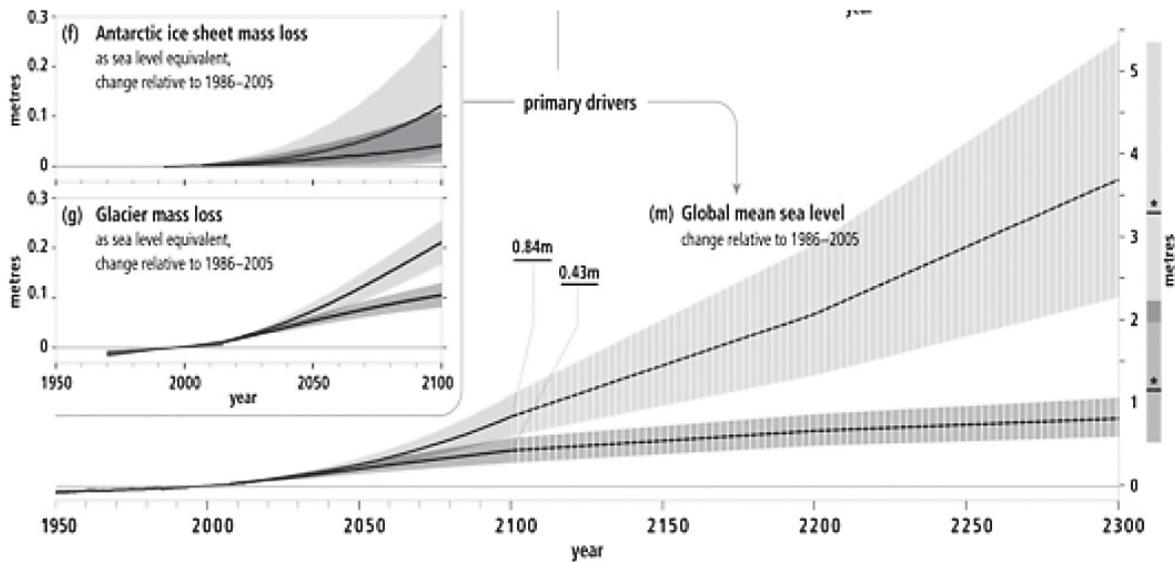


Fig. 2. Variazione del livello medio dei mari nel tempo, con estrapolazioni. Da Report IPCC (osservazioni fino al 2019).

“big data,” che non è solo un problema informatico.

Tuttavia, la sottovalutazione dell'importanza di questo tipo di analisi è ancora frequente e porta nel caso specifico della estrapolazione del campo dei dati disponibili, una procedura molto critica, all'uso di metodi non solidamente fondati.

Tipico è il caso, spesso legato a ragioni non scientifiche, di un'eccessiva estensione del campo temporale estrapolato, come mostrato in figura 2, specialmente se rispetto a quello delimitato dalla conoscenza dei dati realmente disponibili (pochi decenni in figura 2), per cui il vincolo costituito dall'andamento dei dati reali, non è sufficientemente preciso da consentire la scelta di una adeguata funzione estrapolante (si vedano a tal proposito le figure 1-2), che non è più soggetta ad alcun vincolo sperimentale. Ciò anche perché già i dati esistenti sono affetti da incertezza, cosa che necessariamente rende inesatto il vincolo da essi prodotto, e così quindi pure la conoscenza disponibile, che rimane imperfetta.

Complessivamente, quindi, la affidabilità dei dati forniti sinora su diversi aspetti della variazione climatica è, dal punto di vista strettamente metrologico e quindi scientifico, bassa, essendo l'uso dei modelli teorici fondato comunque sulla verifica della loro adeguatezza rispetto ai dati sperimentali, spesso non sufficientemente priva di incertezze e dubbi. Ciò specialmente quando, inevitabilmente, l'interesse maggiore (scientifico e non) sta proprio nella capacità di predire gli sviluppi futuri, e soprattutto riguardo alla stima della affidabilità di tale previsione. Essa non può non dipendere anche (e spesso soprattutto) dalla precisione delle osservazioni già disponibili.

Concludendo, nell'analizzare i procedimenti più usati per elaborare le previsioni, un metrologo si trova spesso nell'imbarazzante condizione di osservare che la coerenza dei dati (migliorata con mezzi statistici) viene spesso usata in luogo dell'incertezza dei dati sperimentali originali (che non può essere mitigata, neanche dalla numerosità dei dati, soprattutto a causa dell'effetto di errori sistematici di valutazione).

## Bibliografia

- [1] B. Knusel, C. Baumberger, Understanding climate phenomena with data-driven models, *Studies in History and Philosophy of Science* 84 (2020) 46-56.
- [2] BIPM, JCGM WG1, Evaluation of measurement data - Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” - Propagation of distributions using a Monte Carlo method, JCGM 101:2008, Sèvres, France.

## FRANCO PAVESE

Laureato in Ingegneria nel 1965. Dal 1967 al CNR, Istituto di metrologia “G. Colonnetti” (IMGC) dal 1967, confluito dal 2006 nell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM). Direttore di ricerca EPR dal 1990, in quiescenza dal 2009. Ricerca nel campo, in particolare criogenico, della temperatura e termodinamica; metrologia generale, analisi e trattamento dati sperimentali, statistica, normativa, prevalentemente in campo internazionale. Autore di oltre 400 pubblicazioni scientifiche, di cui circa 200 su libri e riviste internazionali e circa 150 a Proceedings di Congressi internazionali e documenti BIPM. Collaborazioni internazionali con 32 Paesi in tutti i Continenti. Profilo su: <https://www.researchgate.net/profile/Franco-Pavese>.

## Contatti:

[frpavese@gmail.it](mailto:frpavese@gmail.it), [frpavese@tin.it](mailto:frpavese@tin.it)