



Pala eolica, parco vulcanico, Fuerteventura © gfontana

Energia e Cambiamenti climatici

Di Massimo Scalia

In molti cominceranno ormai a interrogarsi su quella svolta storica che, a partire dal 2006 e più precisamente dalla sua seconda metà, ha visto moltiplicarsi le prese di posizione e, soprattutto, gli impegni sulla questione del legame tra consumi energetici, *global warming* e cambiamenti climatici da parte di leader di grande rilevanza a livello mondiale, ben lontani dal sospetto di essere degli ambientalisti.

Dopo la presentazione, nel novembre del 2006, del rapporto di Nicholas Stern sul devastante impatto dei cambiamenti climatici su economia e società, l'allora premier inglese Tony Blair ha lanciato l'ipotesi di una riduzione del 60% della CO₂ entro il 2050; e il conservatore Cameron si è mosso sulla stessa lunghezza d'onda. L'Unione europea prima ha presentato, sempre a novembre, il "decalogo" per conseguire il 20% di risparmio energetico entro il 2020, poi, nel marzo del 2007, per merito di un'altissima mediazione del presidente della Commissione UE, Angela Merkel, ha fissato negli ormai famosi tre 20% gli obiettivi energetici al 2020 per far fronte ai cambiamenti climatici: risparmio del 20% di energia in virtù dell'aumento dell'efficienza, 20% di riduzione della CO₂ e 20% di fonti rinnovabili per la copertura dell'intero fabbisogno energetico della UE, non della sola quota elettrica (che, è sempre bene ricordarlo, è solo un terzo del fabbisogno complessivo). Una vera e propria rivoluzione energetica! Un'eccezionale occasione per le politiche economiche, industriali, di innovazione tecnologica e, va sottolineato, per nuove politiche sociali e dell'occupazione.

L' "apostolato" di Al Gore, che ha girato mezzo mondo col suo documentario *An inconvenient truth*, è stato premiato con l' Oscar; e le prime parole da presidente pronunciate da Sarkozy sono state una critica a Bush sui cambiamenti climatici. E Bill Clinton ha invitato la moglie a fare proprio di questo problema il leit-motiv della campagna delle elezioni presidenziali degli Stati Uniti.

A che cosa è dovuta questa positiva e improvvisa *escalation*, quando da venti anni ormai l'IPCC ammoniva sulle conseguenze dell'effetto "serra" con i suoi scenari dispiegati sul secolo XXI? Come mai questa reattività, soprattutto nel mondo anglo-sassone - qui da noi si respira più aria di provincia - e, aldilà delle parole, il fatto che sia il Parlamento inglese che quello tedesco stanno discutendo leggi sul taglio della CO₂ con obiettivi addirittura più ambiziosi dei già ambiziosi obiettivi della UE ?

La risposta che si può dare a questi interrogativi rimanda al particolare ruolo che la comunità scientifica ha svolto con i suoi *statement*, quello del 7 giugno 2005 e quello del 14 giugno 2006; e al cambiamento di paradigma nella scienza del clima, che è alla base di quelle prese di posizione. È

un'ipotesi, un'interpretazione più che ragionevole di episodi, largamente non noti anche a molti addetti ai lavori, che hanno determinato un incredibile impatto sia sul terreno scientifico che, assai più significativamente, sulle grandi decisioni da adottare, come gli esempi appena richiamati dimostrano *ad abundantiam*.

Ma che cosa dicevano queste prese di posizione, quali erano gli indirizzi che negli statement sono stati rivolti direttamente ai “potenti della Terra”? Iniziamo da quello, successivo in ordine di tempo, che venne registrato dalle agenzie di stampa di allora all'insegna de “la comunità scientifica detta l'agenda del G8 di S.Pietroburgo”.

Lo statement del 2006

Le Accademie delle Scienze dei Paesi del G8, più quelle di Cina, India, Brasile e Sud Africa, si rivolgono al Summit di S.Pietroburgo (15-17 luglio 2006) con uno statement che, dopo una breve premessa generale sullo sviluppo sostenibile, si apre con queste parole: **“L'anno scorso indicammo le più grandi sfide poste dai cambiamenti climatici. Esse sono predominantemente correlate all'energia e al suo uso”**.

E i dati lo confermano. L'ultimo rapporto IEA, l'Agenzia dell'Energia dei Paesi dell'OCSE (i Paesi industrialmente “avanzati”) ci dice che nel 2004 l'80% delle fonti energetiche primarie che alimentano il sistema energetico mondiale è ancora costituito da fonti fossili: petrolio, carbone, metano (vedi Fig.1).

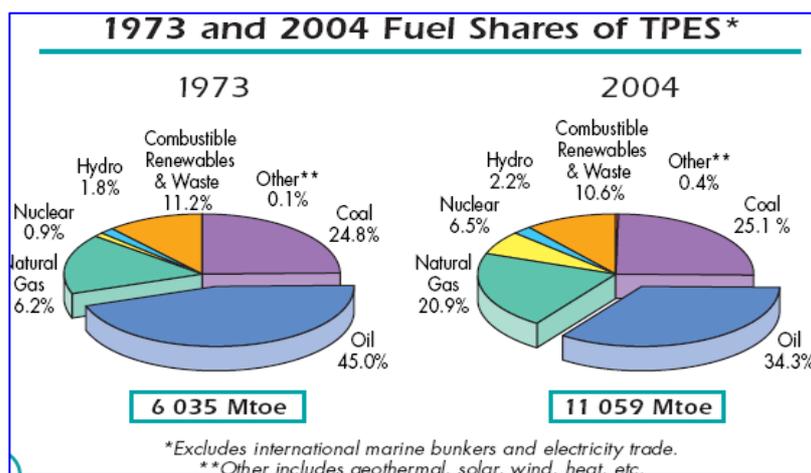


Fig. 1 Suddivisione del fabbisogno mondiale d'energia per fonti primarie (TPES). In figura Mtoe sta per milioni di tonnellate equivalenti di petrolio, unità di misura in uso per i grandi bilanci energetici. Fonte: Rapporto IEA 2006

Il massiccio ricorso ai combustibili fossili, in un contesto che *vede aumentare di tre volte e mezzo il fabbisogno energetico mondiale* negli ultimi quarant' anni, ha comportato che le emissioni di anidride carbonica, la CO₂, sono passate da circa 16 mila Mton (1973) a circa 27 mila Mton (2004)

con un incremento del 68%; e la concentrazione in atmosfera è salita quota 380 ppm (parti per milione), aumentando del 20% in meno di 50 anni (vedi Fig. 2).

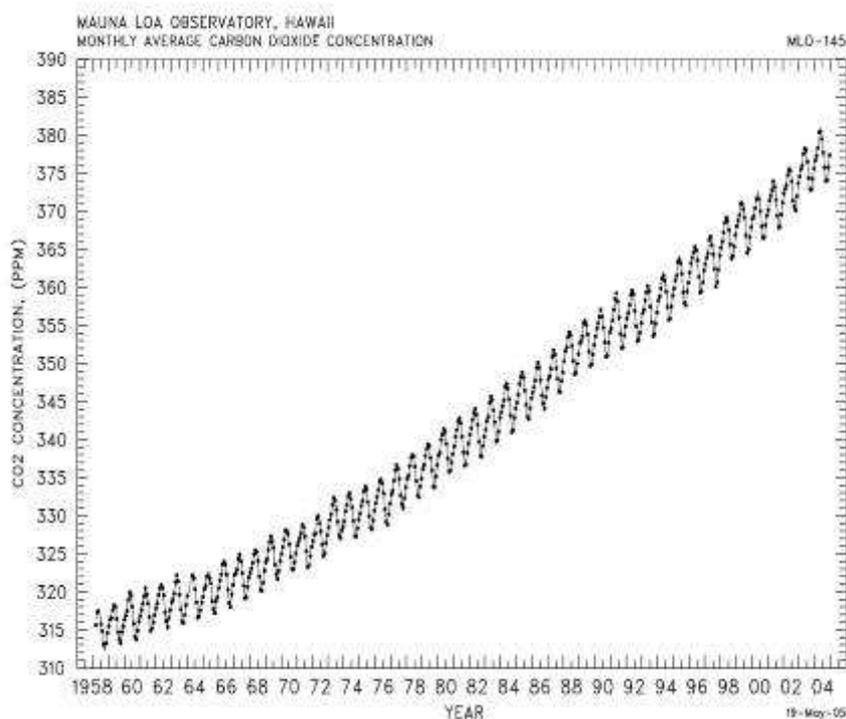


Fig. 2 Crescita della concentrazione di CO₂ (ppm) in atmosfera Osservatorio Mauna Loa, US

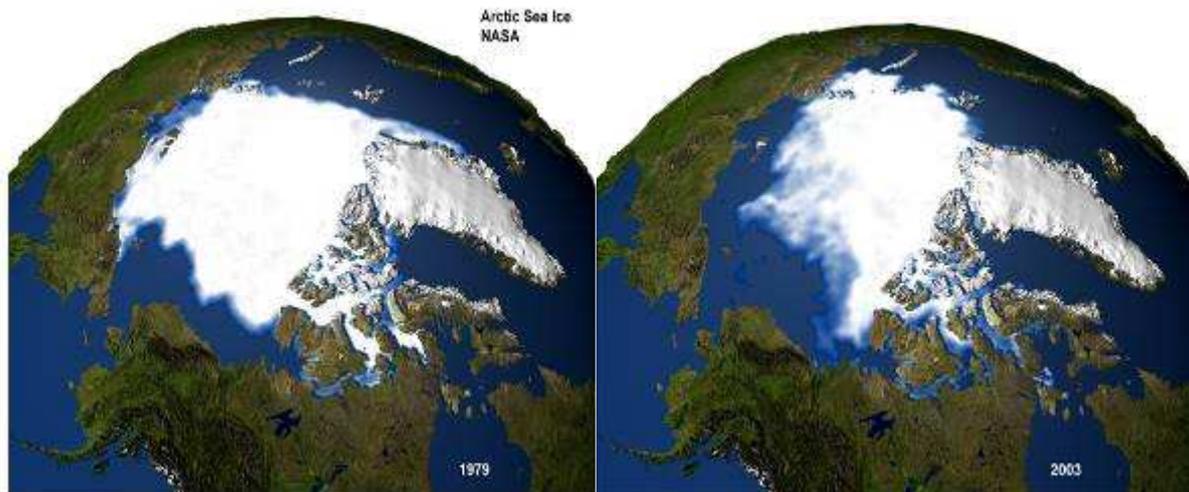
Il carbone, la cui combustione a parità di altre condizioni produce il 30% in più di CO₂ del petrolio e quasi il doppio del metano, copre *più della metà* della produzione elettrica degli Stati Uniti (per 2090 miliardi di kWh) e del fabbisogno di fonti primarie della Cina. Gli Stati Uniti sono responsabili di oltre il 20% delle emissioni di CO₂; la Cina li raggiungerà entro i prossimi 3 anni.

Quali le conseguenze?

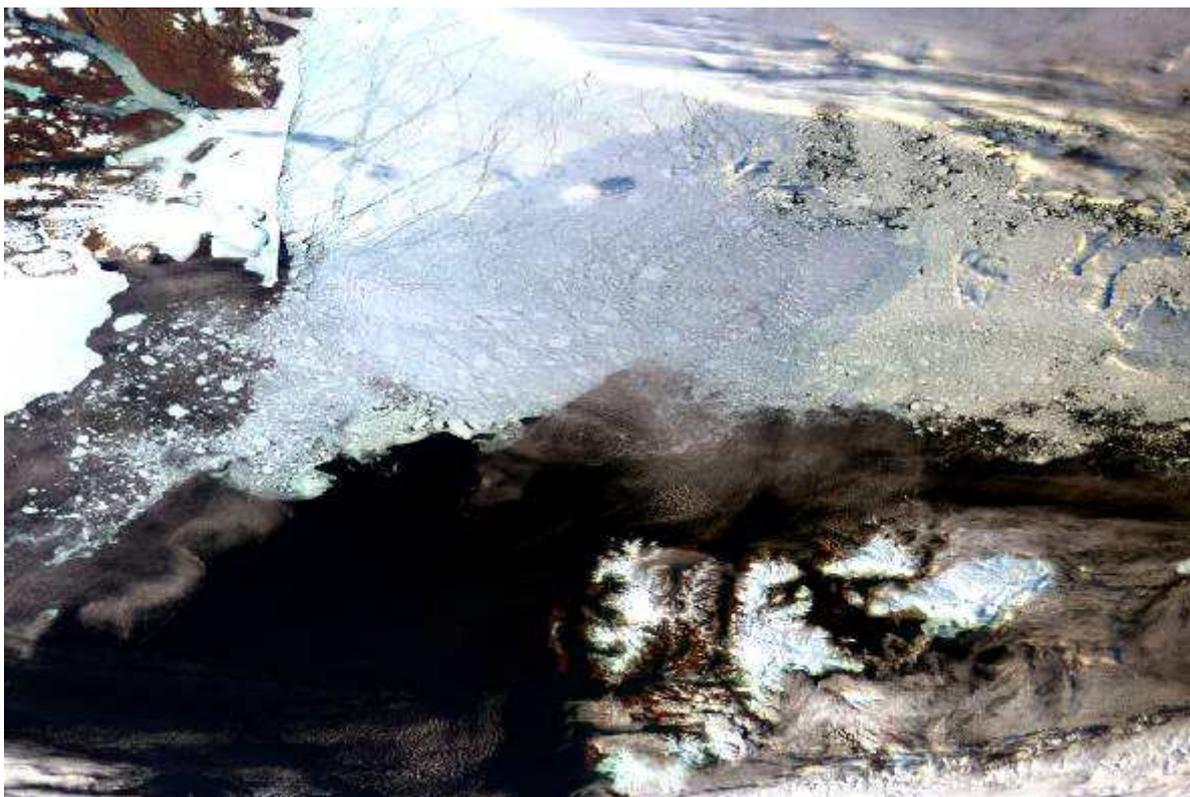
- Intensificarsi di alluvioni e uragani, col record nel 2005 degli uragani negli Usa: a New Orleans, l'uragano Katrina.
- Estendersi delle aree di siccità.
- Infittirsi dei massimi della temperatura negli ultimi 20 anni e spostamento verso Nord delle isoterme (la "tropicalizzazione" del clima).
- Scioglimento dei ghiacciai alpini e della calotta artica. *Science* (nov. 2005): i ghiacci artici si stanno fondendo a un ritmo doppio (220 km³ all'anno) del decennio precedente. Le foto che seguono forniscono immagini assai eloquenti.



Immagini tratte dal film-documentario *An Inconvenient Truth* di Al Gore



Settembre 2006. L'ESA, l'Agenzia spaziale europea, nel diffondere le immagini satellitari (vedi foto seguente) che rivelano una frattura nella calotta polare artica dalle Svalbard fino al Polo Nord, afferma: "...una nave...avrebbe potuto salire senza difficoltà fino al Polo nord partendo dall'arcipelago dello Spitzberg (Norvegia) o dal nord della Siberia"



In termini più astratti, lo scioglimento dei ghiacciai artici e dei ghiacciai dei grandi sistemi montuosi del Quaternario può essere letto nella curva che dà l'andamento del bilancio complessivo delle masse dei ghiacciai (Fig. 3).

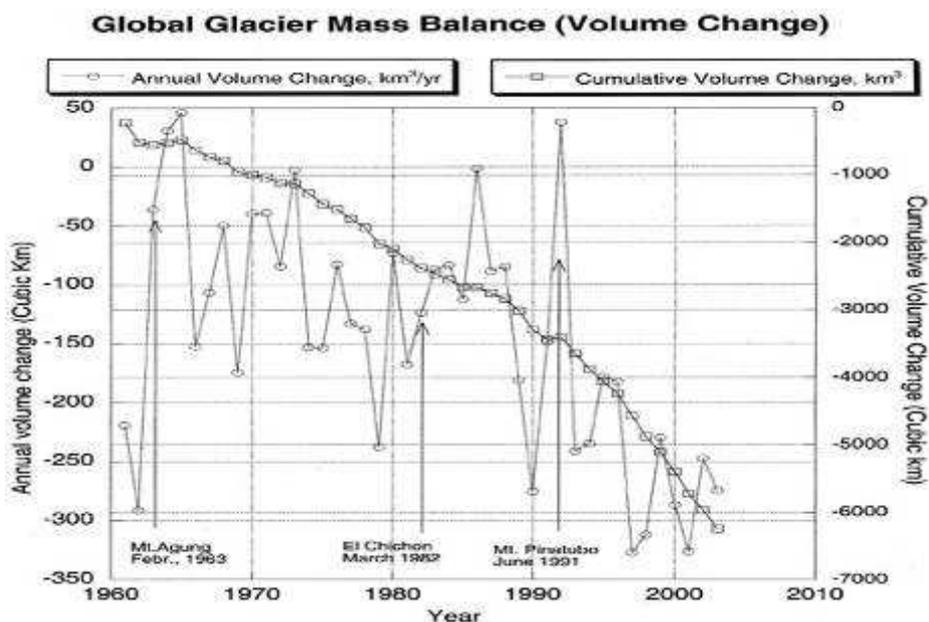


Fig. 3 Bilancio globale delle masse dei ghiacciai montani e delle calotte polari. La variazione annuale (km³/anno) si legge sulla scala a sinistra, quella cumulativa a destra

La curva cala a picco negli ultimi 30 anni; e questo nonostante le eruzioni vulcaniche, che come è evidente dal grafico (eruzione di El Chichon nel 1982, del Pinatubo nel 1991), tendono invece a ridurre la fusione dei ghiacci a causa delle enormi coltri di polveri emesse. Le conseguenze sull'aumento del livello degli oceani sono rappresentati nel grafico di Fig.4, dove è bene sottolineare che i "punti" neri sono le stime di previsione, ottimistiche rispetto ai dati (punti bianchi).

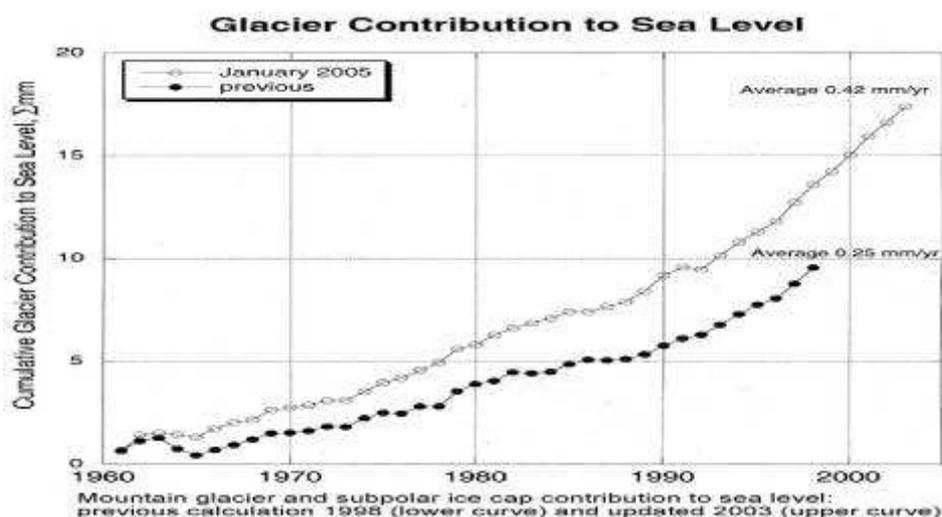


Figura 4

Ma di effetto "serra" e dei cambiamenti climatici si sta parlando da vent'anni. Che cosa ha convinto le Accademie delle Scienze a lanciare già con lo statement del 2005, come vedremo, un grido d'allarme e la prentoria richiesta di "azioni immediate" (*prompt actions*)?

Gli scenari dell'IPCC

Va riconosciuto all'IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), la struttura tecnica costituita in seno alle Nazioni Unite, il merito di aver acceso il riflettore sulla questione del “*global warming*” fin dal 1988 e di aver proposto il percorso che va dalla convenzione di New York, alla conferenza di Rio de Janeiro del 1992, al protocollo di Kyoto (1997) e alla sua entrata in vigore il 16 febbraio del 2005.

Gli studi dell'IPCC hanno prodotto degli “scenari” che *correlano* l'evoluzione nel tempo dei *consumi energetici*, sia con le immissioni in atmosfera di CO_2 e di altri gas di “serra” (Fig. 5), che con *l'aumento della temperatura* nelle varie regioni del Pianeta (Fig.6)

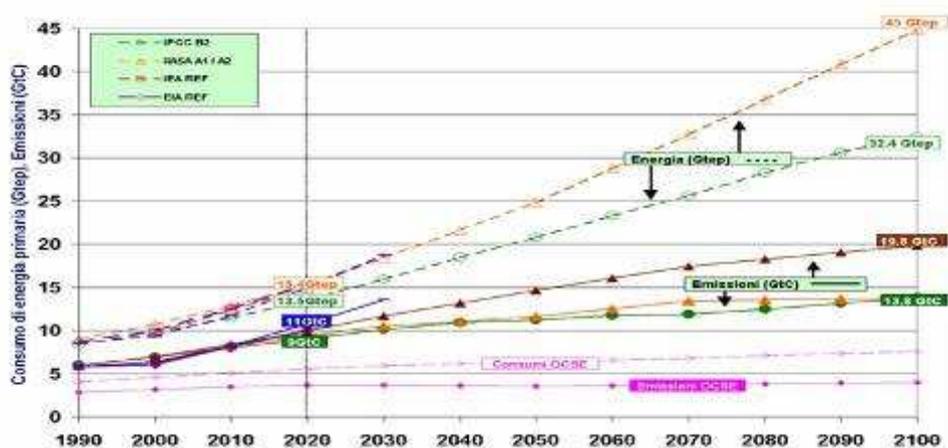


Figura 5. Consumi ed emissioni negli scenari di riferimento
 Fonte: Elaborazioni ENEA su dati IPCC, IIASA-WEC, IEA, EIA-DOE

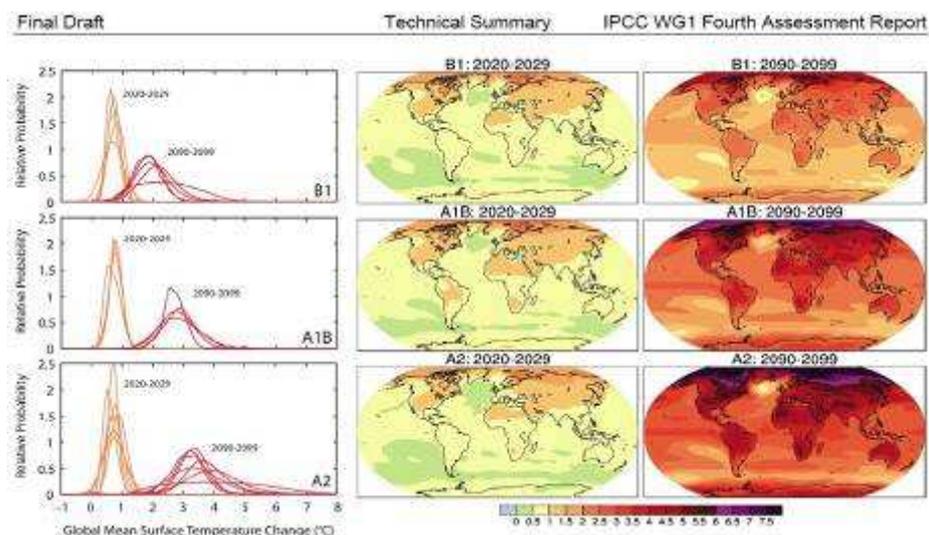


Figura 6. Aumento medio della temperatura globale sulla superficie terrestre © IPCC. Le curve a sinistra rappresentano le probabilità relative per i diversi scenari; il passaggio verso colori tendenti al rosso cupo e al violaceo denota, in quelle aree del globo, la previsione di temperature sempre più elevate.

L'IPCC ha avuto certo il merito di porre all'attenzione generale la questione del *global warming* come *dovuto alle attività umane*; ma gli scenari non hanno mai turbato i sonni di nessuno, tanto meno dei decisori politici. Anche, forse soprattutto perché, gli scenari dell'IPCC con le loro stime fatte sui *tempi lunghi* (fino alla fine di questo secolo) ingenerano *l'illusione* che il mutamento sarà *graduale e lineare*. *Non è così*.

Il nuovo paradigma

Nel 2002 il *National Research Council (NRC)*, un organo dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti, pubblica un testo sui bruschi cambiamenti climatici curato da un apposito Comitato: "*Abrupt Climate Change. Inevitable surprises*". *Questo libro modifica profondamente il punto di vista corrente nella comunità scientifica*, e i suoi contenuti sono alla base dello statement del giugno 2005 e dell'urgenza con cui gli scienziati si rivolgono ai "Grandi" perché si intraprendano azioni "*immediate*".

Prima degli anni '90 il punto di vista dominante sull'evoluzione del clima enfatizzava le *lente, graduali oscillazioni delle ere glaciali* (caratteristiche dell'orbita terrestre sull'arco delle decine di migliaia di anni, o dei cambiamenti sull'arco dei cento milioni di anni in concomitanza con la deriva dei continenti).

I dati sul *paleoclima acquisiti negli anni '90* (Broecker 1995, 1997) mostrano invece che *cambiamenti repentini del clima* hanno interessato ripetutamente gli emisferi e l'intero globo.

Nell'ultima era glaciale il riscaldamento di quasi metà dell'Atlantico del Nord fu raggiunto in *un solo decennio*, con importanti variazioni del clima nella maggior parte del globo. Simili eventi - escursioni di 16 °C e raddoppio delle precipitazioni in una decade o in un solo anno - si sono ripetuti all'inizio e alla fine dell'ultima era glaciale (Alley e Clark 1999, Lang 1999).

Questi bruschi cambiamenti climatici del passato, che possono essere intuiti dall'esame di Fig.7 , non hanno ancora avuto una spiegazione completa; i modelli del clima sottostimano dimensione, velocità e estensione di quei cambiamenti, obbligando al riesame della instabilità climatica. I dati raccolti dai sedimenti rivelano negli ultimi 100.000 anni numerosi bruschi cambiamenti climatici che hanno interessato ampie regioni del globo.

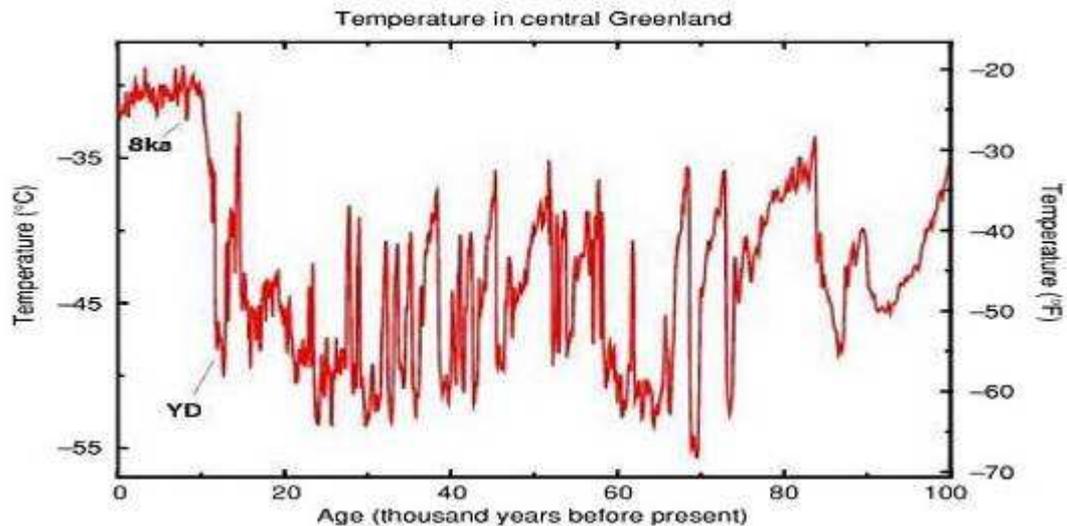


Figura 7. La temperatura nella Groenlandia centrale negli ultimi 100.000 anni

Calcolo di Cuffey e Clow (1997) su dati di Grootes e Stuiver (1997)

Uno dei più noti è il Dryas recente, iniziato circa 12.800 anni fa quando vi fu un'interruzione nel corso del graduale riscaldamento che aveva seguito l'ultima era glaciale. Esso cessò bruscamente 11.600 anni fa.

Poiché sono disponibili molti campioni geologici e studi approfonditi potrà essere assunto come esempio. In Fig.8 il grafico delle temperature e del tasso di accumulazione del ghiaccio nella Groenlandia centrale evidenziano i bruschi cambiamenti in entrata e uscita dal Dryas recente (YD) (Alley et al.1993)

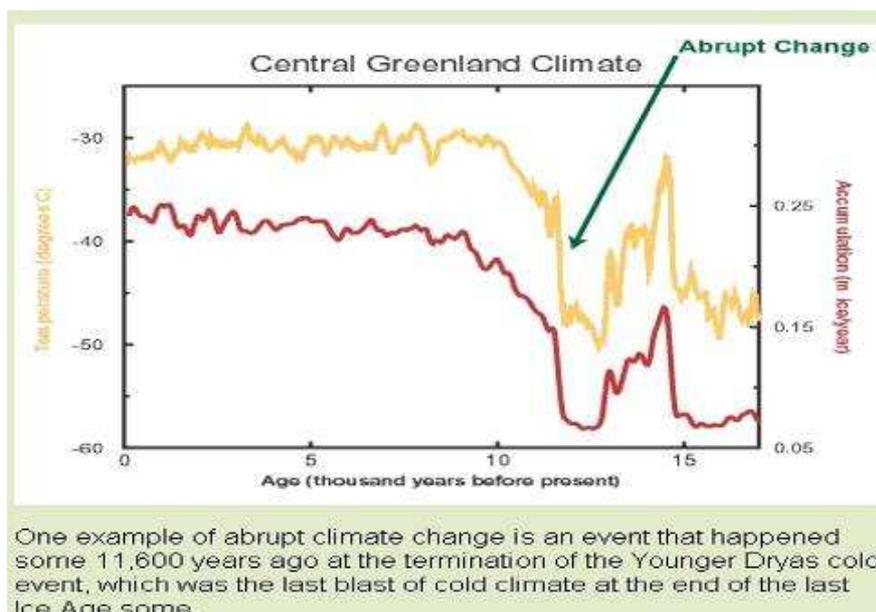


Figura 8

Dal momento che non sono disponibili misure di temperatura, se non a partire dal XVII secolo, le temperature riportate in ordinate sono state dedotte dalle misure di altri parametri chimico-fisici (concentrazione di isotopi, di ioni di vari elementi ecc.) – i *proxy records* – eseguite sui carotaggi dei ghiacciai delle calotte o di sedimenti marini (Fig.9)

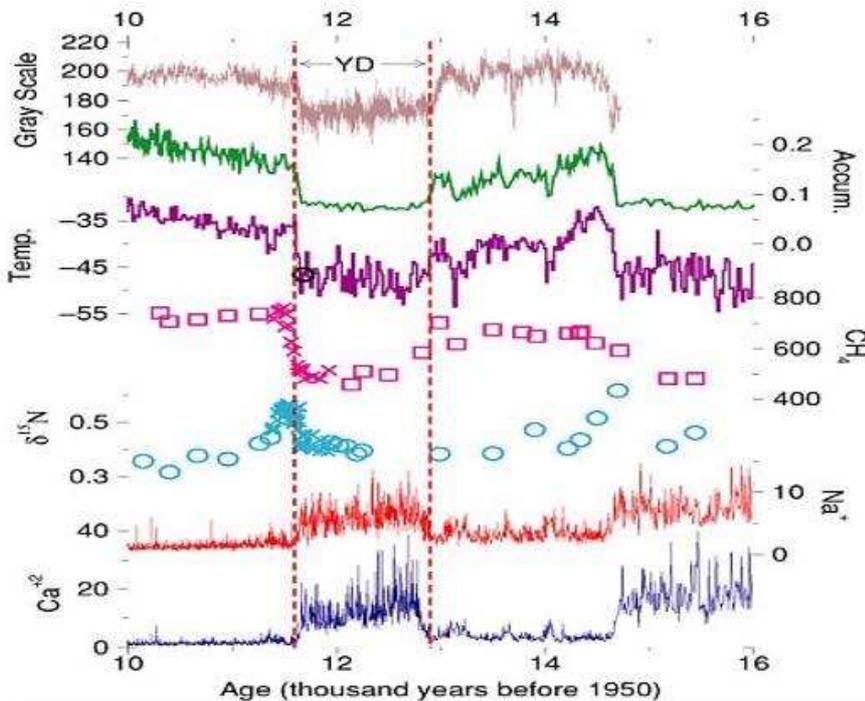


Fig. 9 Il Dryas recente dai carotaggi nei ghiacci della Groenlandia e nei sedimenti al largo del Venezuela (1993 - 1998)

La spiegazione che viene data agli *abrupt change* del Dryas recente è, assai schematicamente, la seguente.

Dopo la glaciazione la Corrente del Golfo aveva ripreso a influenzare il clima europeo, con conseguente risalita delle temperature (vedi Fig.8).

La Corrente del Golfo è un nastro trasportatore di acque calde ad alta densità salina verso il Circolo Polare Artico. La densità salina aumenta perché le correnti cedono calore anche all'atmosfera; fino a quando, all'altezza della Groenlandia, l'acqua divenuta fredda e pesante affonda. Da qui ritorna verso Sud lungo il fondo oceanico lasciando un vuoto che richiama altre masse d'acqua calda dalle latitudini tropicali (la cosiddetta "pompa salina").

All'inizio del Dryas recente una gigantesca lastra di ghiaccio copriva il Canada e si estendeva anche oltre; lo scioglimento di una grande massa di questi ghiacci portò acque dolci dal San Lorenzo nell'Atlantico settentrionale.

Il flusso di una maggiore quantità di acqua dolce verso quella zona dell'Atlantico ridusse la salinità del mare, e quindi la densità delle acque superficiali impedendone l'affondamento.

Il “nastro trasportatore” si bloccò e l’Europa ripiombò rapidamente in una nuova era glaciale che durò circa 1000 anni. In capo a essi il riscaldamento che stava avendo luogo nel resto del globo ripristinò, anche in questo caso in modo repentino, il circuito della Corrente del Golfo.

Insomma, nel testo del *NRC* l’abbondanza dei dati geoclimatici analizzati fornisce l’evidenza sperimentale del fatto che i bruschi cambiamenti climatici fanno parte della storia del clima. E obbligano al mutamento del paradigma che aveva fino ad allora dominato la climatologia: quello di un clima scandito da lente e graduali evoluzioni - le ere glaciali e interglaciali della durata di milioni di anni, modulate dalle variazioni dell’inclinazione dell’asse terrestre dovute al moto di nutazione - in quanto determinato dalle sue componenti fondamentali: gli oceani e le grandi masse ghiacciate.

Un ruolo centrale spetta invece anche all’atmosfera, che fino a non molti anni fa veniva trattata, nei modelli proposti dai massimi esperti del settore - ma ricordo anche le risposte alle mie domande di alcuni miei ex studenti divenuti bravi ricercatori -, alla stregua di un rumore, di una variabile stocastica.

Lo statement del 2005

“Ci sarà sempre un’ incertezza (uncertainty) nel comprendere un sistema tanto complesso come quello del clima globale. Abbiamo tuttavia ormai una forte evidenza che un riscaldamento globale (global warming) sia in atto...È verosimile (It is likely) ritenere che la gran parte del riscaldamento nelle recenti decadi sia da attribuire alle attività umane... La comprensione scientifica dei mutamenti climatici è ora sufficientemente chiara per motivare i Paesi a intraprendere azioni immediate (prompt actions).”

Con queste parole le Accademie delle Scienze dei Paesi del G8, più Cina, India e Brasile, dopo un lungo lavoro da parte dei gruppi di scienziati designati, prendevano posizione con lo statement: *“Global response to climate change”*, rivolgendosi sia all’interno della comunità scientifica che al Summit di Gleneagles, il G8 del luglio 2005. Nel ritenere che la causa prima del riscaldamento globale sono le “attività umane”, lo statement afferma quella causa “antropica” che è stata negata per oltre un decennio dai tecnici americani¹ partecipanti all’IPCC, il già ricordato “tavolo” degli esperti nominati dai governi aderenti alle Nazioni Unite per affrontare la questione dei cambiamenti climatici.

¹ Fino al pronunciamento, in senso favorevole, della *National Academy of Science* degli Stati Uniti (2001), richiesto dall’Amministrazione Bush. Ma questo fatto non ha cambiato, per motivi anche storici, l’atteggiamento degli Stati Uniti, che, come il Giappone e l’Australia, non hanno ratificato il protocollo di Kyoto.

Vale la pena spendere qualche parola sul linguaggio scientificamente cauto dello statement, che contrasta con la decisa richiesta, avanzata al G8, di passare all'azione

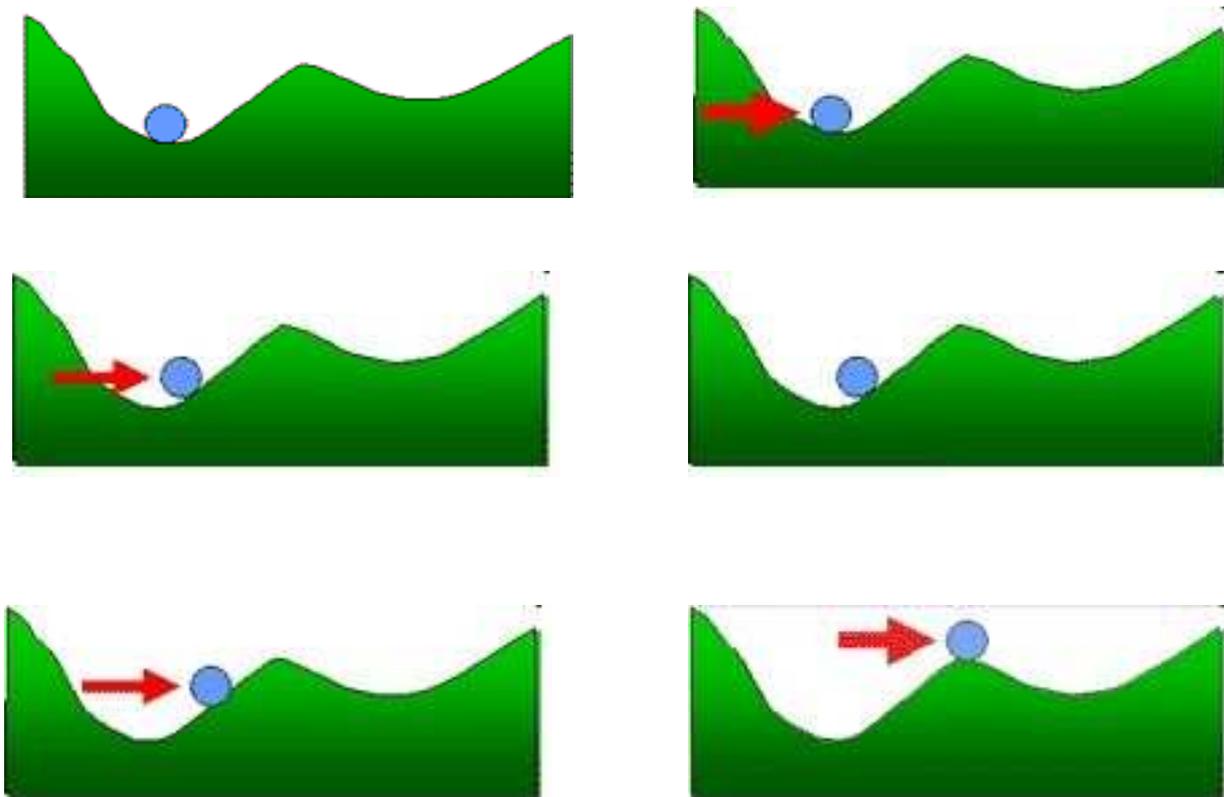
(*prompt actions*): quel linguaggio è l'unico che la scienza può usare. Non è possibile infatti, come si aspettano invece l'uomo della strada e talvolta anche tecnici o ricercatori scientifici, conseguire nelle previsioni sul clima un livello di sicurezza pari a quello che consente di far arrivare una navicella spaziale esattamente in quella parte del sistema planetario che si vuole conoscere meglio, ad esempio a fotografare un satellite di Giove.

Schemi deterministici e previsioni quantitative sono accessibili solo a *alcune* branche della Fisica, della Chimica e, in minor parte, della Biologia. Nelle altre scienze - dalla Climatologia all'Economia - non è possibile pervenire allo stesso livello di sicurezza. Non è possibile *prevedere* quale sarà in ogni istante lo *stato del sistema*, cioè i *numeri* che misurano l'entità delle grandezze che definiscono lo stato stesso. Che si tratti del “*Big one*”, il terremoto che squasserà la California, o della prossima eruzione del Vesuvio, non si sa con certezza una data, proprio perché la Sismologia e la Vulcanologia non sono in grado di determinare l'evoluzione nel tempo dello *stato del sistema*. E nessuno però pensa che Sismologia e Vulcanologia non appartengano al novero delle Scienze; al contrario, sono da tempo allo studio le misure con le quali far fronte a quegli eventi e al loro impatto sociale e economico.

Un modello “semplice”

Quali sono i meccanismi che possono innescare una brusca variazione del clima? *Innanzi tutto bisogna prendere in considerazione l'atmosfera*. Ricordavamo che le due componenti fondamentali del clima sono gli oceani e le masse ghiacciate; ma è l'atmosfera che le “cuce” insieme. E a lei spetta, in qualche modo, il compito di riuscire a modificare rapidamente quelle componenti, “lente”, persistenti, per dare inizio all'evento. Ci vuole una sollecitazione, un' *azione forzante*, oppure una perturbazione caotica, che causi il superamento della “soglia”, cioè di quel livello per il quale in risposta a variazioni *graduali* dell'*azione forzante* si abbiano invece dei cambiamenti *discontinui*.

L'atmosfera *può* innescare comportamenti di soglia nel sistema climatico; e il riscaldamento globale *può* rappresentare la sollecitazione per un '*abrupt climate change*'. Nel testo della *NRC* si suggerisce, per agevolare la comprensione, un modello “semplice”, raffigurato in questi disegni



La freccia rossa è l'azione forzante dovuta al riscaldamento globale. La pallina è il clima. Finché l'azione forzante si mantiene entro una certa intensità, l'unico effetto è di far oscillare la pallina intorno al fondo della "buca": il clima è in equilibrio, può variare attorno a una posizione stabile. Quando però l'azione forzante ha intensità sufficiente a fargli raggiungere il "picco" tra le due buche, il clima non è più in equilibrio, è diventato instabile (basta un'ulteriore piccola spinta per farlo cadere nell'altra buca).

Il passaggio dalla *stabilità* all'*instabilità* è repentino. *Non dipende linearmente dal tempo*, ma dal raggiungimento di un valore critico, di una soglia. Al di là di essa *l'equilibrio si rompe; il clima cambia bruscamente*.

Il *nuovo paradigma* di un sistema climatico che cambia drasticamente si è affermato, come abbiamo visto, attraverso gli anni '90. Più veloce è l'azione forzante, più drastico è il cambiamento che essa provoca rispetto alla scala delle economie delle società umane o degli ecosistemi globali. Ai futuri repentini cambiamenti del clima non può essere assegnata una data certa; le sorprese sono però inevitabili.

Ritorniamo sull'apparente "semplicità" del modello. In realtà esso rappresenta il clima, in termini fisico-matematici, come un pendolo sottoposto oltre che all'azione della gravità anche a quella di

un'altra forza: l'azione forzante. La rappresentazione delle orbite di questo sistema nello spazio delle fasi - un modo per "geometrizzare" l'evoluzione del sistema e valutarne i più rilevanti aspetti qualitativi secondo le teoria della stabilità di Henry Poincaré e Aleksandr Lyapunov - mostra che esistono zone di stabilità e zone di caoticità.

L'insorgenza di una dinamica caotica è determinata dall'assunzione di certi valori "critici" del parametro che regola l'intensità dell'azione forzante. La complicazione di questa dinamica è ben rappresentata, nelle figure che seguono (fig. 10,11,12), dall'andamento delle curve "separatrici" – la "varietà" stabile (in verde) e la "varietà" instabile (in rosso) – nello spazio delle fasi e dalla suddivisione in "isole" di stabilità e regioni caotiche (fig. 13).

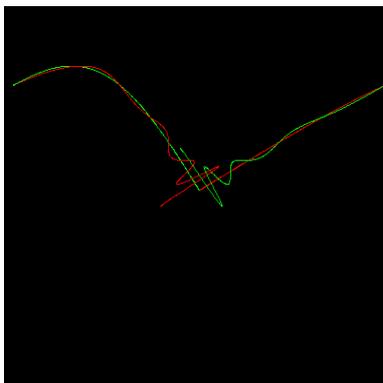


Figura 10

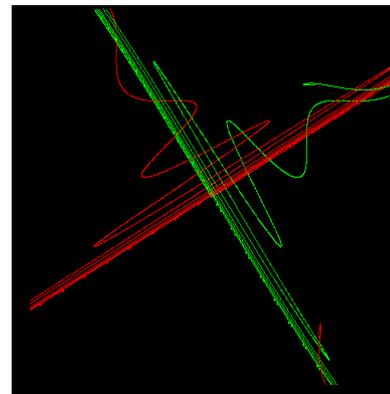


Figura 11

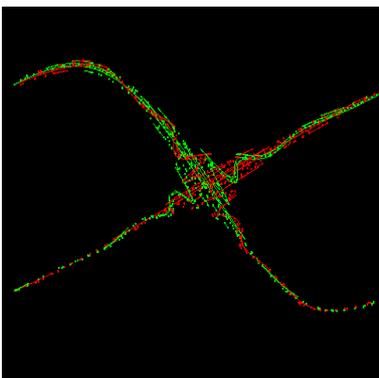


Figura 12

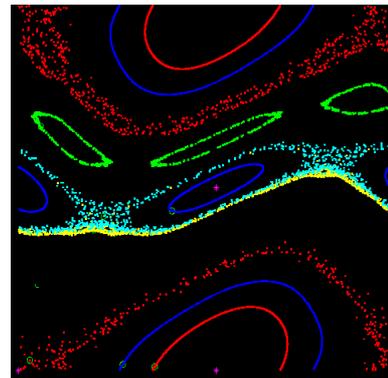


Figura 13

Le Fig. 10-13 sono tratte da *Introduzione ai Sistemi Dinamici* di Andrea Milani Comparetti, Università di Pisa, 2002, <http://copernico.dm.unipi.it/~milani/>

Per maggior precisione, le figure si riferiscono alla cosiddetta mappa "standard" del pendolo, che fornisce un esempio "semplice" di dinamica caotica. In fig.13 è la grafica stessa a suggerire le "isole di stabilità" (intorno al punto fisso ellittico) e le regioni di caoticità (intorno al punto iperbolico). Vale la pena di annotare che una situazione analoga a quella raffigurata in fig. 11 era stata prevista da Henry Poincaré nello studio, in *Meccanica Celeste*, del problema dei tre corpi:

“...colpirà la complessità di questa figura, che non tento neanche di disegnare” (1899). Il problema dei tre corpi presenta difficoltà superiori, ma l’“universalità” del caos nella dinamica dei sistemi conservativi non integrabili rende lecito il confronto con una mappa a due dimensioni (quella “standard”). Poincaré, che insieme a Aleksandr Lyapunov ha dato i fondamenti all’analisi qualitativa dei sistemi dinamici, cioè alla teoria della Stabilità, ha “inventato” il caos. Parola che solo in tempi più recenti, dagli anni ‘60, ha trovato cittadinanza e maggior interesse di ricerca; a partire dal modello di Edward Lorenz, quello, per capirci, del “battito delle ali di una farfalla a Pechino che può causare un tornado in Texas” (una frase che è entrata anche nelle sceneggiature cinematografiche). In realtà il modello di Lorenz, che ha a che vedere con il clima ma solo per gli aspetti meteorologici, esibisce una dinamica complessa, con il suo “strano attrattore” famoso per gli addetti ai lavori, che non è però considerata caotica a pieno titolo. E la frase citata, poi, non esprime altro, in modo fortunatamente suggestivo, che la forte sensibilità del modello rispetto a perturbazioni anche piccole dello stato iniziale del sistema: che è uno dei requisiti, ma non sufficiente a delineare il quadro del caos, la cui definizione rigorosa è, per alcuni aspetti, ancora aperta nel dibattito degli studiosi.

Se un modello così “semplice” delle dinamiche climatiche ci fa immediatamente imbattere nel caos, è ragionevole supporre che quando si tratti di tentare la sfida con le evoluzioni del clima ci troveremo di fronte a descrizione almeno di ugual complessità, come peraltro risulta dalla modellistica degli ultimi anni.

Queste considerazioni tentano di fornire una base sufficiente a comprendere la cautela, già sottolineata, dello statement del giugno 2005; e a intuire perché nel testo del *NRC* si trovi, netta, l’affermazione dell’essere il sistema climatico della Terra un sistema caotico: “...in a chaotic system, such as the earth’s climate, an abrupt climate change always could occur. However, existence of a forcing greatly increases the number of possibile mechanism.”. E del ritenere che un brusco cambiamento del clima possa essere innescato da una “perturbazione caotica”.

In conclusione. Il libro del *NRC* afferma il *nuovo paradigma*: il sistema climatico può cambiare repentinamente. Tutti i dati e le immagini ci fanno temere che stiamo già vivendo questa fase di rottura dell’equilibrio.

E’ ragionevole ritenere che sia in virtù di questo nuovo pensiero scientifico che si determinino, in soli tre anni e attraverso degli impegnativi lavori preparatori, quelle prese di posizione che abbiamo riportato e che *sembrano aver fatto breccia nei grandi decisori politici*. Forse soprattutto perché, al contrario che su tutti i temi più “scottanti” sui quali la scienza *appare divisa e con posizioni opposte* - che si tratti degli OGM o del “testamento biologico”, dell’energia nucleare o della procreazione assistita - la *comunità scientifica* ha rivolto i suoi appelli ai “Grandi” *con una sola voce*.

La rivoluzione energetica

Ma allora, se ci si deve impegnare a *una vera e propria rivoluzione energetica in tutto il mondo* è quasi spontaneo chiedersi: sono davvero necessari questi sforzi?

Non c'è solo il problema dei cambiamenti climatici; bussa alle porte la questione della "fine" del petrolio.

Al ritmo attuale della domanda le riserve accertate di petrolio bastano per 35 anni.

Non sono in vista scoperte di rilevanti giacimenti come, 30 anni fa, quelli del Mare del Nord. Le previsioni per la produzione del petrolio sono affidate alla curva di Hubbert (Fig. 14), un geologo noto per aver previsto nel 1956 che il "picco" della produzione del petrolio degli Stati Uniti ci sarebbe stato negli anni '70, come poi è avvenuto.

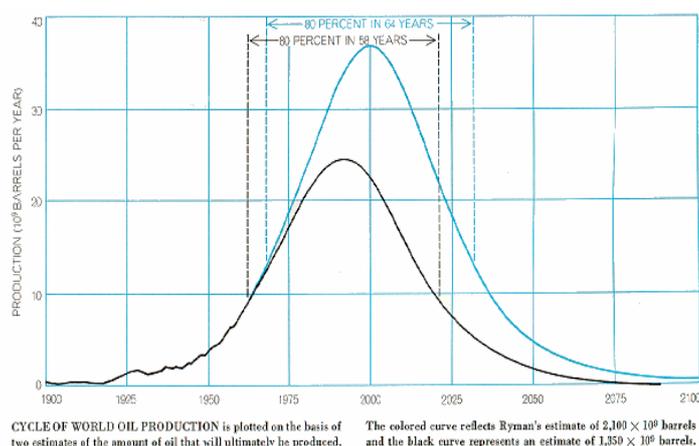


Figura 14. Curva di Hubbert

La curva ci dice che in una prima fase, quando la risorsa è abbondante e bastano investimenti modesti per estrarla, la produzione cresce esponenzialmente. Man mano che le riserve diventano più "difficili" maggiori devono diventare gli investimenti a parità di quantitativi estratti; la produzione continua a crescere, ma con un ritmo inferiore a quello precedente. Quando la difficoltà dell'estrazione rende il costo degli investimenti non più accettabile economicamente, la produzione raggiunge il suo massimo (il "picco di Hubbert") e poi inizia a declinare fino all'esaurimento.

La figura che segue, Fig. 15, riferita a tutti i Paesi esclusi OPEC e CSI, dà le previsioni al 2004 del governo americano e mostra che il picco è stato già raggiunto: negli anni '70 da Texas e Stati Uniti, poi da India, Cina, UK fino, al 2001, dalla Norvegia (i giacimenti del Mare del Nord).

Previsioni produzione del petrolio (esclusi OPEC e CSI) Fonte: DOE 2004

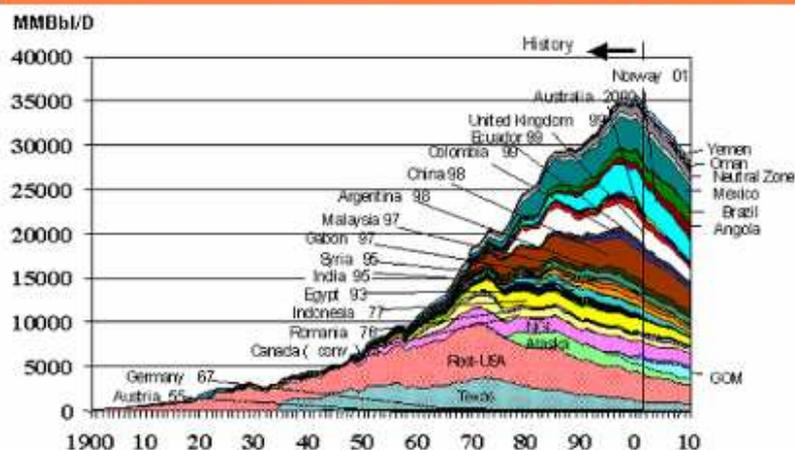


Figura 15

Tenendo conto che i 2/3 delle riserve operative sono detenuti dai Paesi del Golfo e dei ritmi di consumo prevedibili, la maggior parte delle analisi fa cadere il picco di Hubbert entro i prossimi anni, al più tardi nel 2020. Superato il picco, in presenza di una domanda sicuramente non calante, i prezzi decolleranno vertiginosamente.

Se già in questi decenni, l' "era del petrolio" è stata quella delle guerre per il suo controllo, che cosa accadrebbe allora?

Alcuni sostengono di rilanciare in tutto il mondo le centrali nucleari per combattere l'effetto "serra", perché non emettono CO₂. Quanto è realistica questa proposta? Quanta CO₂ si ridurrebbe?

Per il nucleare vale, innanzi tutto, lo stesso discorso del petrolio: è una fonte esauribile.

Infatti l'AIEA, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica, stimava nello studio: "Analysis of Uranium supply to 2050" (2001) che, al ritmo di consumo previsto, la riserva operativa di Uranio era sufficiente fino al 2035.

E quanto alla riduzione di CO₂ ? Facciamo un esempio del tutto ipotetico e che prescinde dai problemi del nucleare (sicurezza, radioattività, sistemazione delle scorie, costi, tempi effettivi di realizzazione e proliferazione di armi atomiche).

Se si raddoppiasse entro il 2020 l'attuale produzione elettro-nucleare, avremmo ridotto del 5% le emissioni di CO₂, ma avremmo già prima esaurito le scorte di Uranio e si riproporrebbero tutti i problemi dell' "era del petrolio", guerre incluse.

Un programma nucleare di tali dimensioni - altre 360 centrali nucleari da 1000 Megawatt - non risulta però dalle scelte dei governi.

Entro il 2020 non sono previste in tutto il mondo più di altre 50 centrali atomiche di *terza* generazione, con un *effetto irrilevante sulla riduzione di CO₂*. E *Generation IV*, il consorzio dei Paesi che si è costituito nel 2000 per il rilancio del nucleare, non prevede l'entrata in funzione di un reattore nucleare di tipo *nuovo* prima del 2025.

Il nucleare non è perciò la risposta per combattere *da oggi* l'effetto "serra".

Non sono solo i cambiamenti climatici; la "fine" del petrolio e l'inadeguatezza del nucleare ci impongono di cambiare modello energetico.

E di fare presto, di ottenere risultati significativi già entro il 2020.

Anche qui torna utile la priorità raccomandata nel già citato statement: ***"La sostenibilità e la sicurezza per l'energia richiederanno molte vigorose azioni a livello nazionale e un' intensa cooperazione internazionale. Queste azioni e questi passi da fare insieme dovranno necessariamente essere basati sul più ampio supporto pubblico, soprattutto nell'esplorare le strade per aumentare l'efficienza nell'uso dell'energia."***

La risposta dell' Unione Europea - dal libro "verde" per l'energia (marzo 2006) alle linee guida per la loro attuazione (novembre 2006) ai tre 20% ottenuti da Angela Merkel nella riunione dei capi di Stato e di governo di marzo scorso - è stata data. Ed è assai significativa. *Sono obiettivi seri*. Permettono anche di avere le carte in regole per proporre, prima del 2012, impegni vincolanti sia agli Stati Uniti che ai Paesi ad economia emergente, Cina in testa. Così seri da far gridare, anche in casa nostra, qualche economista "neo-atlantico" contro la *no regret policy* della UE: ma quali carte in regola! l'Europa con questa politica rigorosa in nome della lotta all'effetto "serra" si propone in realtà come leader dell'innovazione tecnologica, cercando di indebolire l'economia americana con impegni onerosi, cui essa dovrebbe sottostare con svantaggi per lei immediati in nome di un futuribile "bene" collettivo.

Ma qualche cosa sembra muoversi anche nei due Paesi, responsabili delle maggiori emissioni di CO₂: le grandi società finanziarie americane hanno chiesto di poter partecipare al mercato delle emissioni. Certo è un *business*, ma un affare che potrà avere grandi ricadute positive nella lotta all'effetto serra. La Cina, nella riunione di Potsdam di marzo scorso, ha fatto balenare la sua disponibilità a negoziare.

Lo stesso G8 di Heiligendamm del 6-8 giugno scorsi, che è stato visto come una battuta d'arresto - ma era difficile proprio per Bush capovolgere una linea, che aveva visto lui stesso e la sua amministrazione tenacemente impegnati in senso antitetico a quella della UE -, penso invece che renda credibile l'apertura di un vasto negoziato globale, già entro il 2009, per definire gli obiettivi di riduzione della CO₂ e degli altri gas di "serra".

Abbiamo, insomma, *una rivoluzione energetica* da compiere. Le maggiori responsabilità le hanno i governi, ma anche *ai cittadini è richiesto un grande salto culturale* nelle loro abitudini di consumo, nei loro stili di vita.

Il termine essenziale di questa rivoluzione è la transizione da produzione e consumo dominati da un modello di energia fortemente concentrata, ad alta “densità”, verso *un sistema energetico decentrato, fonti distribuite nel territorio* e più conoscenza per un uso intelligente delle risorse: una transizione *dalla quantità alla qualità*.

L’attuazione del Protocollo di Kyoto, e di una sua seconda fase dopo la “stabilizzazione” al 2012, costituisce il pezzo fondamentale delle politiche per una sostenibilità globale e una proposta come l’impegno morale del XXI secolo.

BOX CAMBIAMENTI CLIMATICI E PROTOCOLLO DI KYOTO

La Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, approvata nella Conferenza Mondiale sull’Ambiente e lo Sviluppo di Rio del 1992, ratificata dall’Italia nel gennaio del 1994, ha stabilito una serie di misure:

1. azioni o contromisure che agiscono soprattutto sulle cause principali dei cambiamenti climatici, quali ad esempio le emissioni in atmosfera di gas e inquinanti capaci di aumentare l’effetto serra naturale del nostro pianeta;
2. azioni e contromisure che agiscono soprattutto sulla prevenzione dei possibili danni e sulla minimizzazione delle prevedibili conseguenze negative indotte dai cambiamenti climatici sull’ambiente naturale, l’ambiente antropizzato e lo sviluppo socio-economico, quali ad esempio i danni all’agricoltura e alle risorse idriche (prodotti da processi di aridificazione e desertificazione nella fascia temperata subtropicale), la salinizzazione delle falde freatiche e la distruzione degli ambienti costieri indotti dall’innalzamento del livello del mare, ecc.;
3. azioni o contromisure che agiscono soprattutto sulla programmazione dell’uso del territorio e delle risorse naturali e sulla pianificazione dello sviluppo socio-economico mondiale.

Nel 1997, con il *Protocollo di Kyoto* viene stabilita una riduzione media del 5,2 % di gas serra a carico di tutti i Paesi industrializzati. L’accordo di Kyoto non rappresenta un punto di arrivo ma è solo un punto di partenza per i problemi del clima e dello sviluppo sostenibile, ma soprattutto per la cooperazione mondiale anche in altri settori delle tematiche globali quali la biodiversità, la desertificazione e l’attuazione di *Agenda 21*.

Alla realizzazione degli obiettivi dell’accordo dovranno contribuire in modo determinante i paesi maggiormente responsabili dei *gas serra*. L’anidride carbonica (CO₂), che è prodotta dai combustibili fossili, dal metano (agricoltura e allevamenti), dal protossido d’azoto (fertilizzanti), dagli idrofluorocarburi, dai perfluorocarburi e dall’esafluoro di zolfo è la maggiore responsabile dell’effetto serra. Pertanto, l’Unione Europea dovrà ridurre dell’8% le emissioni, del 7% gli Stati Uniti e del 6% il Giappone. I negoziati per applicare il *Protocollo di Kyoto*, sono stati più complessi di quanto si auspicava al momento della loro definizione. Per rendere operativo l’accordo raggiunto a Kyoto di una riduzione media del 5,2% di gas serra a carico di tutti i Paesi industrializzati, da realizzarsi nel periodo 2008-2012, era indispensabile che esso venisse ratificato dai parlamenti di

un numero di paesi industrializzati tale da rappresentare almeno il 55% del totale di quelli responsabili delle emissioni dei gas serra registrate nel 1990. Il protocollo di Kyoto è divenuto operativo nel febbraio 2006 e la riduzione delle emissioni dovrà iniziare dal 1 gennaio 2008.