CLIMA, ENERGIA, SOCIETÀ

Associazione Galileo 2001
*Clima, Energia, Società*
a cura di Angela Rosati

© 2011 21mo SECOLO s.r.l.
Via L. di Breme 18, 20156 Milano
Tel. 02-38000534, 02-33408361
Fax 02-91618035
www.21mosecolo.it
info21@mosecolo.it

Tutti i diritti riservati
ISBN: 978-88-87731-47-7

*Grafica*:
*In copertina:* Disegno raffigurante Galileo Galilei.

Associazione Galileo 2001
per la libertà e dignità della scienza

# CLIMA, ENERGIA, SOCIETÀ

a cura di
Angela Rosati

21mo SECOLO

# INDICE

PRESENTAZIONE pag. 9

**INDIRIZZI DI SALUTO**

Presidenza della Repubblica » 13

Gianni ALEMANNO – *Sindaco di Roma* » 14

Luciano MAIANI – *Presidente CNR* » 15

Giovanni LELLI – *Commissario ENEA* » 17

Roberto PETRONZIO – *Presidente INFN* » 20

Gian Tommaso SCARASCIA MUGNOZZA
*Presidente Accademia delle Scienze – Detta dei XL* » 23

Luisa CIFARELLI
*Presidente Società Italiana di Fisica* » 25

Michele ARESTA
*Presidente Commissione Energia – Società Italiana di Chimica* » 26

Carlo DOGLIONI
*Presidente Società Italiana di Geologia* » 29

Pierluigi VIAROLI
*Presidente Società Italiana di Ecologia* » 33

**RELAZIONE DI APERTURA**

Renato Angelo RICCI » 35

**Sessione 1 – IL CLIMA STATO DELLE CONOSCENZE**

Corrado CLINI
*Dopo il G8: fattibilità e sfide tecnologiche per limitare l'aumento della temperatura media entro 2°C* » 41

Massimo FREZZOTTI
*Il ghiaccio e i cambiamenti climatici* pag. 51

Antonello PROVENZALE
*Interazioni climatiche tra atmosfera e biosfera* » 71

Sandro FUZZI
*Aerosol atmosferico e clima* » 97

Alfonso SUTERA
*Variazioni climatiche: fatti e miti* » 109

**Sessione 2 – LE VARIAZIONI CLIMATICHE, QUALITÀ DEI DATI E RICERCA**

Sergio CASTELLARI
*La sfida della scienza del clima* pag. 127

Franco PRODI
*Cambiamenti climatici: cause naturali e cause antropiche* » 133

Sandro CALMANTI
*La circolazione generale dell'oceano e il clima. Dalla scala globale al ruolo del Mediterraneo* » 145

Costante DE SIMONE
*La più lunga serie di misure di $CO_2$ in Europa (1979-2009) e l'atlante climatico d'Italia (1970-2000)* » 159

Mario CIRILLO
*Clima e qualità dell'aria: le interconnessioni* » 175

Frank RAES
*Tema e variazioni* » 195

**TAVOLA ROTONDA E DIBATTITO**

Carlo BERNARDINI pag. 205

Uberto CRESCENTI » 207

Guido FANO » 209

Gian Vittorio PALLOTTINO » 213

Antonio SPERANZA » 215

Francesco TAMPIERI pag. 217
Luciano LEPORI » 219
Stefano TIBALDI » 225
Giuseppe VACCA » 227
Gino MONCADA LO GIUDICE » 229
DISCUSSIONE » 231

**Sessione 3 – CLIMA ED ENERGIA**

Agostino MATHIS
*Dinamica e controllo del sistema clima-energia* pag. 239
Ugo SPEZIA
*Impatto climatico dell'energia nucleare* » 279
Domenico COIANTE
*Le fonti rinnovabili e le loro problematiche* » 295
Cesare MARCHETTI
*Il nucleare può risolvere definitivamente i problemi. Riproviamoci* » 331
Carlo STAGNARO
*I costi dell'unilateralismo europeo* » 335

**Sessione 4 – CLIMA E SOCIETÀ**

Umberto TIRELLI
*Cambiamenti climatici e salute* pag. 345
Enrico PORCEDDU
*Centralità dell'agricoltura ed effetto delle variazioni climatiche sugli agro-eco-sistemi* » 349
Luigi MARIANI
*Agricoltura come governo del ciclo del carbonio* » 359
Guido POSSA
*Le possibili gravi conseguenze del pesante dirigismo politico ormai prevalente nel mondo occidentale a riguardo del riscaldamento globale* » 369
Paolo TOGNI
*Il governo dell'ambiente* » 383

**Sessione Finale – CONOSCENZA, INFORMAZIONE E DECISIONI POLITICHE**

Ezio BUSSOLETTI pag. 387
Elisabetta DURANTE » 389
Chicco TESTA » 391
Camillo ZACCARINI BONELLI » 395
Ludovica MANUSARDI CARLESI » 397
Franco FORESTA MARTIN » 399
Bruno PAMPALONI » 401
DISCUSSIONE » 402

**CONCLUSIONI**

Renato Angelo RICCI pag. 411

Documento di sintesi pag. 419

**Lettera aperta**
"La scienza è al servizio solo della conoscenza" » 423
Manifesto » 426
Organi costituzionali Associazione Galileo 2001 » 430

# PRESENTAZIONE

Renato Angelo RICCI
*Presidente Galileo 2001*
Giulio Valli
*Segretario Generale*

Ad un anno di distanza escono gli Atti del Convegno "Clima, Energia, Società" della nostra Associazione. Ci si può domandare se i contenuti di tali Atti, come del resto in circostanze simili, siano tuttora di attualità e portino ancora un effettivo ed efficace contributo alle questioni considerate. In realtà, a parte il significato non trascurabile di una documentazione utile, se non necessaria, di un evento certamente ricco di dati, osservazioni ed opinioni, la materia in esame continua ad essere di grande interesse e costituisce in ogni caso uno dei problemi più emblematici in cui si mescolano inestricabilmente aspetti culturali, socio-economici e politici. Negli ultimi anni, i problemi delle variazioni climatiche e delle scelte energetiche hanno diviso, in maniera a volte inconciliabile, non solo gli schieramenti politici e le dottrine filosofiche alla base di presupposti ideologici ma addirittura le comunità scientifiche.

Nell'anno trascorso non poca acqua è passata sotto i ponti e non vi è dubbio che un aggiornamento di quanto discusso nel nostro Convegno potrebbe apparire necessario. Basti pensare alla Conferenza di Copenaghen sul Clima nel dicembre dello scorso anno seguita dal recente vertice di Cancun, alle forti discussioni relative al cosiddetto "Climategate" nonché all'evoluzione, non priva di ulteriori accesi dibattiti, delle campagne strategiche in materia di energia, con particolare riguardo alle contrapposizioni, spesso forzose, tra energia nucleare ed energie rinnovabili.

Non è qui il caso di entrare nel merito specifico di tali eventi che naturalmente formeranno oggetto di discussione anche all'interno della nostra Associazione e, soprattutto, delle comunità scientifiche coinvolte.

In particolare, in relazione ai problemi climatici, si è constatato che Copenaghen ha sostanzialmente decretato il superamento del Protocollo di Kyoto, dovendo, tra l'altro, far fronte a critiche sollevate sull'IPCC per alcuni errori nel suo rapporto 2007 (ad esempio la stima errata della data di fusione dei ghiacciai dell'Himalaya) ed alcune posizioni non sufficientemente neutrali per finire con il caso dei messaggi privati dei ricercatori dell'Università dell'Anglia. Anche se indagini successive promosse dalle Nazioni Unite abbiano indicato che, in tal caso, non vi è stata vera manipolazione di dati, ciò ha tuttavia rivelato uno stato di tensione e di conflitto tra i sostenitori delle diverse interpretazioni che appare poco adatto al rigoroso e imparziale procedere della scienza. In tal senso la *vexata questio* di un riscaldamento globale di origine antropica, riaffermato da tali indagini e contestato da altre, rimane un punto essenziale dell'attuale dibattito sul clima che in ogni caso non può e non deve precludere il carattere di ricerca individuale e di esplorazione libera e non soggetta ad alcun condizionamento politico o pregiudizio ideologico.

In questo sta l'attualità e al contempo la "classicità" degli Atti del nostro Convegno che ha dibattuto proprio i vari aspetti controversi, muovendosi il più possibile nella linea del confronto anche vivace dei risultati, delle interpretazioni e delle opinioni valutative, come appare dalle relazioni presentate. E soprattutto si è voluto indicare e raccomandare un maggiore interesse e sostegno alle attività di ricerca libera e qualificata.

Parallelamente, restano di attualità le questioni sollevate e discusse a proposito di una Strategia Energetica finalmente impostata su una corretta valutazione delle possibilità, dei limiti e dei problemi delle varie fonti di energia, considerate anche alla luce del corrispondente impatto ambientale e del loro apporto allo sviluppo armonico ma ineluttabile dell'economia mondiale e dell'evoluzione delle società umane. Il collegamento Clima-Energia non è, ovviamente, soltanto un dato tecnico-scientifico in relazione al problema dei cambiamenti climatici e all'effetto delle emissioni di gas serra, ma anche e soprattutto un aspetto ormai determinante nelle decisioni politiche relative alle scelte energetiche.

E qui sta la perdurante controversia, purtroppo ancora legata a pregiudizi di ordine ideologico e a condizionamenti di ordine politico-eco-

nomico, che investe il dibattito riguardante la strategia relativa alle varie fonti energetiche. In effetti l'altra *vexata questio* della produzione di energia nucleare diventa ormai una cartina di tornasole per la verifica delle responsabilità politiche, oltre che delle necessità economiche, e ciò ci interessa da vicino nel nostro Paese. Il contributo dato alle discussioni e alle proposte in merito emerse nel nostro Convegno, che fanno seguito a chiare posizioni ed indicazioni della nostra Associazione da più anni, non può essere ignorato dai decisori politici e dagli organi d'informazione. Il dato di fatto che un corretto mix energetico con una efficace ripresa del contributo nucleare possa garantire l'avvio di una politica di sviluppo equilibrato che tenga conto dei fattori economici e ambientali, inclusi i possibili rischi da cambiamenti climatici, è, questo si!, una verità non più trascurabile ed è ciò che è stato messo efficacemente in luce nel dibattito che ha caratterizzato il Convegno.

Ciò che nel frattempo è avvenuto in conseguenza dell'applicazione della legge 23 luglio 2009, che poneva le basi giuridiche per la realizzazione in Italia di nuove centrali nucleari, va salutato con una certa soddisfazione. Si tratta in particolare della costituzione dell'Agenzia per la Sicurezza Nucleare con a capo il Professore Umberto Veronesi (nostro Presidente Onorario), e della dichiarazione della Corte Costituzionale che riafferma la legittimità dello Stato (rispetto alle Regioni), in materia di installazione di impianti nucleari. Si tratta indubbiamente di tappe significative nel non facile percorso – e ciò va debitamente riconosciuto – avviato dal governo attualmente in carica per riportare il nostro Paese, che ne ha le credenziali storiche, scientifiche e tecnologiche, nel novero dei Paesi industrializzati produttori di energia elettrica da fonte nucleare.

L'auspicio è che certe contrapposizioni aprioristiche nel dibattito e nel confronto delle fonti di energia sia ricondotto ad una corretta conoscenza delle possibilità tecniche e delle convenienze economiche, nella constatazione che un retroterra solido, assicurato da produzione di energia su larga scala (vedi energia nucleare e sistema tecnico-industriale avanzato corrispondente), sia assolutamente necessario anche ai fini di una consapevole politica della ricerca e dell'innovazione tecnologica.

Infine, eravamo e siamo convinti che una condizione al contorno essenziale è come sempre l'informazione, collo di bottiglia sia per una

adeguata preparazione e consapevolezza dell'opinione pubblica sia per una sufficiente e ragionata acquisizione di responsabilità delle Istituzioni rappresentative e dei decisori politici, a livello locale come a livello nazionale. Di questo si è trattato nella tavola rotonda finale e la partecipazione di alcuni meritevoli rappresentanti di organi d'informazione è stata altamente apprezzata ed è da sottolineare.

Un caloroso e doveroso ringraziamento a tutti i i partecipanti e, in particolare ai presidenti degli Enti di Ricerca più rappresentativi (CNR, ENEA, INFN, Accademia delle Scienze) e delle Associazioni Scientifiche (Società Italiana di Fisica, Società Chimica Italiana, Società Italiana di Geologia, Società Italiana di Ecologia), ai parlamentari e ai responsabili politici e ministeriali che hanno voluto essere presenti e dimostrare il loro apprezzato interesse alla nostra manifestazione, a tutti gli autorevoli relatori e presidenti di sessione, nonché ai partecipanti alle significative tavole rotonde e ai dibattiti che hanno vivacizzato il Convegno. Convegno che è stato possibile grazie al lavoro preparatorio del nostro consiglio direttivo e alla capacità organizzativa e alla dedizione del consigliere Dott.ssa Angela Rosati e del nostro segretario generale Ing. Giulio Valli, curatori del volume.

Ci auguriamo che gli Atti qui presentati e le tracce lasciate dal nostro Convegno possano dare qualche frutto positivo.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Donato MARRA
*Segretario Generale della Presidenza della Repubblica*

Il Vostro Convegno Scientifico Nazionale *Clima, energia, società*, promosso dall'Associazione Galileo 2001, costituisce importante occasione per approfondire da un punto di vista scientifico temi di grande rilievo per il futuro del pianeta e del nostro Paese.

Si tratta di temi assai sensibili, che suscitano attese e preoccupazione di segno diverso e che richiedono una valutazione responsabile di tutte le conseguenze collegata ad una strategia ambientale di dimensione necessariamente globale.

In questa ottica è necessario un esame attento delle acquisizioni scientifiche ed un confronto tra di esse senza pregiudizi, presupposti irrinunciabili per elaborare efficaci scelte politiche che contemperino la doverosa tutela dell'ambiente con la soddisfazione dei fabbisogni energetici indispensabili al progresso della società.

Nell'auspicio che da questo incontro emergano importanti contributi di riflessione, il Capo dello Stato invia a Lei, egregio Presidente, alle Autorità convenute, agli illustri Relatori e a tutti i presenti cordiali saluti e i migliori auguri di buon lavoro, cui unisco i miei personali.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Gianni ALEMANNO
*Sindaco di Roma*
Messaggio pervenuto

Vi ringrazio per l'invito che mi avete rivolto a prendere parte ad un incontro il cui tema mi sta particolarmente a cuore.

Purtroppo, impegni istituzionali concomitanti, mi impediscono di essere con voi.

Desidero, tuttavia, che vi giunga non solamente il mio augurio di buon lavoro ma anche l'auspicio, che formulo a nome dell'intera città, che questi due giorni sul clima e l'ambiente siano un momento di proficue riflessioni.

Negli ultimi anni, con una velocità sempre maggiore, abbiamo assistito ad eventi che hanno dimostrato, e quotidianamente continuano a dimostrare, quanto sia importante l'attenzione da porre nei confronti dell'ambiente che ci circonda. E non mi riferisco semplicemente al controllo delle emissioni nocive nell'atmosfera: l'incremento che si registra nelle temperature medie è, di per sé, un indizio sufficiente della necessità di riportare a un livello inferiore queste emissioni. Ma, e penso a una serie di recenti avvenimenti tanto in Italia quanto all'estero, mi riferisco anche a quella essenziale tutela dell'ambiente circostante - i campi e i prati, colline e montagne - la cui assenza può rivelarsi letteralmente catastrofica.

Aggiungo, infine, un'ultima riflessione.

L'ambiente è senza dubbio una priorità nell'agenda politica internazionale, nazionale e locale. Ritengo che sia essenziale giungere a una formulazione della necessità di tutelare il nostro mondo che sia, però, coniugata anche con l'altrettanto necessario sviluppo economico e sociale.

Incontri come quello che vi vede protagonisti sono il momento in cui le migliori intelligenze possono riuscire ad identificare questo giusto equilibrio fra tutela dell'ambiente e sviluppo economico. Nuovamente, quindi, auguro a tutti voi un cordiale benvenuto e un buon lavoro.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Luciano MAIANI
*Presidente del CNR*

Il Consiglio Nazionale delle Ricerche è lieto di ospitare un incontro sui temi del clima, dei cambiamenti climatici, dell'atmosfera e dell'energia, su cui è impegnato in prima linea. Prova del coinvolgimento del CNR è la presenza di diversi ricercatori dell'Ente ai lavori di Galileo 2001.

Un altro motivo di soddisfazione è vedere riunite insieme autorità che rappresentano buona parte del mondo della ricerca, della fisica, del nucleare (ENEA, INFN), segno di concordia del mondo della ricerca e del mondo accademico su questi temi. Mi ricordo che molti anni fa all'INFN, durante un convegno, mostrai una fotografia in cui comparivano Villi, Bernardini e i Presidenti degli enti che discutevano sulla collaborazione della comunità scientifica. Una collaborazione fattiva, comprensiva, in cui i vari enti in qualche maniera si integrano, collaborano e cercano di portare avanti la politica scientifica del Paese.

Oggi viviamo tempi difficili, siamo tutti ad aspettare i fondi per la ricerca, sospesi come eravamo l'anno scorso quando, per quel che riguarda il CNR non avemmo una sorpresa negativa. Speriamo che quest'anno le risorse stanziate vadano nella stessa direzione del 2009, cioè che venga rafforzato l'impegno del governo a sostegno della ricerca. Questo incontro testimonia in maniera evidente che la ricerca è fondamentale non solo per il futuro del paese ma anche del pianeta.

In ogni mio discorso cerco di ripetere e spiegare che senza scienza, senza tecnologia, non si risolvono i problemi che abbiamo di fronte: energia, clima e cambiamenti climatici. Il dibattito è vivace, e secondo me è aperto; sono convinto che un incontro come questo, con la partecipazione di persone tanto autorevoli tra cui molti miei colleghi di

tanti anni, possa fornire un contributo importante. Infine, sono felice che la sede di questo confronto sia il CNR, perché questo ente vuole essere la casa di tutti, e in primo luogo della ricerca. Grazie.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Giovanni LELLI
*Commissario ENEA*

Mi associo ai ringraziamenti all'amico Renato Angelo Ricci per aver organizzato questo incontro e per averci invitato. Nel fare mente locale su quanto avrei detto, ho osservato il carattere scientifico di questo convegno, dell'impostazione che si è voluta dare che è di carattere scientifico e tutti sappiamo quanto sia importante il tema su cui si dibatte oggi.

È interessante osservare che proprio la relazione di un politico come il Sen. Possa si intitoli "le possibili gravi conseguenze del pesante dirigismo politico ormai prevalente nel mondo occidentale a riguardo del riscaldamento globale"; un titolo emblematico perché proprio l'evidente nota di critica contenuta in questo titolo mette in evidenza il carattere scientifico del Sen. Possa stesso.

Perché sottolineo questo aspetto? Perché credo che sul tema dei lavori preparatori della prossima Conferenza di Copenaghen siano poche le persone che si sentono sicure di se stesse. In vista degli aggiornamenti di Kyoto, del cammino per arrivare a Copenaghen, credo ci si concentri in maniera troppo rilevante sulle interpretazioni del diritto internazionale, sui formalismi che questo può significare; mi pare invece che il punto di base da affrontare sia quello di definire obiettivi a breve, medio e lungo termine (breve 2012, medio 2050, lungo oltre il 2050). Fra le varie iniziative sul clima, c'è stata anche la conferenza di Bali nel 2007 che, nel tentativo di razionalizzare, ha parlato di 4 obiettivi che sono: strategie di mitigazione; strategie di adattamento; strumenti di attuazione finanziari e strumenti di attuazione tecnologici.

Il tutto è complicato dal fatto che destinatari di queste azioni saranno poi i paesi in via di sviluppo, i paesi industrializzati e gli attori, a loro volta, nei paesi in via di sviluppo e nei paesi industrializzati.

Ecco, io credo che le sessioni in cui si articola il convegno e che fanno riferimento a "Stato delle conoscenze", "la qualità dei dati e ricerca", e poi le ultime due sessioni: "clima ed energia", "clima e società" mettano in relazione un rapporto chiaro causa-effetto: l'energia innanzitutto ed i comportamenti. Credo che questo sia un approccio molto corretto per affrontare questo macigno che è il clima che cambia. Allora, essendo questo il modo corretto, ci poniamo anche il problema di cosa operativamente e praticamente possiamo fare noi Enti di ricerca.

Mi ha aperto la strada, nel suo intervento, il Presidente del CNR ed io proseguo lungo questa strads, ricordando che finalmente la legge di riforma dell'ENEA, alla quale si ispireranno le azioni che verranno realizzate in questo periodo di commissariamento, è richiamata in una legge di carattere ben più ampio: la legge 99 del 2009, la quale ridisegna l'intero settore dell'energia del paese, con un ampio riferimento al ruolo delle imprese.

È così, evidentemente, che va impostata la riforma di un ente importante come l'ENEA; ed è così che, in rapporto ai temi di cui si parla oggi, finalmente si mette l'accento sul nucleare. Si parla di nucleare perché finalmente si ha il coraggio di toccare uno dei tasti principali; nel rapporto energia-ambiente possiamo parlare di mitigazione, di adattamento, ma il ritorno al nucleare è uno strumento molto importante.

Io credo allora che l'ENEA abbia tutte le migliori possibilità, in questo senso, di contribuire positivamente alla soluzione del problema a breve, medio e lungo termine. Ricordo che, oltre al richiamo alla legge, c'è un richiamo, nella legge istitutiva della nuova Agenzia, allo sviluppo sostenibile, non solo in riferimento alla tutela dell'ambiente, come in passato, ma anche in riferimento ad una serie di questioni delle quali l'ambiente è soltanto una. Con questa affermazione non voglio porre un'enfasi sul problema dell'adattamento, piuttosto che sul problema della mitigazione, per affrontare i cambiamenti climatici; è però innegabile che lo sviluppo è sostenibile solo quando in qualche maniera si adatta e si pone l'enfasi sull'adattamento al clima che cambia. Questo cambiamento è un dato di fatto con il quale bisogna fare i conti, considerando inoltre che una forte mitigazione del cambiamento è molto difficile.

L'obiettivo che ci si è dati di un innalzamento della temperatura non superiore ai 2 gradi per la metà del secolo anche se fosse da qui a 100 anni lo vedo molto molto difficile da raggiungere. Ritengo che, nel nostro Paese, bisogna impegnarsi pragmaticamente sul nucleare e sulle fonti rinnovabili, ma anche su una serie di azioni tecnologiche che ci abituino a convivere con il fenomeno che ormai è in atto. La mia dichiarazione potrebbe essere considerata, nei fatti, troppo forte; ma, in collaborazione con gli altri enti di ricerca e con il sistema scientifico, nel quale ci collochiamo pur essendo Agenzia, qualora emergano valutazioni scientifiche differenti, noi ci adatteremo.

Con questo termino ed auguro un buon lavoro a tutti.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Roberto PETRONZIO
*Presidente INFN*

Prima di tutto desidero rivolgere un ringraziamento agli Organizzatori del Convegno per avermi invitato a parlare su una tematica oggi di così grande attualità e un ringraziamento anche a Luciano che ha inteso ospitarci.

Il clima e l'energia sono argomenti che sempre più spesso vengono posti all'attenzione della pubblica opinione come questioni che necessitano di iniziative specifiche e urgenti. La comunità scientifica che opera in questi settori e che nelle sedi opportune dibatte su questi argomenti, deve cercare di dare un'informazione la più chiara possibile al grande pubblico sottolineando che, su questi temi, il dibattito è ancora aperto e nel contempo dare alla politica tutti quegli elementi necessari per le iniziative da intraprendere.

Vorrei a questo punto entrare nel merito di quanto si sta qui dibattendo in rapporto alle attività di ricerca dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Ci si potrebbe chiedere che cosa ha a che fare un Istituto di Fisica Nucleare con il clima e l'energia. Queste tematiche potrebbero apparire molto più lontane dal campo d'azione dell'Istituto di quanto lo siano realmente. Per esempio se parliamo del "clima" l'Istituto ha sviluppato da tempo tecniche e soprattutto anche hardware su calcolatori dedicati a calcoli intensivi, utilizzati in passato anche in modo molto massiccio per le simulazioni delle equazioni sui cambiamenti climatici. Quindi direi che il grosso impatto su questo tema è proprio quello computazionale sia dal punto di vista, ripeto, della modellizzazione su questo tipo di calcolatori, sia più recentemente nel trattamento dei dati: il clima è un problema anche di dati che devono pervenire da più parti ed essere disponibili su database. Negli ultimi anni e nei vari Paesi molte istituzioni scientifiche sono impegnate nel-

lo sviluppo di un progetto chiamato GRID per la condivisione automatizzata dei dati e la possibilità di utilizzare tutte le risorse di calcolo disponibili anche in remoto. Quindi direi che l'impatto sul clima è soprattutto dal punto di vista della modellizzazione e del trattamento dei dati.

Passando al secondo tema in discussione, se si pensa alle energie rinnovabili il nesso con il clima risulta evidente.

L'INFN ha come fine istituzionale la ricerca fondamentale nel campo della fisica nucleare e sub-nucleare: questo non vuol dire che è impegnato nella costruzione di centrali, ma piuttosto che sviluppa ricerche di base nel settore.

Nel settore dell'energia nucleare l'Istituto contribuisce al programma nazionale sulla fusione con due attività:

1. progetto ITER relativo alla fusione in collaborazione con CNR e ENEA;
2. IFMIF riguarda la realizzazione di una facility in grado di fornire un flusso di particelle, neutroni in particolare, capace di testare la resistenza dei materiali perché, in futuro, le centrali a fusione, qualunque tecnologia adottino, hanno bisogno di materiali innovativi altrimenti non potranno reggere il flusso di radioattività neutronica a cui verranno sottoposte.

Nel settore della fissione l'Istituto ha lanciato un progetto strategico denominato INFN-E che racchiude al suo interno tre sottoinsiemi:

- la formazione dei giovani,
- il monitoraggio delle radioattività anche collegato ai temi della sicurezza contro la proliferazione.
- infine lo studio delle tecnologie future con particolare riferimento a quelle di "IV generazione" legate alle centrali con neutroni veloci. Queste sono particolarmente interessanti e da tempo è stato avviato un programma per lo smaltimento delle scorie. In realtà punti di fondo del dibattito scientifico e politico sono proprio quelli delle scorie e della sicurezza delle centrali.

Sulla sicurezza è noto che tutto ciò che è radioattività dà segnali di particelle e quest'ultime vengono rilevate da sensori che vengono comunemente usati nella fisica delle particelle.

Oggi sappiamo che è impossibile eliminare le scorie completamente, però queste si possono degradare riducendone la vita media. È questo uno dei punti di ricerca qualificanti in cui, a mio parere, ci potrebbero essere notevoli progressi anche alla luce delle competenze acquisite in passato dall'INFN con il progetto di trasmutazione.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Gian Tommaso SCARASCIA MUGNOZZA
*Presidente Accademia delle Scienze detta dei XL*

Signor Presidente, innanzitutto complimenti vivissimi a nome dell'Accademia delle Scienze per il successo che hai ottenuto con questo convegno e per questa partecipazione che solo tu, con la tua forza, sei potuto arrivare a questa magnifica discussione su temi fondamentali per l'avvenire anche del nostro Paese.

Io vorrei ricordare che la nostra Accademia, nei suoi secoli di vita, ha avuto soci di grandissimo valore soprattutto nel campo della fisica nucleare e dell'energia, uno per tutti Fermi che, come tu forse ricorderai, nel 2006-2007 facemmo insieme all'Associazione Galileo 2001 un convegno, i cui atti sono stati pubblicati, che illustrava il percorso dell'uso dell'energia nucleare per scopi pacifici dalla Conferenza di Ginevra dal 1955 al 2007.

Per l'Accademia delle Scienze, per questo particolare convegno, il contributo che abbiamo pensato di dare è più sull'aspetto biologico. Per energia, ad esempio, si potrebbe intendere anche "l'energia della vita" che viene dalla vegetazione, dall'importanza e dal ruolo che verrà riconosciuto nel paese a livello internazionale, come si sta tentando nelle ultimissime conferenze tra il G8 e il Summit della Fao, l'importanza dell'ecocentralità del sistema agricolo e forestale soprattutto per fornire energia che, come dicevo, è l'energia fondamentale per la vita di ciascuno di noi e non dimentichiamo che fra non molto saremo circa 9 miliardi di persone. Sotto questo aspetto quindi l'importanza del clima, delle variazioni climatiche, non parlo di quelle delle grandi ere biologiche ma di quelle di breve durata – 1 o 2 secoli – come ad esempio noi abbiamo avuto molte volte nel secondo millennio, sono fondamentali perché possono far scomparire la produzione alimentare in determinati paesi. Questo è soprattutto molto pericolo-

so, come giustamente ricordava l'Ing. Lelli, perché se non si trovano sistemi di adattabilità della produzione agroalimentare, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, saranno grossi problemi per i paesi avanzati che, come sappiamo, iniziando dall'Italia la produzione alimentare va scendendo anche per gli alti prezzi che sono stati raggiunti sul mercato.

Quindi energia, ruolo della società e clima e proprio sotto questo aspetto sarà il contributo specifico della nostra Accademia a questo incontro che sarà portato domani dal mio collega Enrico Porceddu che parlerà appunto di queste tematiche.

Mi sono permesso di sottolineare questo aspetto perché sia tu stesso Presidente che i colleghi che hanno parlato prima hanno voluto segnalare l'importanza generale, fondamentale, unitaria dei problemi della scienza per la vita. Ecco il problema dell'aspetto della società che è citato fra i temi del nostro Convegno.

Quindi vorrei di nuovo esprimere i complimenti vivissimi mio e dei miei colleghi di Accademia al Presidente Ricci per la lunga battaglia che ha condotto per arrivare a questo grossissimo ed importantissimo convegno, come anche il messaggio del Capo dello Stato ha voluto dimostrare, e come questa partecipazione, il dibattito che ci sarà ed ai contributi che vorranno segnalare, sono convinto, che potranno essere oggetto di importanti pubblicazioni da parte dell'Associazione Galileo 2001 alla quale rivolgo i miei migliori auguri e complimenti.

Grazie

# INDIRIZZO DI SALUTO

Luisa CIFARELLI
*Presidente Società Italiana di Fisica*

"Caro Presidente, purtroppo a causa di un impegno imprevisto che non mi è possibile cancellare non potrò essere presente all'inaugurazione del Convegno Clima, Energia, Società organizzato dall'Associazione Galileo 2001.

La Società Italiana di Fisica da diverso tempo si sta occupando, sia su scala nazionale sia su scala europea nel quadro della European Physical Society, delle tematiche legate all'energia e all'ambiente. Lo sta facendo con tavole rotonde e dibattiti interdisciplinari (nell'ambito dei suoi congressi nazionali), con gruppi di lavoro e workshop centrati su problemi specifici (a Varenna, sede della Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi", e non solo), con iniziative editoriali volte alla massima diffusione di una corretta informazione scientifica. Lo scopo primario rimane quello di promuovere, a tutti i livelli ma soprattutto presso i giovani, una moderna e lungimirante educazione civico-scientifica.

Il Convegno che si inaugura oggi è in linea con questo progetto, affronta molti dei temi più cari alla Società Italiana di Fisica e, ne sono certa, sarà un evento di indubbio interesse e di grande successo.

Con i miei migliori saluti ed auguri"

# INDIRIZZO DI SALUTO

Michele ARESTA
*Società Chimica Italiana*

La Società Chimica Italiana, così come tutti i Chimici, è molto sensibile ai problemi discussi oggi in questo interessantissimo Congresso - perfettamente organizzato dalla Associazione "Galileo2001"-, alle variazioni climatiche, all'impatto delle attività antropiche sul clima, alla ricerca di soluzioni che meno incidano sull'ambiente. È vero che l'Industria Chimica è un'attività produttiva ad alta intensità di energia e di carbonio, ma è anche vero che, come recentemente discusso in un Convegno Internazionale che ha avuto luogo proprio a Roma, se dovessimo sostituire le soluzioni offerte dalla Chimica con soluzioni che non prevedano l'utilizzo dei prodotti dell'Industria Chimica, la situazione peggiorerebbe in maniera drammatica e la qualità della vita dell'Uomo cadrebbe inesorabilmente.

La Chimica pervade la nostra esistenza, è essenziale per la nostra vita e per poter vivere ai livelli sempre più alti cui oggi l'umanità aspira. La Chimica - ormai è accettato universalmente - è un indicatore economico sensibile e fedele. Con la sua flessibilità creativa ed il suo carattere induttivo della conoscenza, la Chimica ha saputo nel tempo adeguarsi alle differenti esigenze della Società assumendo nel tempo il ruolo di promotore e poi di garante della Qualità della Vita in tutti i suoi aspetti più vicini al cittadino medio. Il ruolo sociale della Chimica – sostanziato nelle più recenti scelte del suo sviluppo (green chemistry, chimica sostenibile) – lo ha finalmente avvicinato ai giovani che cominciano a capire il suo essenziale contributo alla soluzione dei problemi più gravi da cui siamo afflitti.

Senza la Chimica non avremmo, giusto per restare nel tema odierno, l'energia per diversi tipi di trasporti (mobilità individuale e collettiva su strada e rotaie, o per mare, o aerea) che utilizzano i derivati del

carbone, del petrolio, del gas. Senza la Chimica il nucleare sarebbe impossibile (i processi di arricchimento e di trattamento degli esausti sono processi chimici).

Senza la Chimica sarebbe impossibile pensare di fare il grande passo verso una intensa utilizzazione di alcune delle energie rinnovabili (biomasse) o perenni (solare) né verso una sostenibile utilizzazione dei combustibili fossili per i prossimi 30-50 anni.

Una stagione di progressiva innovazione investirà la produzione dell'energia, con un ruolo chiave dell'Industria Chimica e della Scienza Chimica.

Una profonda innovazione di processo e di prodotto è richiesta dalla utilizzazione di combustibili carboniosi fossili di qualità sempre meno elevata. Questo comporta, già oggi, una rivoluzione nelle tecnologie di produzione dei combustibili (diesel e benzine) con la scoperta di tecnologie innovative di trattamento dei fossili prima di una loro conversione nei prodotti finali. L'utilizzazione di materie prime meno pregiate (più basso contenuto di carbonio e più elevato contenuto di zolfo o metalli o altre specie non utilizzabili a fini energetici) deve essere coniugata con la riduzione della emissione del $CO_2$ o di altri inquinanti. E questo comporta una profonda innovazione di processo ed un affinamento dei prodotti.

Una richiesta imprescindibile è rendere i processi meno intensivi in carbonio ed energia.

La risposta può venire dalla intensificazione ed integrazione di processo, con un passo decisivo verso impianti miniaturizzati e messi in assoluta sicurezza ("plant-in-a-dome"). Un'altra sfida viene dalla utilizzazione delle biomasse che richiedono, rispetto ai fossili, nuovi processi e nuovi catalizzatori. Lo sviluppo del solare (non solo come fotovoltaico, ma anche come termico) richiede un grosso impegno della comunità chimica nella ricerca di nuovi materiali e nuovi vettori termici.

E se oggi si parla di CCS (come ha squisitamente trattato il Dr. Clini) lo si può fare perché la Chimica ha reso disponibili materiali (liquidi, solidi, membrane organiche ed inorganiche) e conoscenza (comportamento reattivo) per la separazione del $CO_2$.

E la Chimica ancora fornisce un contributo prezioso ai problemi di sicurezza dei contenitori naturali in cui si intende confinare il $CO_2$

(conoscenza della reattività con il $CO_2$ dei materiali che costituiscono le rocce contenitori).

Il problema energetico è per la SCI di fondamentale importanza, non solo per gli aspetti scientifici e tecnologici, ma anche per la formazione. Mi piace ricordare la attività in essere in collaborazione con la Società Italiana di Fisica nella formazione di formatori e di studenti. È per noi di fondamentale importanza che i cittadini, in qualunque momento ed occasione siano chiamati ad esprimere un parere o a decidere un comportamento, lo facciano in maniera consapevole e su basi cognitive scientifiche sì da poter giungere ad atteggiamenti consapevoli e responsabili, piuttosto che puramente istintivi.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Carlo DOGLIONI
*Presidente Società Geologica Italiana*

Grazie Presidente, e grazie all'Associazione Galileo 2001 per aver invitato la Società Geologica Italiana a questo convegno. Vorrei ricordare che tra poco si chiude l'anno internazionale della terra che, purtroppo, è passato in sordina in Italia, mentre in altri paesi il ruolo della geologia e delle scienze della terra è sempre più considerato come centrale per affrontare le tematiche che sono all'ordine del giorno anche di questo Convegno.

Figura 1

Uno dei loghi che abbiamo utilizzato (Fig. 1) per questo anno internazionale della Terra è TERRRA, dove l'errore è voluto per attrarre l'attenzione; le tre erre sono Risorse, Rischi e Rispetto per la terra; alla

geologia si associano in genere solo le catastrofi, ma geologia vuol dire soprattutto Risorse, oltre al Rispetto che noi dobbiamo avere nell'interazione con l'ambiente. Tra le risorse più importanti è l'acqua, poi l'atmosfera (che ovviamente è quella che ci interessa di più in questo incontro); vorrei ricordare che un grosso contributo all'atmosfera viene dato dal degassamento della terra e dai vulcani stessi. Per esempio, l'Etna è uno dei vulcani che emette più $CO_2$ al mondo (speriamo che nell'emission trading non ci facciano pagare il fatto che in Italia abbiamo molti più vulcani che nelle altre nazioni). Vorrei poi far notare che molte nazioni stanno investendo in studi per utilizzare in maniera più estensiva l'energia geotermica: il Dipartimento dell'Interno americano e il Servizio Geologico degli Stati Uniti (USGS) hanno grossi progetti di ricerca per rivalorizzare le pompe di calore; ormai ci sono oltre un milione di case americane che sono attrezzate con una pompa geotermica nel proprio giardino. C'è un investimento sempre più forte nel settore geotermico. Vorrei sapere quanti cittadini sanno, o hanno la percezione che sotto Roma, ad una profondità uguale alla distanza che c'è fra la capitale e Tivoli, vi sia una temperatura di quasi 1000 gradi (fig. 2).

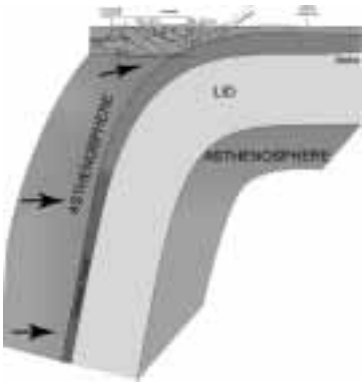



Figura 2

Abbiamo una sorgente termica inesauribile e dunque risorse infinite che sottovalutiamo.

Come seconda "r", i Rischi, ricordiamo i più noti quali le frane, i terremoti, le eruzioni vulcaniche. Però ci sono anche rischi più subdo-

li, che spesso sottovalutiamo, di lungo periodo. Per esempio questa è la carta geologica dell'Inghilterra (Fig. 3): se sovrapponiamo la distribuzione del radon alla carta geologica dell'Inghilterra, vediamo che

Figura 3

c'è una forte corrispondenza tra quella che è l'emissione di questo gas radioattivo, estremamente dannoso per la salute, e la concentrazione di tumori polmonari. In questa distribuzione si vede che sia nella parte centrale dell'Inghilterra, sia andando verso nord in Galles e Scozia, vi è una correlazione fra determinate formazioni geologiche, l'emissione di radon e determinate patologie. Nelle aree più a rischio è stato stimato un aumento di circa 25mila tumori in più all'anno. Abbiamo quindi bisogno di conoscere meglio il rapporto tra Terra e Uomo sotto tutti gli aspetti, non solo geologici, ma anche biologici: conoscere la storia geologica ci aiuta a capire meglio il nostro futuro, e quindi è fondamentale capire anche cosa sia successo in passato. È chiaro che noi stiamo lavorando su scale temporali molto brevi: praticamente nel 90% della storia della terra degli ultimi 400 milioni di anni, la tempe-

ratura e il livello del mare (che grosso modo coincidono) erano molto più alti dell'attuale. Come notate, il livello del mare odierno è almeno 100 metri sotto quello medio (Fig. 4).

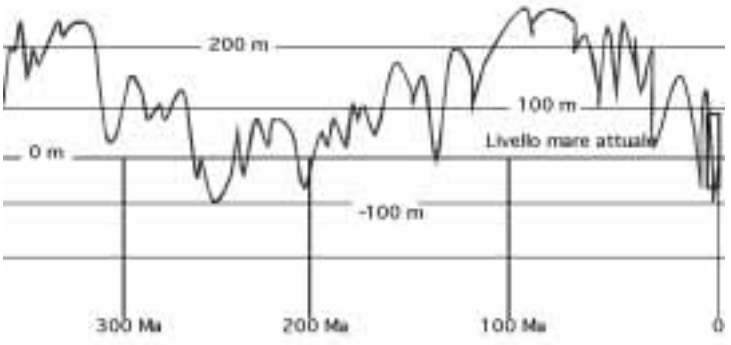



Figura 4

Quindi siamo in un periodo relativamente freddo della storia della terra; tuttavia, se consideriamo l'attuale livello del mare e lo confrontiamo con le oscillazioni marine degli ultimi 450.000 anni generate da fattori astronomici che sono l'eccentricità della rivoluzione della Terra attorno al sole, l'obliquità e la precessione dell'asse di rotazione terrestre (con periodicità rispettivamente di 100.000, 46.000 e 20.000 anni), vediamo che il futuro di lungo termine (prossimi 20.000-100.000 anni) è di ritornare verso un periodo freddo, salvo l'influenza di fattori diversi.

In definitiva, ci troviamo ad avere un patrimonio di informazioni che ci aiuta a capire meglio quello che ci aspetta, e il nostro rapporto con la terra diventa sempre più cruciale per programmare il nostro futuro.

Will Durant, filosofo, sosteneva che la civilizzazione avviene grazie al permesso concesso dalla natura geologica, salvo revoca che può avvenire senza preavviso…. (Civilization occurs by geological consent, subject to change without notice).

Auguri a tutti di buon lavoro.

# INDIRIZZO DI SALUTO

Pierluigi VIAROLI
*Presidente Società Italiana di Ecologia*

Porto ai convenuti il saluto della Società Italiana di Ecologia, esprimendo nel contempo apprezzamento per i temi che sono trattati nel convegno. Tra i vari argomenti presenti in un programma così ampio e completo, mi preme sottolineare la rilevanza degli studi sull'adattamento e sulle risposte al cambiamento di biodiversità, struttura e processi degli ecosistemi marini.

Si tratta di problemi emergenti, che riguardano da vicino il nostro paese che è esposto sul mare con uno sviluppo della linea di costa di oltre 8000 chilometri. Ci sono segnali preoccupanti di un cambiamento che deve essere analizzato e compreso: variazioni significative della temperature, comparsa di specie aliene, fioriture di mucillaggini e crescita abnorme di meduse sono alcuni dei tanti problemi che richiedono studi approfonditi. Fattori che solo in parte noti sono causa della scomparsa di specie marine, delle quali conosciamo poco, soprattutto c'è una grande incertezza sul loro numero.

Incompletezza e frammentazione del quadro delle conoscenze sono imputabili ad una criticità ormai storica del sistema della ricerca del nostro Paese che soffre non solo di carenze finanziarie ma anche della mancanza di un adeguato coordinamento, soprattutto nei settori dei progetti di carattere ecologico ed ambientale. A fronte di queste carenze culturali e strutturali, si aprono le sfide del nuovo millennio che sono sempre più caratterizzate da processi e fenomeni che richiedono robuste basi conoscitive in nuovi settori sia della ricerca che della pianificazione.

Tra i tanti problemi, una nota positiva: dal 2006 l'Italia si è dotata di una rete nazionale per le ricerche ecologiche di lungo termine (LTER-Italia), nata dalla collaborazione tra Società Italiana di Ecolo-

gia, CNR e MIPAF con istituti di ricerca ed università. Recentemente la rete italiana è diventata partner del programma ILTER (International Long Term Ecological Research). Questa iniziativa è importante perché è costituita da una serie di siti nei quali sono mantenute, almeno a livello minimale, ricerche di carattere ecologico ed ambientale che devono avere una prospettiva di durata di venti anni. In tal modo, si ha il consolidamento nel tempo di studi che consentono di percepire e studiare, tra gli altri, gli effetti del cambiamento del clima. Al momento LTER-Italia comprende una trentina di siti distribuiti lungo tutto lo stivale e nelle isole: foreste, piccole isole, grandi laghi insubrici e piccoli laghi d'alta quota, e alcune stazioni marine.

Ribadisco dunque l'importanza delle ricerche ecologiche come contributo per la comprensione del grande quadro delle questioni climatiche e dell'energia. È con questa prospettiva e con la consapevolezza che il tema trattato in questo congresso è di grande rilevanza che auguro un proficuo lavoro in attesa di vedere anche i documenti congressuali che credo saranno di interesse anche per chi non si occupa direttamente di energia e clima.

# RELAZIONE DI APERTURA

Renato Angelo RICCI
*Presidente Associazione Galileo 2001*

**Introduzione: le ragioni della scienza**

Una Conferenza sulle questioni climatiche e le loro connessioni con i problemi di approvvigionamento energetico e dello sviluppo socio-economico non è ovviamente la prima né sarà certamente l'ultima. Né il nostro Convegno, che finalmente dopo lunga gestazione siamo riusciti ad organizzare qui a Roma nella prestigiosa sede del CNR, ha la pretesa di costituire un punto di riferimento essenziale né di fornire verità assolute o incontrovertibili, visto il programma di incontri non solo specifici ma soprattutto istituzionali ed ufficiali a livello sia nazionale che internazionale. Basta ricordare gli incontri del G8 e la prossima Conferenza di Copenaghen a dicembre. Esso però (sia detto con doverosa modestia e umiltà culturale) può essere un piccolo esempio di come un tema altamente significativo e importante ma anche molto complesso possa essere affrontato partendo da alcuni requisiti essenziali che mi permetto di segnalare:

1) *Il contributo fondamentale delle conoscenze* apportate dalla ricerca scientifica tramite i dati, le osservazioni, le approssimazioni, le possibili interpretazioni ed i loro limiti senza illazioni arbitrarie o di comodo (basta una "*piccola verità*" in senso galileiano).
2) *Dare voce a tutte le voci*, non per compiacenza ma perché corrispondenti ad una seria dialettica di confronto che obbedisca al requisito di cui sopra.
3) *Informazione corretta e, se possibile, completa;* quindi che porti in luce discrepanze, dubbi, incertezze, errori, senza ipocrisie o condizionamenti politici o ideologici.

4) *Fiducia nella ricerca* e nei suoi risultati per modesti o controversi che siano purché soggetti a costante verifica.
5) *E che il confronto sia soprattutto scientifico prima di essere trasformato in dibattito politico o ideologico* senza presumere che da esso scaturiscano le uniche indicazioni appropriate per scelte sociali e decisioni politiche ottimali ma con la consapevolezza che, pur non essendo sufficiente, esso sia comunque necessario.

A monte di tutto ciò vi è una condizione indispensabile che è *l'onestà intellettuale* di chi porta dati ed opinioni, distinguendoli opportunamente, mentre a valle il confronto e il contradditorio dovranno essere la conseguenza di posizioni aperte in modo da dar luogo ad un dibattito tra *scienziati e non tra assertori di istanze fideistiche.*

È di moda classificare posizioni diverse e anche, fisiologicamente, divergenti, con la terminologia di "*convinti*" o "*preoccupati*" da un lato e "*scettici*" o "*negazionisti* " dall'altro a seconda che si "*creda*"(e già il termine la dice tutta) o "*non si creda*" all'influenza dominante delle cause antropogeniche sulle variazioni climatiche e, in particolare, sul *Riscaldamento Globale (GW=Global Warming*, ridefinito come *AGW=Antropogenic Global Warming).* Tra questi il termine meno scientifico e addirittura scandalosamente dispregiativo oltre che equivoco, è certamente "*negazionista",* come se negare che vi sia evidenza indiscussa dell'AGW fosse equivalente al negare l'olocausto.

Semmai dovessimo esagerare il contrasto, ma non sarebbe più di tipo scientifico, potremmo usare termini come "dogmatico" e "catastrofista" e spero che tutti siamo d'accordo che *dogmatismo e catastrofismo non si addicono* non solo ad un Convegno scientifico ma neanche ad un confronto civile.

**Il tema: Clima, Energia, Società**

Che il tema in discussione sia complesso ovviamente non ne diminuisce l'importanza anche per le implicazioni che ne conseguono sia naturalmente che artificiosamente. Per questo noi ci proponiamo innanzi tutto di avere una panoramica delle osservazioni e dei dati evitando gli aspetti "negativi" e, comunque, infruttuosi ed esprimendo le nostre valutazioni in un doveroso confronto dialettico e perfino le nostre perplessità di fronte anche a dichiarazioni più o meno ufficiali di

sapore esageratamente catastrofistico. Affermazioni come "*Abbiamo appena 4 mesi (da Copenaghen) per assicurare il futuro del pianeta" o "Le tensioni peggioreranno. Fermenti, agitazioni sociali e perfino violenze potrebbero seguire"* ci sembrano francamente esagerate e perfino controproducenti.

Io credo che non ci sia bisogno di verificare il fallimento del Protocollo di Kyoto per mettere in guardia da visioni e proposizioni impegnative che rischierebbero di portare a situazioni e obiettivi pressoché impossibili oltre che poco efficaci con il rischio di rendere poco credibili anche interventi invece necessari e possibili, per esempio in campo energetico e agricolo.

È un dato di fatto, ad esempio, che le emissioni globali di $CO_2$ sono già al 40% in più rispetto al 1990. Come si pensa veramente di raggiungere obiettivi come il pacchetto 20-20-20 dell'Unione Europea in 10 anni? E che significato ha la "stabilizzazione" a 2°C dell'aumento della temperatura del Pianeta entro una scadenza precisa? È lecito avere qualche perplessità? Qui tra l'altro emerge la superficialità di chi pensa di poter far tutto e bene con il solo ricorso (a che scala?), in tema di produzione di energia, alle fonti rinnovabili, spesso trascurando tra queste, in termini informativi, il contributo essenziale dell'energia idroelettrica. E che dire di chi si ostina ancora ad ostacolare, facendo ricorso alle solite stantie demonizzazioni, l'ulteriore sviluppo dell'energia nucleare che proprio chi vuole la drastica riduzione della produzione di energia elettrica da combustibili fossili dovrebbe invece auspicare? Solo che questa volta il *Convitato di Pietra è arrivato.*

Queste sono domande piuttosto generali e non dovrebbero comunque interferire direttamente sul tema più specifico delle conoscenze relative alle variazioni climatiche per le quali si presume che almeno un dato preliminare venga fornito all'opinione pubblica e cioè che il pianeta è soggetto da sempre a mutamenti e sconvolgimenti climatici alle varie scale temporali.

Attenendomi dunque a questo aspetto credo di poter riassumere alcune questioni essenziali, in attesa di quanto ci diranno i vari relatori, ai quali rivolgo un sentito ringraziamento per aver accettato di contribuire, con le loro qualificate presentazioni, alla priorità scientifica del Convegno che era e resta il nostro scopo.

Ecco le questioni di carattere metodologico:

*La Scienza del Clima può dirsi consolidata al punto tale da fornire risultati specifici indubbi? E quali?*
*Le conclusioni cui è arrivato l'IPCC nei suoi sommari ad uso socio-politico sono tutti completamente affidabili?*
*Gli scienziati definiti "scettici", soprattutto in materia di AGW, possono ritenersi altrettanto competenti di quelli considerati tali dall'IPCC?*
*C'è ancora bisogno di supporto e ricerca per risolvere alcuni problemi critici e quali?* (Ne farò un parziale elenco. Più che una domanda questa può essere un'affermazione).

Ed ecco alcuni punti critici:

a *Quanto è effettivamente antropogenico il GW (Riscaldamento Globale) del XX secolo?* È *veramente spiegato il trend negativo (raffreddamento relativo) riscontrato nel periodo 1940-1970 della variazione di temperatura del Pianeta?*
*Le variazioni decennali possono spiegarsi, e per quanto, con l'attività solare? Quanto influiscono le oscillazioni interne dei sistemi oceano-atmosfera?*
*Quanta energia impartisce la radiazione di gas serra sulla temperatura alla superficie del mare?*
*Qual è l'effettivo tempo di residenza della $CO_2$ in atmosfera? 5 anni? da 50 a 100 anni? migliaia di anni?*
*Qual è l'incertezza sul "feedback" (positivo o negativo) della copertura nuvolosa? Quale l'effettivo apporto degli aerosol?*

b *Come sciogliere le incertezze relative alla correlazione tra l'aumento di $CO_2$ e l'eventuale aumento di temperatura: a un raddoppio di $CO_2$ corrisponde un aumento di 3°C o di 0.3°C, tali essendo le attuali discrepanze riportate? Come entrano in gioco e come sono calcolati parametri essenziali quali il "forzante radiativo" e il "feedback di temperatura" nella valutazione della "sensibilità climatica"?*
*Il riscaldamento globale continua dopo che i gas serra si sono "stabilizzati"?*
*Quanto sono affidabili le proiezioni dell'innalzamento del livello dei mari tenendo conto che esse variano (per la fine del secolo) da 600 cm (Hansen) a 14-53 cm (IPCC) a 18 cm (Singer)?*

*Esistono o no problemi relativi alle temperature della superficie terrestre e all'altezza della troposfera? Il confronto tra previsioni modellistiche e dati osservativi appare o no contradditorio?*
*L'attuale stato della "Modellistica" dà sufficienti garanzie nella riproduzione degli andamenti passati e, di conseguenza, nella proiezione di scenari futuri?*
*Sul piano delle conseguenze delle variazioni climatiche, qualunque esse siano, quali possibilità mitigatorie e quale rapporto costi/benefici sono prevedibili e possibili in campo socio-economico (ad es. agricoltura, sanità)?*

È chiaro inoltre che la questione climatica che costituisce un paradigma dei problemi ambientali non può essere trattata indipendentemente dalle sue correlazioni con la *produzione di energia* da una parte e con le eventuali *conseguenze sul piano sociale* dall'altra visto che, nel primo caso, si ha a che fare con *possibili cause antropiche (combustibili con emissioni di gas serra)* e nel secondo con *possibili effetti,* per lo più considerati catastrofici. Per questo il Convegno presenta specifiche sessioni al riguardo e non è difficile evidenziare la necessità di meglio chiarire il contributo effettivo che diverse fonti di produzione energetica sono in grado di apportare alla diminuzione, auspicabile in ogni caso ma necessariamente ragionata e graduale a meno di voler sconvolgere l'assetto economico mondiale, dell'incidenza eccessiva dei combustibili fossili. Ciò tuttavia andrà visto in uno scenario che, se deve tener conto dell'impatto ambientale, non potrà prescindere da una corretta valutazione dei costi rispetto ai benefici e da una ragionevole economia di scala. Per questo il confronto, senza demonizzazioni di sorta, tra energie rinnovabili ed energia nucleare, lungi dal prendere alimento da posizioni di sterile scontro, non può però, come ho già rilevato, fare a meno di una più corretta considerazione della *necessità, in ogni caso, dell'energia nucleare*.

Quanto agli effetti, un aspetto sicuramente significativo, anche in vista di possibili *interventi di mitigazione, oltre che di necessario adattamento a variazioni climatiche rilevanti, indipendentemente dalle loro cause,* è quello dell'impatto sugli *agro-sistemi* intesi anche come fattori d'intervento sui cicli naturali d'importanza climatica. Altrettanto dicasi della correlazione esplicita con gli effetti sanitari. Qui il rapporto costi/benefici può portare a conclusioni contraddittorie perché indub-

biamente un non eccessivo aumento di temperatura favorirebbe le condizioni climatiche di certe regioni del Pianeta. Ciò dimostra l'importanza, se ve ne fosse bisogno, di valutazioni *quantitative affidabili.*

**Il contesto e l'auspicio**

Non pretendo di aver esaurito l'elenco dei problemi e non mi sono addentrato in possibili spiegazioni che tra l'altro accompagnano conoscenze che esistono e la cui illustrazione verrà fornita dai relatori, ai quali non ho neppure la pretesa di chiedere risposte tutte esaurienti. Riconosciamo invece di essere nel pieno di un dibattito non facile che deve fornire analisi e interpretazioni corroborate da dati osservativi fondati senza la pretesa di dare prescrizioni intempestive ma di chiedere ponderazione e saggezza nel prendere decisioni. Assume quindi un significato particolare la presenza di rappresentanti politici e dell'informazione sia nel corso delle varie sessioni sia alla Tavola Rotonda conclusiva dedicata appunto a tale scopo.

Il contesto in cui ci muoviamo non è semplice. Tutt'altro! Si tratta di discernere, secondo una sana metodologia scientifica, un segnale significativo al di sopra di un impressionante rumore di fondo dato da un vociferare continuo che si sovrappone alla possibilità di dare risposte fondate e sensate in un campo della conoscenza che soffre, a parer mio, di interferenze che rischiano di essere indebite. È certo un compito arduo, ma necessario, addirittura indispensabile. Si tratta di portare un serio contributo di conoscenze, di chiarire onestamente ciò che sappiamo e ciò che non sappiamo e quanto ciò che non sappiamo ancora influisca su ciò che riteniamo per certo di sapere.

E soprattutto di far capire ai politici, all'opinione pubblica ai responsabili dell'informazione che sono così attratti da questi problemi, che la conoscenza è la base di sagge ed equilibrate decisioni.

E che occorre Ricerca, Ricerca, Ricerca.

Grazie e buon lavoro!

# DOPO IL G8: FATTIBILITÀ E SFIDE TECNOLOGICHE PER LIMITARE L'AUMENTO DELLA TEMPERATURA MEDIA ENTRO 2°C

Corrado CLINI
*Direttore Generale Ministero dell'Ambiente, del Territorio e del Mare*

Seguendo quanto detto dal Prof. Ricci nella relazione di apertura del Convegno vorrei contestualizzare il rapporto fra la fase della decisione delle istituzioni, a livello nazionale ed internazionale, e la fase della ricerca perché siamo in presenza di un dato che è in qualche modo consolidato. Le istituzioni internazionali hanno stabilito che bisogna proseguire sulla linea che fu definita nel 1990 nella Conferenza Mondiale sul Clima a Ginevra e che fu caratterizzata da una decisione politica dei governi, la cosiddetta "no regrets policy". Indipendentemente dalle incertezze scientifiche sulle cause dei cambiamenti climatici, i governi si impegnarono a ridurre le emissioni dei gas serra, in particolare di anidride carbonica, assumendo l'ipotesi che ci sia una relazione tra l'aumento delle emissioni e l'aumento della temperatura.

Come vi ricorderete questa decisione politica suscitò già allora molte discussioni e molte controversie soprattutto perché si riteneva, da parte di molte istituzioni scientifiche e di esperti, che l'assunzione della relazione fra emissione di anidride carbonica e aumento della temperatura media del pianeta fosse azzardata. Dal '90 ad oggi, attraverso il lavoro dell'IPCC, nonostante la discussione internazionale e le polemiche che ci sono state e continuano ad esserci e che sono state espresse in più consessi (per esempio negli Stati Uniti d'America), il percorso verso l'impegno per la riduzione dei gas serra è proseguito. La dichiarazione finale del G8 dell'Aquila dice che tutti i paesi del Gruppo G8, più il gruppo delle economie emergenti – Cina, Messico, Sud Africa, Brasile, India ed Egitto – che erano presenti affermano l'impegno a ridurre in maniera solidale le emissioni di gas serra per contenere l'aumento della temperatura media del pianeta entro 2 gradi, intorno a metà del secolo, rispetto alla temperatura preindustriale.

Questo statement del G8 è stato poi ripreso dal gruppo dell'Energy Forum presieduto dal Presidente Bush e dal Presidente Obama che comprende altri paesi come l'Indonesia, la Corea del Sud, l'Australia, cioè i maggiori Paesi industrializzati del pianeta, ed è stato ripreso dall'Assemblea Generale delle Nazioni Unite che si è tenuta a settembre con il nostro Presidente del Consiglio e poi al G20 di Pittsburgh in USA.

Dunque c'è un impegno internazionale molto solenne per mantenere l'aumento di temperatura sotto i 2 gradi e c'è un negoziato molto complicato in preparazione di Copenaghen che probabilmente non avrà conclusioni perché la sfida, di fronte alla quale ci troviamo, è una sfida molto complicata per due ragioni. La prima perché volendo seguire lo schema intergovernativo sui cambiamenti climatici per contenere la temperatura media del pianeta entro i due gradi, che corrisponderebbe ad una concentrazione nell'atmosfera di anidride carbonica intorno a 450 ppm (Fig. 1), il trend delle emissioni che vedete tratteggiato verso l'alto, e che in assenza di interventi ci porterebbe a oltre 950 ppm, dovrebbe essere riportato verso il basso con una riduzione delle emissioni globali di anidride carbonica entro la metà del secolo che dovrebbe essere del 50% e, secondo le indicazioni dell'Unione Europea ma riprese anche dai paesi industrializzati, i 15 o 16 paesi a economia più sviluppata del pianeta dovrebbero addirittura ridurre le loro emissioni fino all'80%.

Questa è una sfida sul versante energetico molto complicata perché, nonostante la crisi economica in corso, il trend di crescita delle

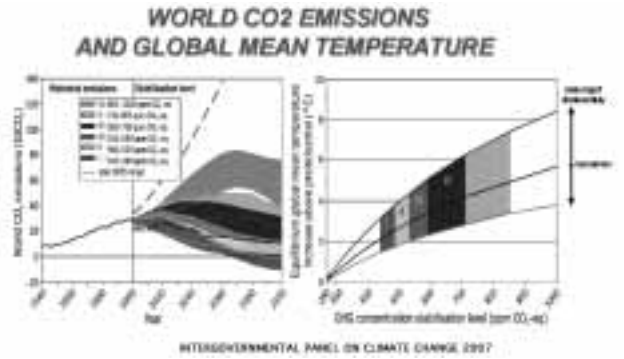



Figura 1

emissioni di anidride carbonica è confermato ed è un trend di crescita che riguarda soprattutto la Cina, l'India e le altre economie emergenti, paesi che stanno uscendo dal sottosviluppo, ed è un trend sostenuto ovviamente dall'uso di combustibili fossili che rappresentano tuttora la componente più importante per la sicurezza energetica di quei paesi. Perciò la prima sfida di fronte alla quale ci troviamo è questa: un conflitto fra le prospettive che il G8 e il G20 si sono date di ridurre le emissioni entro il medio e lungo periodo e la sicurezza energetica. O si cambia il sistema energetico e si cambia il modo di alimentare la crescita economica attraverso fonti alternative e tecnologie ad alta efficienza, oppure questa sfida è persa per il trend di crescita delle emissioni a fronte degli obiettivi di riduzione delle emissioni di $CO_2$. Questo è complicatissimo perché, per esempio, nonostante la crescita economica Cina, India, Brasile avranno ancora emissioni pro-capite molto più basse delle emissioni pro-capite dell'Unione Europea e degli Stati Uniti, ammettendo che l'UE e gli Stati Uniti proseguano nel trend già consolidato di un aumento dell'efficienza energetica e perciò di riduzione delle emissioni per Prodotto Interno Lordo (Fig. 2).

**$CO_2$ per capita emissions 1980-2030**

| | History | | | Projections | | | | | Averange Annual Percent Change | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Region | 1980 | 1990 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 1990-2005 | 2005-2030 |
| - **OECD** | 11.3 | 10.9 | 11.6 | 11.5 | 11.7 | 11.7 | 11.8 | 12.0 | 0.4 | 0.1 |
| • United States | 20.6 | 19.6 | 20.1 | 19.3 | 19.2 | 18.9 | 18.7 | 18.7 | 0.2 | -0.3 |
| • Canada | 18.3 | 16.8 | 19.5 | 19.8 | 19.8 | 19.9 | 19.9 | 20.1 | 1.0 | 0.1 |
| • Mexico | 3.2 | 3.6 | 3.8 | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 4.8 | 5.2 | 0.4 | 1.2 |
| • Europe | 9.1 | 8.3 | 8.2 | 8.3 | 8.4 | 8.5 | 8.5 | 8.5 | -0.1 | 0.2 |
| • Japan | 8.0 | 8.2 | 9.6 | 9.4 | 9.5 | 9.6 | 9.7 | 9.9 | 1.1 | 0.1 |
| • South Korea | 3.5 | 5.6 | 10.4 | 11.5 | 12.5 | 12.8 | 13.4 | 14.3 | 4.2 | 1.3 |
| • Australia/New Zeland | 12.3 | 14.4 | 18.2 | 17.7 | 17.6 | 17.6 | 17.7 | 17.9 | 1.6 | -0.1 |
| - **Non-OECD** | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.5 | 3.6 | 3.8 | 1.1 | 1.4 |
| • Europe/Eurasia | 10.6 | 12.1 | 8.4 | 9.0 | 9.9 | 10.5 | 11.0 | 11.8 | -2.4 | 1.4 |
| Russia | 13.5 | 16.0 | 11.8 | 12.7 | 13.9 | 15.0 | 15.8 | 17.1 | -2.0 | 1.5 |
| Other | 8.4 | 9.1 | 5.9 | 6.4 | 7.1 | 7.6 | 8.0 | 8.5 | -2.9 | 1.5 |
| • Asia | 1.0 | 1.3 | 2.4 | 2.8 | 3.2 | 3.5 | 3.8 | 4.1 | 4.1 | 2.2 |
| China | 1.5 | 2.0 | 4.1 | 5.1 | 5.9 | 6.7 | 7.4 | 8.2 | 5.0 | 2.9 |
| India | 0.4 | 0.7 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.4 | 1.5 | 3.0 | 1.5 |
| Other | 0.8 | 1.1 | 1.7 | 1.8 | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 3.2 | 1.4 |
| • Middle East | 3.9 | 5.1 | 7.3 | 7.6 | 7.7 | 7.8 | 7.7 | 7.7 | 2.4 | 0.2 |
| • Africa | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.2 | -0.2 |
| • Central and South America | 2.1 | 1.9 | 2.4 | 2.7 | 2.8 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 1.7 | 0.9 |
| Brazil | 1.5 | 1.4 | 1.9 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.5 | 2.7 | 1.9 | 1.4 |
| Other | 2.5 | 2.2 | 2.7 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 1.5 | 0.6 |
| - **Total World** | **4.1** | **4.0** | **4.3** | **4.5** | **4.7** | **4.8** | **4.9** | **5.1** | **0.5** | **0.7** |

Sources: 1980-2005: Derived from Energy Information Administration (EIA), International Energy Annual 2005 (June-October 2007), web site www.eia.doe.2010-2030: EIA, World Energy Projections Plus (2008)

Questo vuol dire che Cina, India, Indonesia, Messico, Brasile non accetteranno di assumere impegni paragonabili con quelli che intendono assumere i paesi industrializzati perché ritengono di non poter rinunciare alle loro strategie di sviluppo economico, che peraltro sono fondamentali per la ripresa economica del pianeta e perciò anche per noi, né tantomeno noi possiamo chiedere a questi paesi di rinunciare allo sviluppo per salvare il pianeta.

Verso il 2050 (Fig. 3), questi sono i dati del 2008, vediamo che il trend è quello di cui vi parlavo prima, cioè un trend fortemente sostenuto dai combustibili fossili e quindi in netta controtendenza rispetto agli obiettivi di riduzione delle emissioni.

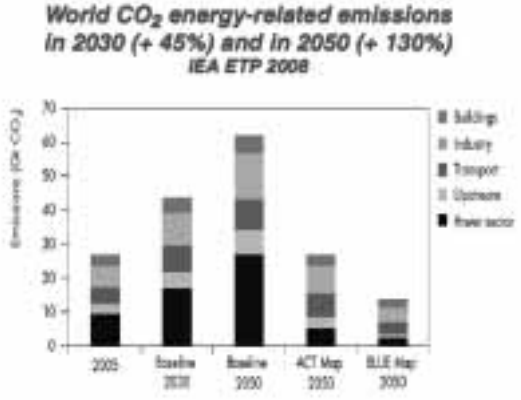



Figura 3

L'Agenzia Internazionale dell'Energia dice che, nonostante la crisi economica in corso, le emissioni globali di anidride carbonica aumenteranno del 45% entro il 2030 e addirittura del 130% nel 2050.

In Fig. 4 sono indicate le strategie che dovrebbero essere adottate e le scelte tecnologiche che dovrebbero essere fatte per ridurre le emissioni globali di anidride carbonica entro la metà del secolo dal tendenziale di 62 Gton a 14 Gton, cioé una riduzione drastica.

Una riduzione che, secondo l'Agenzia Internazionale dell'Energia (IEA), passa attraverso lo sviluppo delle tecnologie per il sequestro e lo stoccaggio del carbonio. Un ruolo importante viene attribuito al nucleare ma, sempre secondo l'IEA, meno rilevante di quello che ci si

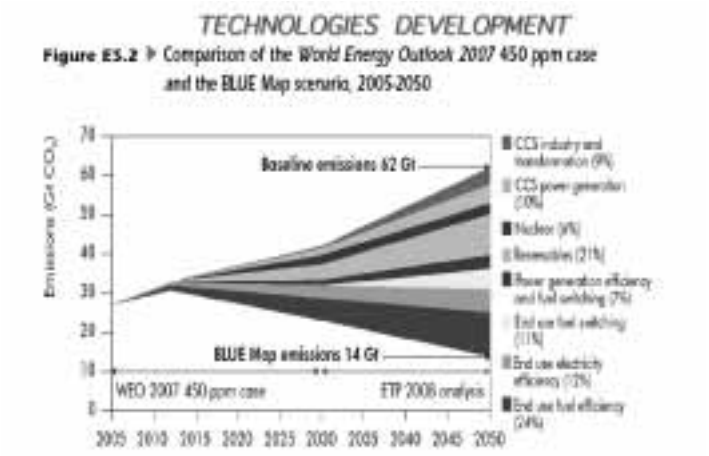



Figura 4

potrebbe attendere e che, per esempio, Cina, Stati Uniti e Canada oggi sostengono. L'IEA riconosce che, a livello internazionale, il nucleare in parte è stato sdoganato, ma che c'è ancora una forte resistenza per cui il suo ruolo potenziale viene tenuto molto basso. Si dà invece molta importanza alle rinnovabili (21%), all'efficienza energetica (43%) nelle diverse forme indicate, e alla sostituzione di combustibili nei settori di uso finale (11%).

Una strategia di questo tipo è una strategia che richiede impegni consistenti e sostanzialmente non ordinari, cioè non è una strategia in cui, come immaginato dall'Unione Europea, si fa il pacchetto 20-20-20, si mettono dei numeri e si va avanti. Il consulente scientifico del Presidente Obama ha sintetizzato nella Fig. 5 le misure necessarie per ridurre di 1 Gton le emissioni di $CO_2$ e, secondo lui, in base alle indicazioni IEA dovremmo cominciare il processo di riduzione al ritmo di 7-9 GTonn all'anno, fino al 2050.

Da questo punto di vista sono interessanti le proposte degli Stati Uniti, Canada e Australia sulle cose che dovrebbero essere fatte per realizzare l'obiettivo di 2 gradi, proposte un po' diverse da quanto immagina l'Unione Europea, che, nel negoziato internazionale, insiste sulla posizione più tradizionale del Protocollo di Kyoto, in base alla quale è prioritario stabilire gli impegni vincolanti di un paese e poi ve-

**REALITIES OF REDUCING $CO_2$ EMISSIONS**

John Holdren

(Assistant of President Obama for Science and Technology)

- Stabilizing at 450 ppmv $CO_2$-e means 2050 global $CO_2$ emission must be ~7-9 GtC/yr below BAU
- To understand the size of this challenge, consider some examples of what avoiding 1 GtC/yr in 2050 requires…
  - energy use in buildings cut 20-25% below BAU in 2050, or
  - fuel economy of 2 billion cars ~60 mpg instead of 30, or
  - carbon capture & storage for 800 1-GWe coal-burning power plants, or
  - 1 million 2-MWe wind turbines replacing coal power plants or
  - 2,000 1-GWe(peak) photovoltaic power plants replacing coal power plants
  - Cutting 2005 tropical deforestation rate in half worldwide

Figura 5

dere come si fa, e abbiamo visto poi quanto funzioni. USA, Canada e Australia propongono invece di definire prima un programma delle cose fattibili per arrivare ai risultati. Ed è una discussione che non finisce perché si confrontano due culture diverse, la posizione dell'UE è complicata e, se essa insiste in questo atteggiamento negoziale, noi potremmo trovarci nella situazione paradossale nella quale gli Stati Uniti non possono assumere un impegno entro la fine dell'anno, come richiesto dalla Unione Europea, perché il Senato non è in condizione di approvare in tempo una legge impegnativa. Il rischio è che l'UE assuma lei l'impegno per coprire l'assenza o il ritardo delle altre grandi economie, e quindi vincoli la riduzione delle proprie emissioni, non al 20% ma al 45-50%, posizione politica sostenuta da commissioni di "teologi fideisti" su questo obiettivo. Basterebbe infatti pensare che, almeno fino ad oggi, l'UE, nonostante l'impegno rilevante, non ha una politica nucleare comune, non ha neanche una politica comune sul-

l'energia e dunque ci troviamo di fronte al rischio di assumere impegni molto onerosi senza che essi abbiano un riscontro in investimenti e strategie di medio e lungo termine per mettere in condizione le nostre economie di cambiare il sistema energetico.

Il Ministro dell'Energia americano propone un quadro di riferimento dove si propone che i paesi sviluppati lavorino per cambiare le proprie infrastrutture, costruite quando l'energia era a buon mercato e non si conoscevano le possibili conseguenze dell'uso dei fossili, offrendo con questo cambio di passo e di strategia ai paesi in via di sviluppo l'opportunità di fare il salto della fase da noi attraversata nel '900 e accedere direttamente a un'economia più competitiva con uso efficiente dell'energia. Questo quadro di riferimento ha però un problema: Cina, India, Brasile, Messico, Indonesia, Sud Africa, i paesi principali emergenti che ci dovrebbero seguire, stimano che, per raggiungere l'obiettivo richiesto dai paesi sviluppati, il fondo internazionale di investimenti dovrebbe dedicare al cambio del loro sistema energetico non meno di 150mila miliardi di Euro/anno, mentre la stima dell'UE è di 100 miliardi di Euro/anno, giudicata insufficiente dai paesi emergenti. Essi chiedono anche un impegno vincolante per i prossimi 20-30 anni, un pacchetto di aiuti per lo sviluppo pulito delle economie emergenti, ma che gli Stati Uniti propongono sia volontario.

Questo vi da l'idea della difficoltà del negoziato su questo argomento.

Quindi, se non si trova un punto di convergenza, se non si riesce a costruire una road map consistente che tenga conto degli obiettivi stabiliti dalle Nazioni Unite dal G8 e dal G20 e permetta di cambiare il sistema energetico mondiale, sarà molto difficile che Copenaghen vada oltre le dichiarazioni.

Si sta discutendo appunto su come fare, come sostenere la disseminazione delle tecnologie innovative a livello globale, come in particolare queste tecnologie debbano essere disponibili per i paesi emergenti, perché se il trend cresce è chiaro che gli investimenti per l'innovazione devono essere soprattutto in quelle economie. E poi si sta discutendo su come si possano cambiare le regole del commercio internazionale con l'introduzione di una carbon tax, che non può essere, io credo, quella sostenuta dal Presidente Sarkozy, cioè non si può immaginare che da un lato si investa nello sviluppo di Cina, India, Messico

e dall'altro si applichino tariffe o tasse sull'importazione da questi paesi prima che essi abbiano raggiunto un livello sufficiente di sviluppo tecnologico, tenendo conto che, se gli investimenti per cambiare il sistema energetico saranno efficaci nel 2030-40-50, bisogna farli oggi. Sappiamo anche che gli investimenti nelle infrastrutture energetiche sono investimenti che durano 40-50 anni e non si può immaginare che sia credibile una strategia di cambio del sistema energetico se non si interviene subito e non si cambia subito la direzione. Per esempio quanto sta succedendo sull'Artico è assolutamente fuori controllo a meno che non si realizzi a livello industriale una tecnologia che consenta di utilizzare il gas che verrà estratto dall'Artico in maniera tale che non generi emissioni di anidride carbonica, il ché sembra al momento abbastanza difficile.

L'ultima considerazione che voglio fare riguarda come questo negoziato si inserisce nell'attuale crisi economica e gli stimoli che le diverse economie hanno avviato. È molto interessante vedere che il paese che ha investito di più nel suo pacchetto di stimolo (siamo oggi attorno al 4% del PIL) è la Cina (Fig. 6) che ha indirizzato gli investimenti verso la green economy soprattutto nella realizzazioni delle grandi infrastrutture che servono per cambiare il sistema energetico sia nelle produzioni che negli usi finali.

Poi ci sono gli Stati Uniti che, nonostante le contraddizioni e le difficoltà, hanno avviato un programma molto consistente in questa direzione. Ancor più degna di nota è la Corea del Sud che ha investito sulle energie verdi l'82% del pacchetto di stimolo e sta investendo circa il 4% del PIL per lo sviluppo di tecnologie che, secondo le loro valutazioni, saranno quelle che domineranno i mercati nei prossimi anni. Una scelta molto importante dal punto di vista economico.

Questo è il quadro che riguarda le cosiddette politiche di mitigazione, un argomento piuttosto complesso, per le ragioni che ho illustrato parlando del negoziato internazionale, e su questo punto, visto che l'impegno (quello dei 2 gradi) è stato preso e non vedo all'orizzonte decisioni che in qualche modo lo ribaltino. È la scienza in grado di dare delle risposte? L'impegno infatti è stato preso e su questo impegno si stanno giocando le Istituzioni Internazionali e i Leader di tutto il mondo, e io credo che la scienza debba essere stimolata a fornire risposte alla domanda chiarissima che da esso emerge ancora sen-

za risposta: "Come si fa a rispettare l'impegno dei 2 gradi, attraverso la combinazione di politiche e di innovazione tecnologica?".

L'altro tema molto complesso, ma sul quale non abbiamo ancora raggiunto una chiara comprensione dello stato dei problemi, riguarda le politiche di adattamento, e, se son vere le conclusioni dell'IPCC, è assolutamente necessario immaginare percorsi e strategie in grado di mettere in sicurezza le zone più vulnerabili. Un caso interessante è quello cinese perché negli scenari di innalzamento e di combinazione di eventi estremi le due aree che hanno avuto la maggiore crescita si trovano nella regione di Shangai (pensate al grosso aumento del PIL che Shangai ha avuto l'anno scorso) e sono aree esposte ad alto rischio di inondazione ove si dice che i cinesi stiano investendo risorse immense, non solo cinesi. Allora delle due una: o queste notizie sono false o sono vere. Questo per parlare di economie emergenti e non invece delle economie più povere in cui probabilmente tali fenomeni sono irreversibili.

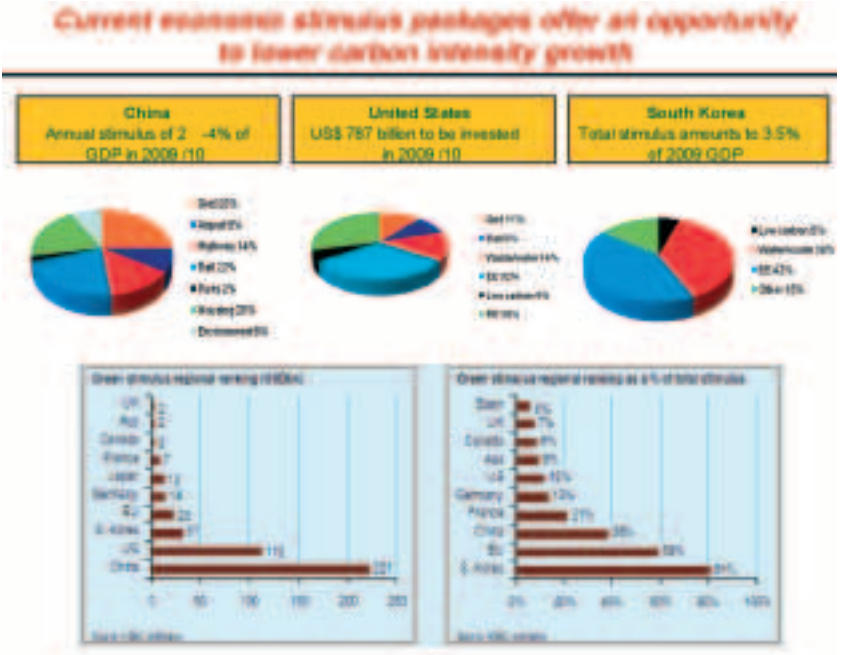



Figura 6

In tutto questo, il tema degli adattamenti climatici e delle mitigazioni, non si comprende ancora quale ruolo voglia giocare la Russia che non sta dando indicazioni in merito. La mia impressione è che sia molto interessata a consolidare il ruolo dei combustibili fossili ed eventualmente assumere il ruolo di attore soprattutto per quanto riguarda i reattori di IV generazione.

Grazie

# IL GHIACCIO E I CAMBIAMENTI CLIMATICI

Massimo Frezzotti
*ENEA*[1]

Ringrazio il prof. Ricci di avermi invitato e spero di riuscire a rispondere a qualcuna delle sue domande, con un excursus veloce su ghiacci e cambiamenti climatici.

In Fig. 1 si vede una barretta di ghiaccio, estratta con un carotaggio in Antartide, durante una campagna denominata EPICA (European Project on Ice Core from Antartica). È un cilindro di ghiaccio con bollicine d'aria del nostro passato. Con una di queste carote siamo riusciti a raccogliere informazioni ambientali risalenti a 800.000 anni fa.

Figura 1

Tratterò quindi, nella mia presentazione dei ghiacci polari come archivio naturale della storia del clima nell'ultimo milione di anni; dei ghiacci continentali e del ghiaccio marino componente fondamentale nell'equilibrio climatico-ambientale del nostro Pianeta e infine del livello dei mari.

Archivi naturali di dati paleo climatici sono ad esempio (Fig. 2) le stalagmiti e le stalattiti, gli anelli degli alberi, le varve dei laghi, i sedimenti marini, i fossili, ma con alcuni di essi possiamo arrivare solo fino a qualche migliaia di anni fa (Fig. 3). Con altri possiamo risalire più in là nel tempo, ma, ovviamente solo i ghiacci sono in grado di ricostruire la temperatura e, con l'aria intrappolata nelle bollicine di gas, anche l'atmosfera del passato, e di fornirci in particolare quale fossero le concentrazioni dell'anidride carbonica e dei gas a effetto serra nel passato.

[1] Relazione ricavata dalla registrazione del Convegno. Non rivista dall'Autore

Figura 2

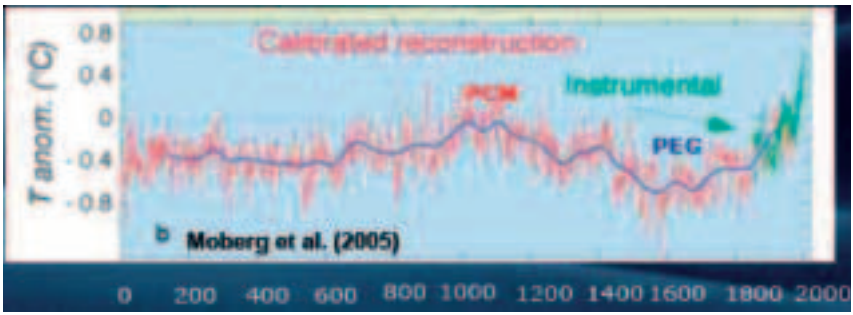



Figura 3

Un punto fondamentale da tener presente è che il clima nella nostra storia è sempre cambiato nel tempo e anche in modo drastico, (vedi Fig. 4). Circa 35-50 milioni di anni fa gli oceani della nostra Terra avevano temperature fra i 12 e i 34° (era il periodo dei dinosauri), quindi una Terra vivibile, ma senza miliardi di persone quante previste per il 2050. Quindi condizioni assai differenti.

Circa 35 milioni di anni fa, in seguito alla deriva dei continenti, l'Antartide raggiunse l'attuale posizione, al Polo Sud, determinando un profondo cambiamento nel clima, con la formazione delle calotte

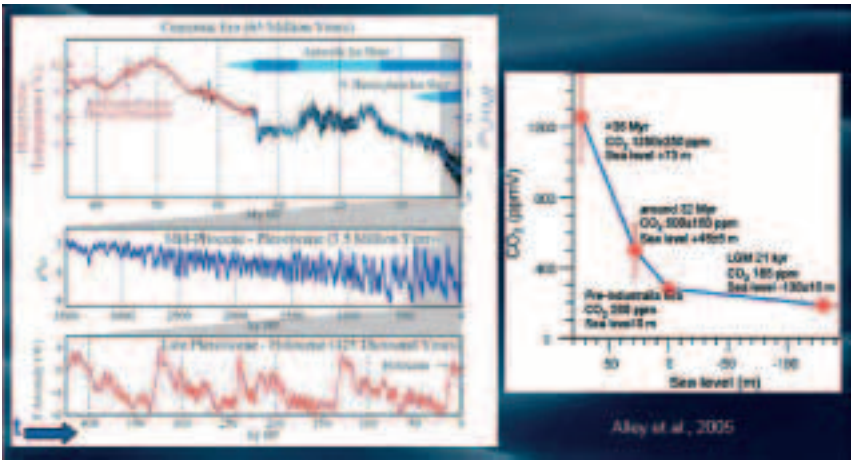



Figura 4

antartiche, e, più recentemente, si è formata anche la calotta nell'emisfero settentrionale, sulla Groenlandia.

35 milioni di anni fa le calotte non esistevano, il livello del mare era più alto di circa 70 metri rispetto all'attuale e la concentrazione di $CO_2$ nell'atmosfera era di 1250 ppm, ben più alta dell'attuale. Quando comincia a formarsi la calotta in Antartide la $CO_2$ scende rapidamente a 350 ppm e il livello del mare si abbassa, proprio perché si formano le calotte, di 43 m, e successivamente, durante l'ultima glaciazione di circa 20.000 anni fa, quando si forma sopra il Canada fino agli Stati Uniti e sulla Scandinavia una grossa calotta sull'emisfero settentrionale, il livello del mare scende di ulteriori 125 m e la concentrazione di $CO_2$ raggiunge 180 ppm. Nella fase interglaciale, con lo scioglimento di parte di quelle calotte, il livello del mare si porta a circa zero e la concentrazione di $CO_2$ sale a circa 280 ppm (livello pre-industriale).

Come si evidenzia bene in Fig, 4 dalle misure della variazione del rapporto D/H nei sedimenti marini (un indicatore della variazione della temperatura media globale del pianeta) circa 3 milioni e mezzo di anni fa compaiono una serie di oscillazioni cicliche di questo indicatore con periodo di circa 40.000 anni (che corrisponde alle oscillazioni astronomiche dell'asse terrestre), e successivamente, un milione

di anni fa, compaiono oscillazioni più ampie delle precedenti con periodo di circa 100.000 anni, il periodo di oscillazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre.

Se osserviamo con maggior dettaglio (in Fig, 5, i cicli glaciali negli ultimi 800.000 anni) le caratteristiche misurate in una carota antartica si nota una stretta correlazione tra le variazioni di insolazione nelle latitudini dell'emisfero Nord, nella quale è presente anche il ciclo di 19-23.000 anni, il periodo della precessione degli equinozi, e l'andamento della temperatura (il rapporto deuterio/idrogeno è indicatore climatologico, o proxy).

Nella figura si vede chiaramente la correlazione tra l'insolazione nell'emisfero settentrionale e l'andamento della temperatura globale, con periodi più caldi corrispondenti alla maggiori insolazioni. Ma questa correlazione non basta, stanti le lievi variazioni di potenza d'insolazione, a spiegare le imponenti variazioni di temperatura sulla Terra tra le fasi di glaciazione-deglaciazione. Ci devono essere altri fattori

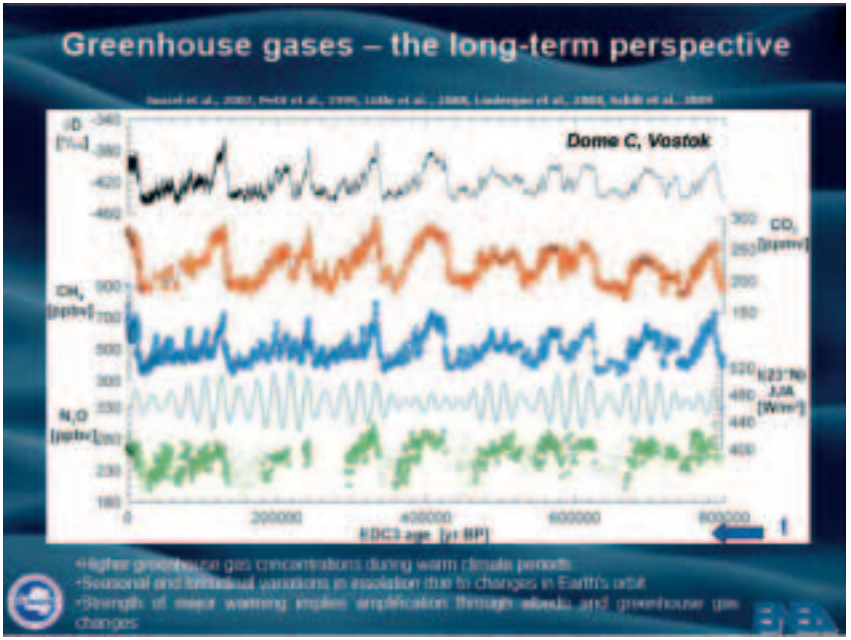



Figura 5

che amplificano queste variazioni, ruolo che, come vedremo, viene giocato principalmente dalla $CO_2$ e dal metano. Per analogia possiamo dire che abbiamo da una parte il sistema di riscaldamento del pianeta modulato dalla variazione dell'orbita terrestre intorno al sole (il termosifone di casa nostra), e dall'altra finestre con l'apertura/chiusura con le quali possiamo regolare la temperatura interna; questo è il ruolo giocato dai gas serra ($CO_2$ e $CH_4$).

Ma perché varia la $CO_2$? O meglio, inizia prima la variazione di temperatura e la $CO_2$ segue o viceversa? La questione è rimasta aperta per molti anni. Ora le carote di ghiaccio (cfr Fig. 6) dimostrano che prima aumenta la temperatura (il deuterio) e poi seguono, con un ritardo tra 200 e 400 anni, metano e $CO_2$.

Pur essendoci ancora grossi problemi, la correlazione temperatura-$CO_2$ comincia a essere spiegata: la maggior insolazione nell'emisfero settentrionale determina una prima crescita della temperatura e un maggior riscaldamento dell'Atlantico, la cui circolazione viene modifi-

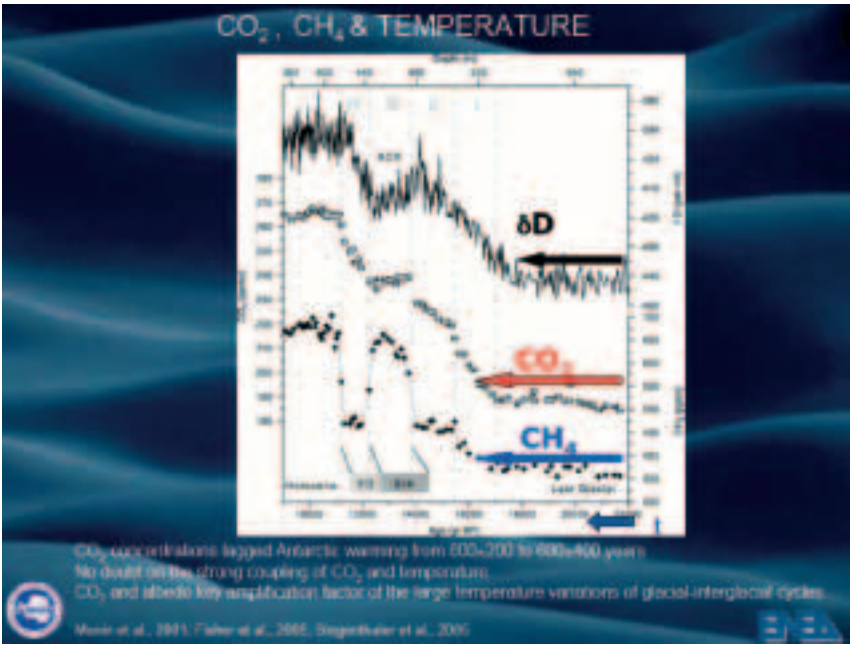



Figura 6

cata, con conseguente diversa distribuzione del calore sul pianeta, e il riscaldamento degli oceani meridionali, che, freddi, rappresentano il maggior serbatoio di raccolta della $CO_2$. E non è vero che tali variazioni di temperatura siano lente, secolari, ci sono fasi in cui esse sono anche veloci e si compiono in un decennio (Fig. 6, periodo YD, Younger Dryas).

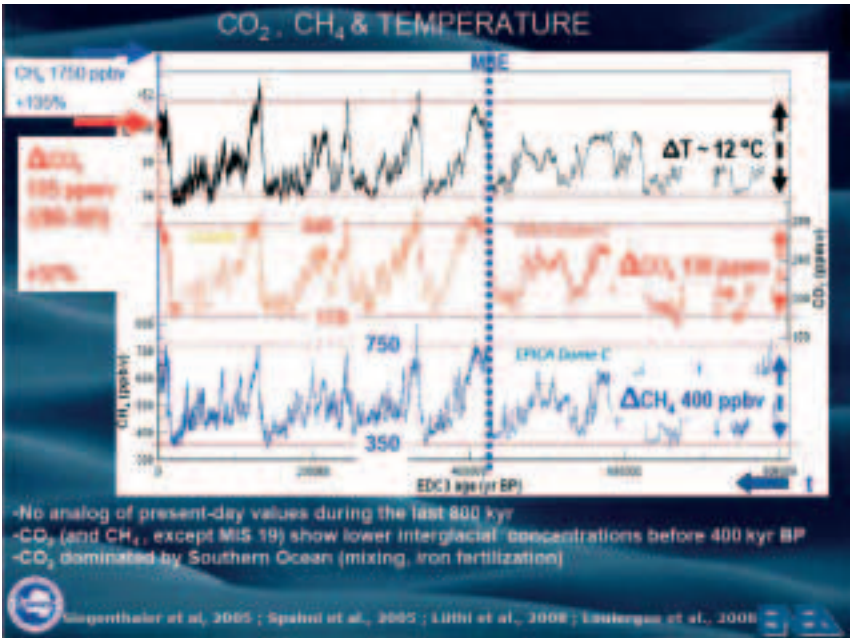



Figura 7

Da questi dati appare anche chiaro (Fig. 7) che, con l'avvento dell'uomo civilizzato, sono state immesse nell'atmosfera quantità di $CO_2$ (da 280 a 385 ppmv) e di gas metano (da 750 a 1750 ppbv), mai registrate nei precedenti periodi, quando a seguito delle variazioni di temperatura tra fase glaciale e fase interglaciale le variazioni di $CO_2$ si erano stabilmente contenute entro 130 ppm (400 ppb per il metano). Quindi al di fuori di qualsiasi naturale variazione delle concentrazioni dei gas serra. Non solo, (Fig. 8) questa variabilità sta avvenendo a una

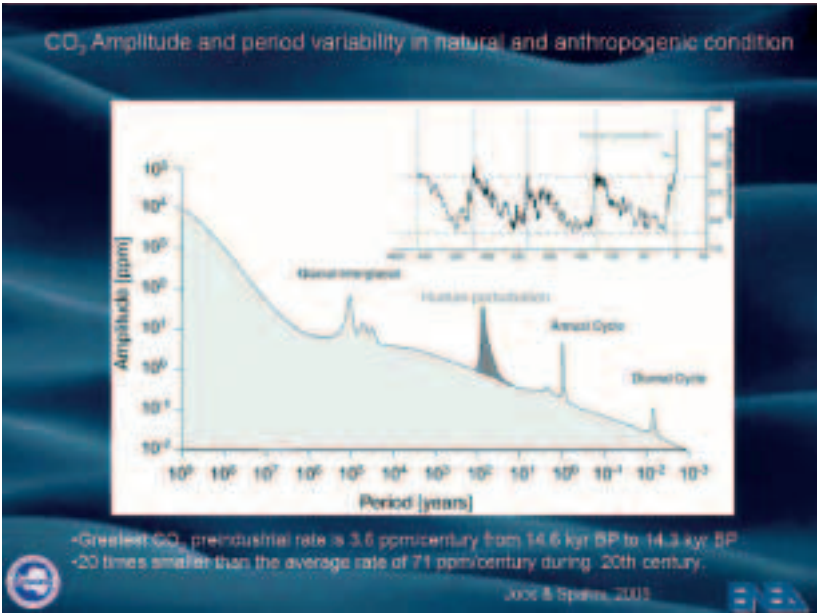



Figura 8

velocità venti volte maggiore di quanto sia mai avvenuto tra fase glaciale e fase interglaciale.

Noi abbiamo immesso negli ultimi tempi circa 71 ppm in atmosfera in meno di cent'anni, mentre la variazione più acuta che abbiamo potuto misurare, tra fasi glaciali e interglaciali, era di 3,6 ppm al secolo. La quantità di $CO_2$ che abbiamo immesso in atmosfera è pari a quella tra una glaciazione e la successiva deglaciazione ma a una velocità nettamente superiore.

Un'altra importante caratteristica, messa in evidenza dai carotaggi effettuati in Groenlandia, è che il clima può cambiare non solo in periodi lunghi, nei secoli, ma anche in maniera molto rapida (cfr Fig. 9).

Mentre in Antartide le precipitazioni sono molto limitate e si è potuto ricostruire il clima fino a un milione di anni fa, in Groenlandia grazie all'alto accumulo nevoso si sono ricostruiti gli ultimi 60.000 anni, ma con dettagli fino all'anno, e quindi si è potuto osservare che nel passaggio dall'interglaciale al glaciale ci sono state fasi con variazione

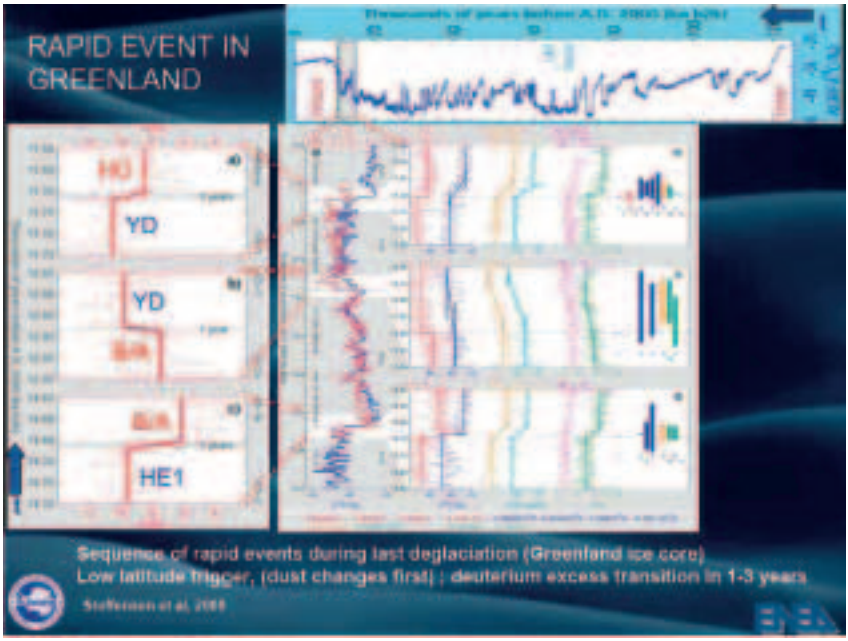



Figura 9

di temperatura di 10 gradi in tre anni. Quindi estremamente rapide, pur concentrate nell'emisfero settentrionale, in particolare nell'area dell'Atlantico del Nord.

In pratica, quando siamo in transizioni lente, come nelle fasi verso la glaciazione, le variazioni climatiche avvengono in condizioni lineari, ma in alcuni casi ci si avvicina a soglie, oltrepassate le quali, la velocità di mutazione diventa estremamente rapida. Queste rapide mutazioni possono avvenire sia nella direzione glaciale che verso l'interglaciale, e solitamente avvengono nei periodi di transizione, o intermedi.

Inoltre identificando questi eventi, sia nelle carote antartiche, sia in quelle della Groenlandia si è potuto evidenziare che esse avvengono quasi contemporaneamente nei due continenti, ma in opposizione (Fig. 10), cioè quando la Groenlandia si raffredda, l'Antartide si riscalda, un fenomeno denominato altalena bipolare (Bipolar Seesaw).

Variazioni estremamente nette e correlabili tra due zone così di-

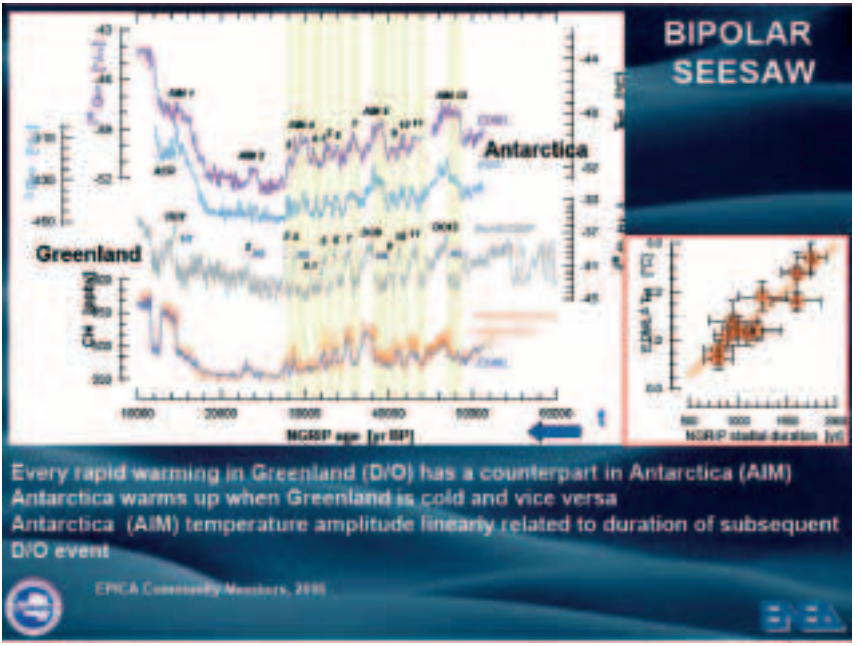



Figura 10

stanti dimostrano che c'è una stretta correlazione tra il riscaldamento in Antartide e la diminuzione di temperatura in Groenlandia.

Il sistema infatti funziona così (Fig. 11): l'energia solare che riscalda il nostro pianeta arriva in massima parte nelle zone tropicali e viene poi trasferito nelle aree polari dal sistema atmosfera – oceani. Quando per ragioni fisiche collassa la calotta dell'emisfero settentrionale, cioè sulla Groenlandia, si blocca la circolazione termoalina (tra Groenlandia e Antartide) per cui il calore non viene più distribuito in modo omogeneo tra emisfero settentrionale e meridionale.

Ne consegue, con il blocco di questa corrente, un riscaldamento degli oceani meridionali. Successivamente, terminato il collasso della calotta settentrionale, la corrente termoalina riprende e, mentre riprende il riscaldamento settentrionale, si raffredda quello meridionale. Anche nelle ere geologiche si sono avute variazioni molto significative tra i due emisferi.

Passo ora ai ghiacciai, anche loro indicatori delle variazioni climati-

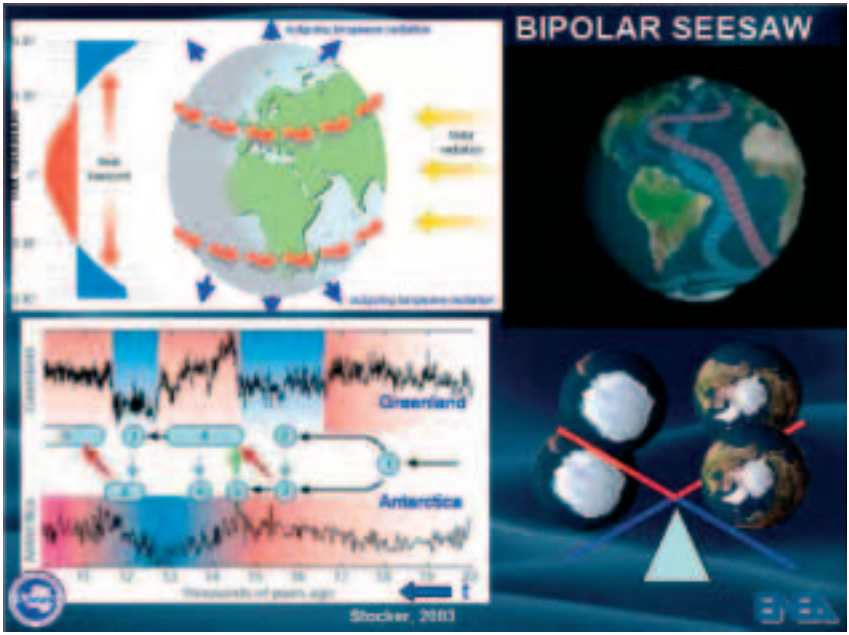



Figura 11

che. Nelle successive figure si vedono le foto di importanti ghiacciai tra l'inizio e la fine del XX secolo. In Fig 12 e 13 il ghiacciaio di McCarty in Alaska, e del Similaun, in Austria, dove è stata trovata la mummia di Ozti. Non solo si vede il drastico ritiro avvenuto negli ultimi 70 anni, ma il ritrovamento della mummia sta a significare che in quella zona i ghiacciai si sono ritirati da una posizione mai precedentemente scoperta negli ultimi 5350 anni, altrimenti nel periodo di esposizione all'aria la mummia sarebbe stata distrutta e non l'avremmo trovata in quello stato di conservazione spettacolare.

Infine in Fig. 14 un riassunto dei ritiri costanti di 169 ghiacciai dal 1600, cioè da quando si è cominciato a misurarli attraverso iconografie e/o ricostruzioni che denotano una chiara indicazione della variabilità climatica; in questo caso non ci sono errori di misure di temperatura per calore urbano generato dalle città.

Vorrei mettere in evidenza anche le diverse caratteristiche dei due poli. Il polo Nord è caratterizzato da un Oceano (Artico) circondato da

Figura 12

Figura 13

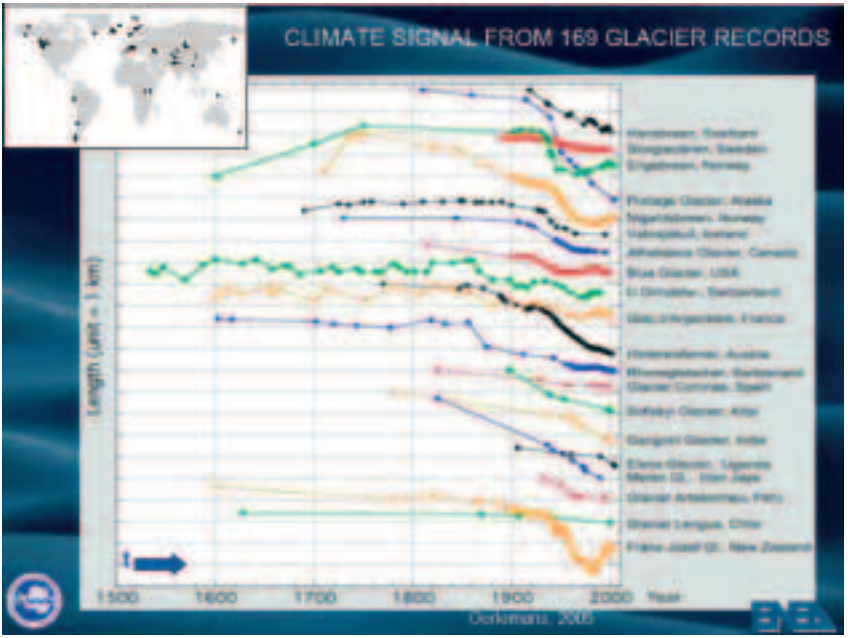



Figura 14

terre, e una calotta, l'unica sopravissuta, sulla Groenlandia, con circa 9 milioni di $Km^3$ di ghiaccio, che, se fondesse completamente, eleverebbe il livello del ghiaccio di circa 7 metri. Nell'emisfero meridionale abbiamo invece un continente in posizione polare circondato dall'acqua e ricoperto da un'estesa e spessa calotta di ghiaccio. L'acqua marina, ghiacciando, forma una banchisa polare, con una dinamica ovviamente più sensibile alle variazioni climatiche stagionali, come mostrato in Fig. 15 ove sono evidenziate le estensioni massime e minime delle due banchise. Differenti sono sia i meccanismi di formazione tra banchisa, acqua marina che ghiaccia, e calotta prodotta dall'accumulo e successiva compattazione di precipitazioni nevose e gli effetti di un loro collasso.

La banchisa, sciogliendosi del ghiaccio galleggiante, non contribuisce all'innalzamento del livello del mare (se non indirettamente laddove fornisce un tappo di contenimento al blocco del distacco di iceberg dalle calotte), mentre se la calotta dell'Antartide fondessse completamente il livello del mare si innalzerebbe di circa 60 metri.

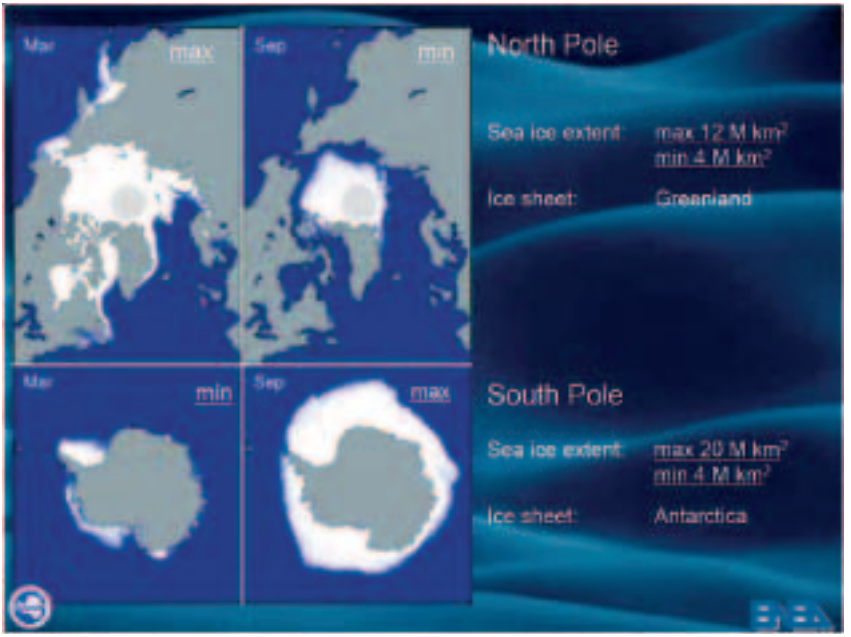



Figura 15

Come già messo in evidenza, in Groenlandia stanno avvenendo imponenti fenomeni di assottigliamento della calotta. Dalle ricostruzioni oggi possibili emerge che in Groenlandia, ove cadono mediamente circa 90 GT di neve all'anno, negli anni '60-'90 si aveva in media un bilanciamento pari o leggermente negativo (~ 90 ÷ 110 GT/a) mentre tra il 1997 e il 2007 si è passati da una portata di 97 GT/a a 267 GT/a. Questo è dovuto al meccanismo della fusione degli strati superficiali che creano grandi laghi, drenati da fiumi e doline, con portate pari a quelle delle cascate del Niagara, con salti sino a 2000 m (Fig. 16). L'acqua, scorrendo alla base del ghiaccio, ne aumenta la velocità di scorrimento fino a 10 volte. Fenomeni simili avvengono anche in Antartide (Fig. 17).

Quando parliamo di clima globale e di riscaldamento ci si riferisce a un aumento della temperatura di 0,7 – 0,8 °C al secolo. Ma questo riscaldamento non è omogeneo. Nella penisola antartica, in Siberia e in Alaska abbiamo avuto un aumento di temperatura di 2,5 °C in 50

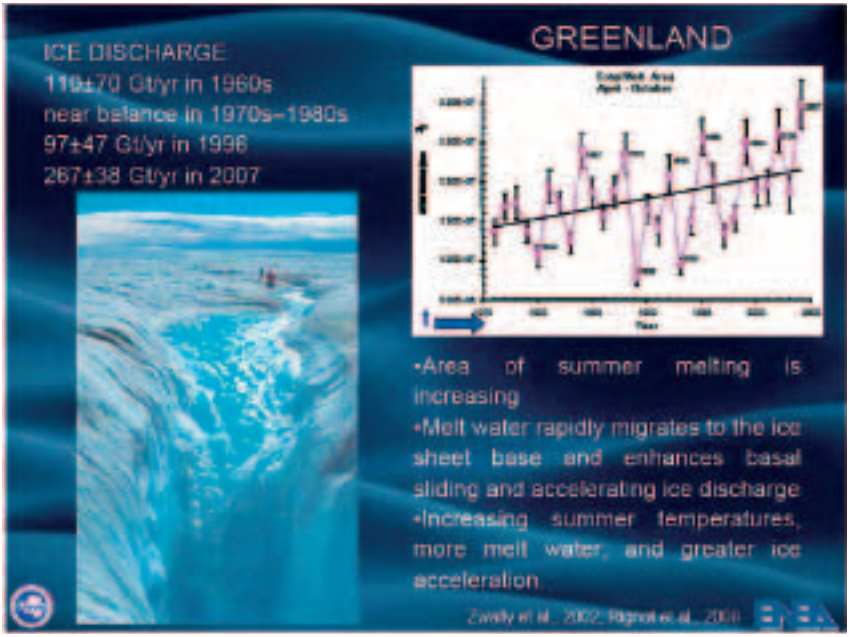



Figura 16

anni, cambiamenti apparentemente ininfluenti dal punto di vista dell'innalzamento del livello del mare. Ma nella penisola antartica queste variazioni hanno portato al collasso di piattaforme glaciali che esistevano da oltre 10.000 anni e che rappresentavano un tappo a valle dei ghiacciai, rallentandone il deflusso. Collassate queste piattaforme i ghiacciai che erano a monte sono passati da velocità di 100-200 m/a al km/a, cioè velocità 5-10 volte superiori. Con ciò squilibrando il ghiacciaio, la cui portata diventa nettamente superiore di quanto riceva con le precipitazioni nevose.

La situazione di quanto sta succedendo, la massa di ghiaccio annualmente perduta nelle due calotte, è riportata in Fig. 18, ove appare come la situazione sia abbastanza stabile fino alla metà degli anni '90, dopodiché entrambe le calotte cominciano a ridursi in maniera drastica sia nella Groenlandia, che nella penisola antartica e nelle aree marginali dell'Antartide occidentale.

Il loro contributo all'innalzamento dell'acqua del mare è stato com-

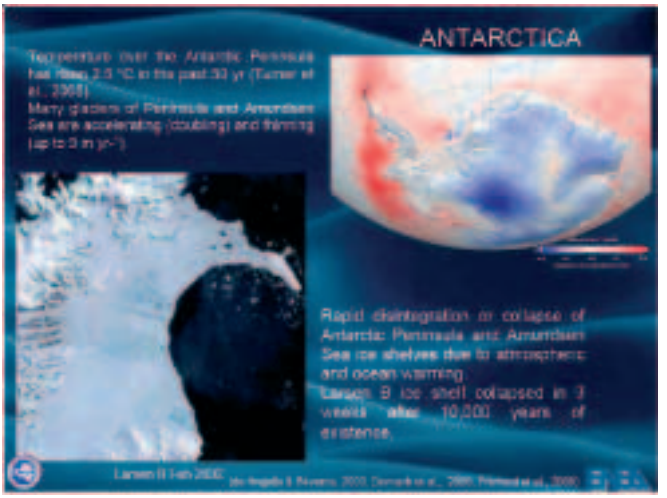



Figura 17

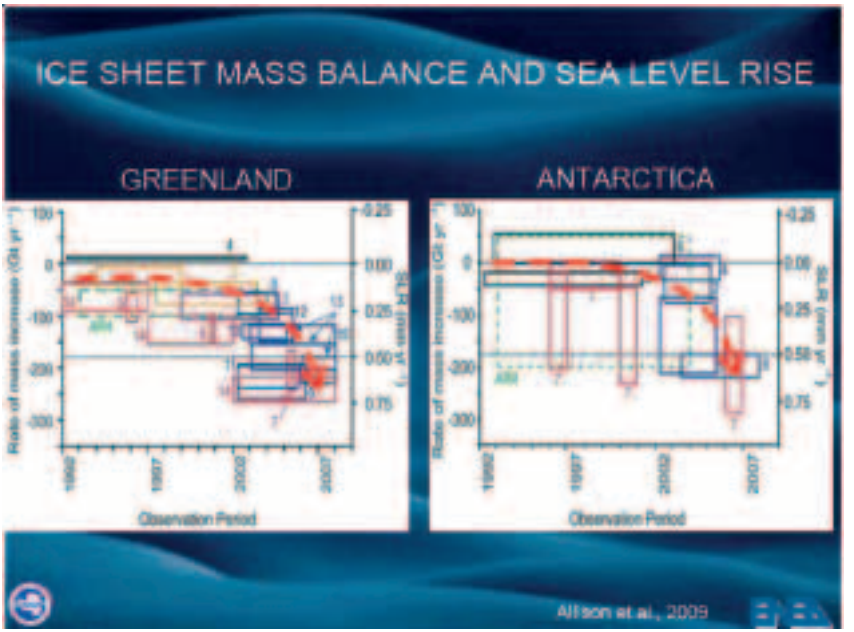



Figura 18

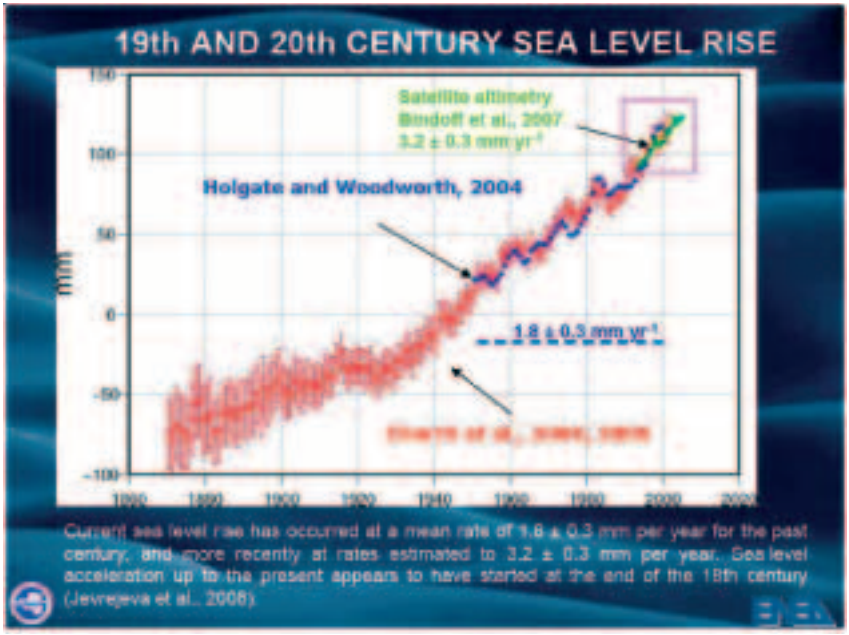



Figura 19

plessivamente intorno ai 2-3 mm, ma nell'ultimo secolo la velocità di crescita del livello marino è salita intorno a 1,8 mm/a (fig. 19).

Inoltre lo scioglimento delle calotte, con il significativo apporto di acqua dolce, produce un grosso impatto alla circolazione termoalina, che rappresenta il sistema di scambio del calore dall'area tropicale verso le zone polari.

In Fig. 20 è mostrato l'innalzamento del livello del mare dall'ultima glaciazione, quando esso era 120 m al di sotto del livello attuale, cui segue una risalita al livello attuale in circa 10.000 anni e nella quale si distinguono nettamente le accelerazioni prodotte dai maggiori collassi delle calotte avvenute tra 14.000 (MWP1A) e 10.000 anni fa e una pratica stabilità negli ultimi 6-7000 anni. In realtà le velocità di crescita sono state di 1.8 mm/a nell'ultimo secolo e di 3.2 mm/a in epoca attuale, mentre durante i periodi di massimo collassamento delle calotte si sono raggiunte velocità di 40 mm/a, oltre 10 volte i valori attuali. In futuro, a causa del riscaldamento degli oceani, ci troveremo in una si-

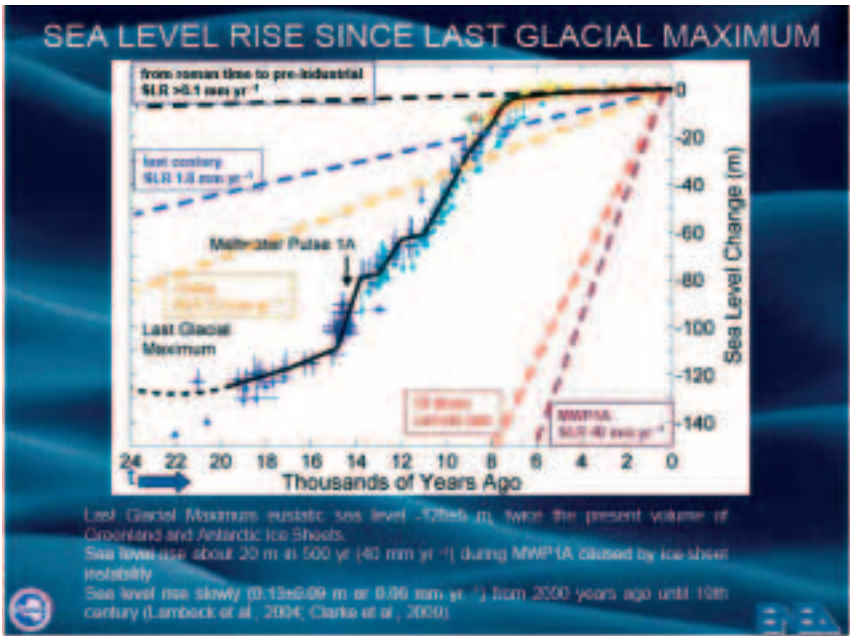



Figura 20

tuazione intermedia. Si tratta di fenomeni estremamente rapidi, che ancora non si riesce a riprodurre, non per carenza di modelli, ma perché non se ne conosce la fisica.

Quindi, tornando alle osservazioni del prof. Ricci, noi dobbiamo fare più ricerca, e dobbiamo aumentare le nostre osservazioni, perché solo la raccolta di questi dati permette di migliorare le simulazioni fatte con i computer. Le previsioni non migliorano aumentando solo volume e capacità dei nostri computer.

Termino con un'ultima osservazione sul ghiaccio marino (Fig. 21), che, come mostrano i dati sperimentali, appare relativamente stabile in Antartide, mentre in Artide si è ridotto drasticamente, passando da circa 8 milioni di km$^2$, quando abbiamo iniziato le osservazioni satellitari, al minimo assoluto di circa 4 milioni di km$^2$ nel 2005. In Fig, 22 abbiamo le simulazioni dell'IPCC del 2007.

Ebbene, i modelli sono gli unici strumenti che possediamo per fare previsioni sul futuro; non abbiamo alcun altro sistema affidabile. Ov-

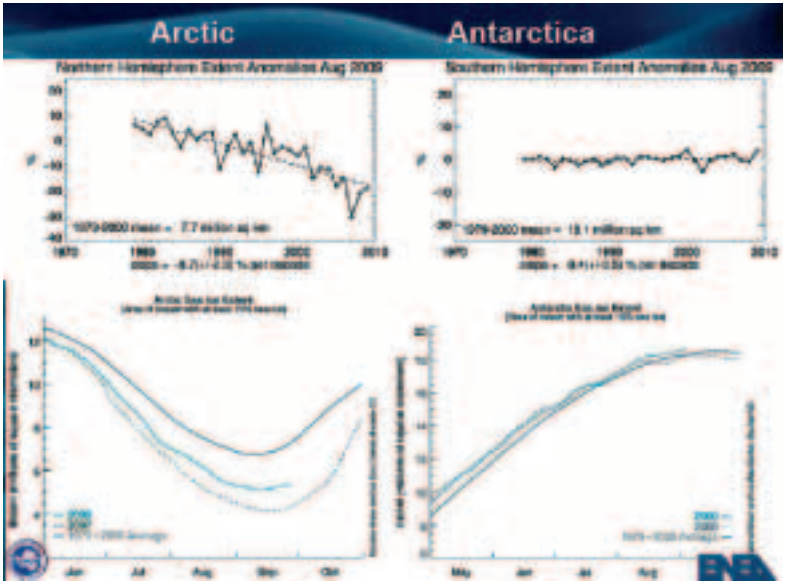



Figura 21

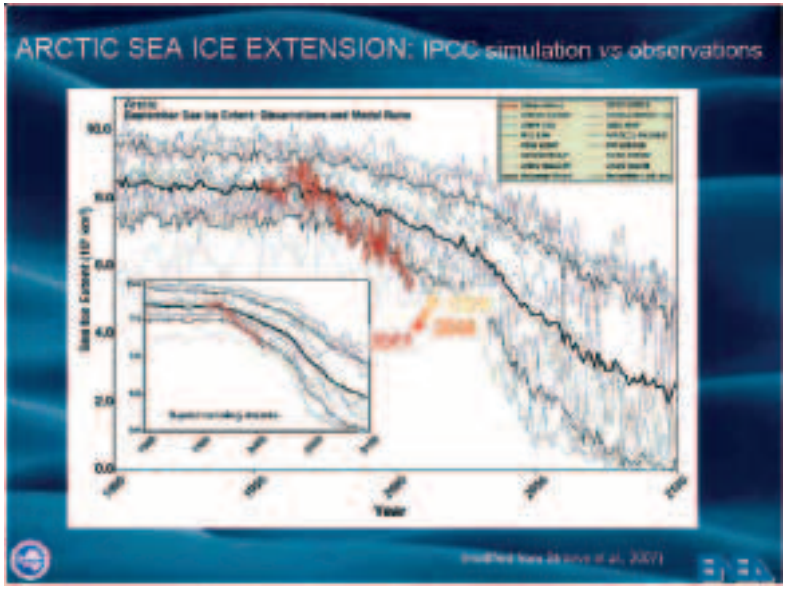



Figura 22

viamente questo non significa che questi modelli riescano a predire bene quale sia l'attuale situazione e molti considerano le previsioni dei modelli eccessivamente pessimistiche. Bene se osserviamo la situazione attuale della criosfera, il collasso delle calotte e l'attuale estensione del ghiaccio marino, e la confrontiamo con i risultati dell'IPCC, essi ci dicono che la situazione reale sarebbe avvenuta nel caso peggiore intorno al 2030 e nel caso migliore intorno al 2100. Questo significa che noi non conosciamo ancora bene la fisica dei processi coinvolti, i feedback e soprattutto i processi coinvolti nelle variazioni climatiche molto veloci, per cui è senz'altro difficile fare le previsioni, ma queste potrebbero essere anche molto peggiori di quanto alcuni modelli prevedano.

Detto questo vi ringrazio della vostra attenzione.

# INTERAZIONI CLIMATICHE TRA ATMOSFERA E BIOSFERA

Antonello PROVENZALE
*ISAC-CNR – Torino*

Il clima è un sistema complicato e complesso. Complicato, perché la sua dinamica include un gran numero di componenti diverse (atmosfera, oceano, ghiacci terrestri e marini, biosfera, litosfera...) e complesso, perché tutte queste componenti sono in interazione non lineare tra loro. In questa presentazione, consideriamo alcuni aspetti legati all'interazione fra clima e biosfera e discutiamo sia l'effetto dei cambiamenti climatici sulla biosfera che le modalità attraverso cui gli organismi viventi modificano, e talvolta determinano, lo stato climatico del nostro pianeta.

**I cambiamenti del clima influenzano la biosfera**

Lo studio dell'interazione fra clima e biosfera ha due aspetti complementari. Il primo è l'analisi di come il clima e le sue variazioni determinino la distribuzione e la dinamica degli ecosistemi e delle popolazioni naturali. Esistono moltissimi lavori su questo argomento e, in particolare, su come le fluttuazioni meteo-climatiche influiscano sull'abbondanza di specifiche popolazioni naturali, sulla biodiversità di una certa regione o sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi.

Grazie a questi lavori, è ora disponibile un'evidenza concreta e dettagliata di come il riscaldamento globale abbia agito sulla struttura degli ecosistemi, sia terrestri che acquatici. Molte specie di animali e di piante stanno modificando la loro distribuzione, spostandosi verso zone più fresche, mentre organismi tipici dei climi più caldi stanno colonizzando le zone temperate (e.g., Walther et al. 2002, Parmesan 2006). Le misure di abbondanza delle diverse specie indicano che questo processo è spesso rapido, in alcuni casi molto più rapido del previsto. In montagna, diverse specie di piante stanno risalendo le pendici delle montagne, con chiari cambiamenti nel loro areale di distribuzione (Cannone et al. 2007). Il pericolo principale di questi cambiamenti repentini sta nel cosiddetto *mismatch* fra la diverse componenti dell'ecosistema: poiché non tutte le specie rispondono allo stesso modo, la composizione delle comunità ecologiche e degli ecosistemi si sta modificando, con esiti difficili da prevedere. Per esempio, se i fiori sbocciano precocemente ma gli insetti impollinatori non si attivano prima, si crea un divario fra queste due componenti dell'ecosistema, con conseguenze potenzialmente gravi per la sopravvivenza sia delle piante (molte delle quali di notevole interesse agricolo ed economico) che degli impollinatori. In generale, le variazioni climatiche, specie se molto veloci come nel caso attuale, possono anche comportare un cambiamento importante nella biodiversità animale e vegetale (e.g., Lovejoy e Hannah 2005). La capacità di modificare l'ambiente, da parte degli esseri umani, non va dunque sottovalutata: l'analisi del numero di specie che si sono estinte negli ultimi secoli indica che è in corso la "sesta grande estinzione di massa", in gran parte causata dalle attività umane quali l'inquinamento ambientale, la distruzione e fram-

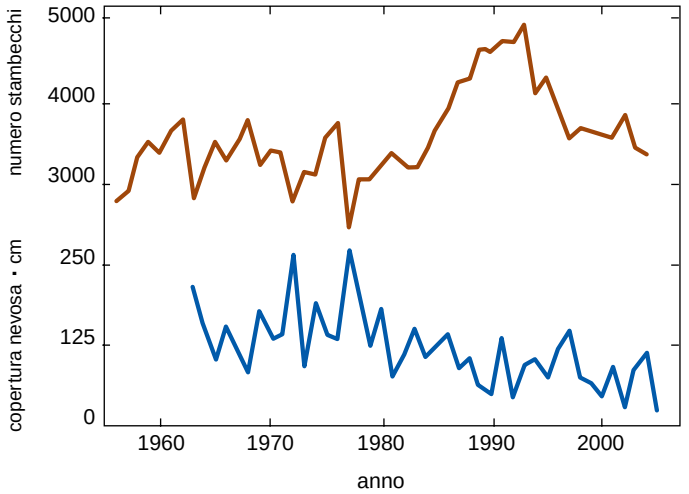



**Figura 1.** Numero totale di stambecchi censiti al PNGP in settembre (curva superiore) e altezza media, in cm, della copertura nevosa da novembre a maggio nell'inverno precedente al censimento (curva inferiore). Nella pagina seguente, un giovane di stambecco.

mentazione degli habitat naturali, l'introduzione di specie esotiche e, negli ultimi cento anni, i rapidi mutamenti climatici (e.g., Eldredge 2001).

Come esempio di una situazione italiana, la figura 1 riporta le fluttuazioni della popolazione di stambecchi al Parco Nazionale Gran Paradiso (PNGP), insieme alla profondità media del manto nevoso nell'inverno precedente il censimento.

Come è stato dimostrato da un'accurata analisi statistica dei dati (Jacobson et al. 2004), la popolazione di stambecchi risente soprattutto dell'effetto della competizione per le risorse durante l'inverno, che viene fortemente amplificata negli anni con neve abbondante. Come risultato, il numero di stambecchi censiti ha un calo significativo dopo gli inverni particolarmente nevosi, tanto maggiore quanto più grande è stata la densità della popolazione nell'anno precedente. Dopo il 1985, a causa della ridotta permanenza della coltre nevosa indotta dall'aumento della temperatura invernale sulle Alpi (e.g., Ciccarelli et al. 2008), la popolazione di stambecchi è aumentata. A partire da

metà degli anni novanta, tuttavia, la popolazione di stambecco alpino è stata in fortissima diminuzione, soprattutto a causa della diminuita sopravvivenza dei capretti che riescono difficilmente a superare il loro primo inverno. L'analisi dei dati raccolti al PNGP, tuttora in corso, indica che una possibile causa risiede nella fioritura anticipata e nella modifica della vegetazione alpina indotta dalle temperature più alte e dalla precoce fusione della neve. Gli stambecchi danno alla luce i piccoli relativamente tardi, in giugno e in luglio: se la vegetazione anticipa la sua fioritura, o il tipo di vegetazione cambia, è possibile che le madri non trovino erbe di caratteristiche adatte a produrre latte di alta qualità e di conseguenza i piccoli crescono meno robusti e poco preparati ad affrontare l'inverno successivo. Se questa interpretazione fosse corretta, la diminuzione del numero di stambecchi potrebbe dunque essere associata agli effetti del riscaldamento in corso, attraverso i cambiamenti del ciclo idrologico e della fenologia della vegetazione.

Per ottenere una stima di come i cambiamenti climatici attesi in futuro potranno agire sulla biosfera, si procede affrontando il problema in due passi: per prima cosa, occorre ottenere modelli empirici, di tipo statistico o deterministico, di come una determinata popolazione, comunità o ecosistema risponda alle variazioni climatiche osservate. Nel caso della biosfera, non sono disponibili - quantomeno per ora - descrizioni basate su "principi primi", come invece si ha nel caso di molti sistemi fisici (pensiamo, ad esempio, alle equazioni di Navier-Stokes per il moto dei fluidi). Pertanto, i modelli matematici che vengono costruiti per descrivere la dinamica di una popolazione o di un ecosistema sono necessariamente basati sull'osservazione empirica e sull'analisi dei dati. Da qui, la necessità di ottenere serie di dati sufficientemente estese nello spazio e nel tempo e di sviluppare tecniche di analisi in grado di estrarre quanta più informazione possibile dalle misure disponibili.

Una volta costruito il modello empirico del sistema in esame, occorre avere a disposizione proiezioni delle variabili meteo-climatiche in diversi scenari di cambiamento climatico. In generale, le proiezioni climatiche forniscono stime delle variabili quali temperatura, precipitazione, nevosità e intensità del vento su scale relativamente grandi, dell'ordine del centinaio di chilometri (nel caso dei modelli globali) o della decina di chilometri (nel caso dei modelli regionali). Al contrario, per molte applicazioni ad ecosistemi specifici sono necessarie le stime delle variabili meteo-climatiche su scale decisamente più piccole, dell'ordine dei chilometri. Un modo per superare questo problema consiste nell'utilizzare una procedura di *downscaling* climatico dell'informazione fornita dai modelli: mediante opportune tecniche statistiche, viene generato un *ensemble* di realizzazioni di una determinata variabile climatica a piccola scala, tutte compatibili con l'informazione a grande scala proveniente dal modello (e.g., Rebora et al. 2006, si veda anche, in Italia, il lavoro del gruppo sul *downscaling* climatico, http://www.cmcc.it/news). Ciascuna di queste realizzazioni viene poi usata come forzante del modello empirico che descrive la risposta dell'ecosistema in esame, ottenendo quindi, alla fine della catena, una distribuzione statistica di possibili risposte dell'ecosistema al cambiamento climatico atteso.

Come si può immaginare, questa procedura presenta numerosi elementi critici. Al di là dell'incertezza associata con la proiezione climatica fornita dai modelli numerici, ampiamente studiata e dibattuta, nel caso specifico degli effetti sulla biosfera la principale fonte di incertezza risiede nella definizione del modello empirico, sviluppato e validato sui dati attuali o passati e di cui possiamo non avere colto elementi che potrebbero invece rivelarsi cruciali. Occorre dunque procedere con cautela nell'interpretare i risultati delle proiezioni degli effetti dei cambiamenti climatici sulla biosfera. Il modo più serio di affrontare il problema richiede di effettuare proiezioni di *ensemble*, su tempi relativamente brevi e possibilmente su molte situazioni simili, della risposta (e della relativa incertezza) di un determinato tipo di ecosistema, per poter verificare dopo pochi anni se il comportamento osservato risulta compatibile, da un punto di vista statistico, con quello previsto. Questo approccio richiede uno sforzo notevole, sia ai biologi e naturalisti che lavorano sul campo per ottenere dati affidabili che ai fisici e

matematici che studiano i modelli empirici ed effettuano le analisi dei dati, che spesso richiedono lo sviluppo di nuove e specifiche tecniche di elaborazione statistica.

**La dinamica della biosfera modifica il clima**

Il secondo aspetto delle interazioni fra clima e biosfera riguarda la capacità, da parte degli organismi viventi, di modificare il clima del nostro pianeta. Le conoscenze sulla composizione dell'atmosfera primordiale della Terra sono ancora incerte, ma quello che si sa indica comunque una sostanziale assenza di ossigeno molecolare nell'atmosfera antica. Lo sviluppo della vita, che si ritiene sia avvenuto appena le condizioni ambientali lo hanno permesso, subito dopo la fine del bombardamento della superficie da parte di asteroidi e frammenti protoplanetari, ha portato all'evoluzione di organismi fotosintetici, capaci di assorbire il biossido di carbonio (anidride carbonica, $CO_2$) presente in atmosfera e di utilizzare l'energia solare per produrre nuova materia organica. Come prodotto di scarto di questo processo, veniva, allora come oggi, rilasciato ossigeno. A lungo andare, l'ossigeno si accumulò in atmosfera, fornendoci probabilmente il primo esempio noto di inquinamento su grande scala da parte di alcuni componenti della biosfera. Circa 2,5 miliardi di anni fa, si ritiene che il livello di ossigeno in atmosfera fosse diventato talmente elevato da innescare un profondo cambiamento ambientale: molte forme di vita perirono nell'atmosfera divenuta per loro inadatta, e nuovi organismi, capaci di utilizzare l'ossigeno mediante la respirazione, vennero generati da un rapido sviluppo evolutivo.

L'ossigeno è oggi divenuto una componente essenziale dell'atmosfera terrestre. La sua concentrazione è determinata dall'equilibrio fra la produzione da parte degli organismi fotosintetici, alghe e piante superiori, dal consumo da parte degli animali e delle stesse piante mediante la respirazione e dai processi fisico-chimici di ossidazione superficiale. Se sterilizzassimo la Terra, eliminando tutti gli organismi viventi, l'ossigeno sparirebbe rapidamente dall'atmosfera, a causa delle reazioni di ossidazione con le rocce superficiali. Nella ricerca della possibile presenza di vita su altri pianeti, che avverrà essenzialmente attraverso l'analisi "in remoto" delle atmosfere planetarie, l'indizio più

sicuro della vita è il disequilibrio termodinamico fra la composizione chimica dell'atmosfera e la composizione della superficie del pianeta. Se ci fosse un tale disequilibrio, vi deve essere un insieme di processi che tiene il sistema lontano dall'equilibrio. Ed è probabile che tali processi siano associati con la presenza della vita.

Tornando al nostro pianeta, molti sono gli esempi del controllo climatico esercitato dalla vegetazione (e.g., Adams 2007). Un esempio classico è il cosiddetto "meccanismo di Charney", dal nome del padre fondatore della meteorologia dinamica e delle previsioni meteorologiche, Jule Charney, che l'ha descritto in un lavoro del 1975. Questo meccanismo concettuale, molto semplice, si basa sul fatto che nelle zone desertiche l'albedo (ovvero la percentuale di luce solare incidente che viene riflessa da una superficie) è decisamente maggiore per il suolo nudo che per un suolo coperto di piante erbacee ed arbusti. Supponiamo, allora, che a causa di una diminuzione delle precipitazioni la vegetazione di un'ampia area semi-desertica diminuisca. Corrispondentemente, l'albedo aumenta e quindi meno energia solare viene assorbita dal terreno, che diventa più freddo e riscalda meno gli strati bassi dell'atmosfera. Questa diventa localmente più stabile e i moti convettivi, generati dal fatto che l'atmosfera è riscaldata dal basso, diventano più deboli (e le differenze di riscaldamento generano cambiamenti a grande scala nella circolazione di tipo monsonico). Ma l'indebolimento della convezione comporta una diminuzione della precipitazione, amplificando l'effetto della perturbazione iniziale e riducendo ulteriormente la vegetazione, che nelle zone aride e semi-aride è limitata principalmente dalla disponibilità di acqua nel suolo. In questo modo, il disturbo iniziale può essere amplificato fino a far transire il sistema in uno stato di deserto. A quel punto, il sistema è nel pieno di un ciclo di isteresi e non è sufficiente un lieve aumento delle precipitazioni per tornare allo stato iniziale.

Il meccanismo di Charney è un tipico esempio di retroazione (*feedback*) positiva, in cui il comportamento non lineare del sistema amplifica un disturbo iniziale. Il risultato è che il sistema possiede due stati di equilibrio stabile (nel caso specifico, il deserto sabbioso e il semideserto con arbusti) per le stesse condizioni di insolazione e di forzanti esterne, un comportamento noto come bistabilità. Un disturbo sufficientemente forte può far passare il sistema da uno stato all'altro,

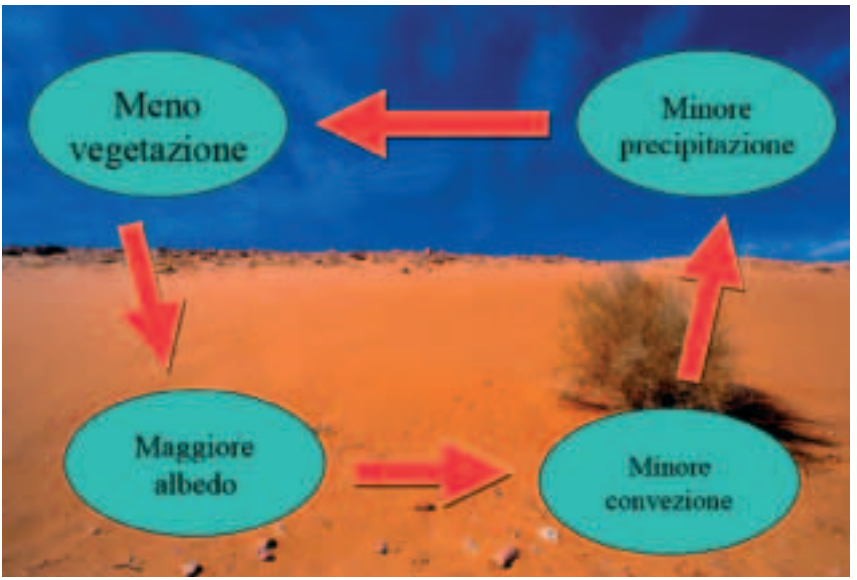



**Figura 2.** Illustrazione schematica della retroazione positiva associata con il meccanismo di Charney (1975) per l'interazione fra vegetazione, albedo e precipitazione, che può indurre bistabilità nelle zone aride.

analogamente a quanto accade nella Fisica classica con i sistemi a doppia buca di potenziale.

I deserti del nord Africa sono una regione dove meccanismi di questo tipo possono essere all'opera. In un periodo compreso fra i 6000 e i 10000 anni fa, tali regioni erano più umide rispetto alle condizioni attuali ed ospitavano vegetazione erbacea o arbustiva (Jolly et al. 1998). Fra i 6000 e i 4000 anni fa, c'è stata una transizione, la cui rapidità è ancora oggetto di discussione (deMenocal 2000, Kropelin 2008, Brovkin e Claussen 2008), a condizioni più aride. Sebbene il meccanismo di questo cambiamento sia ancora allo studio, l'ipotesi più plausibile è che queste diverse condizioni siano state generate da lievi cambiamenti nella distribuzione dell'insolazione, associati alla variazione lenta dei parametri orbitali terrestri ed amplificati dalle interazioni non lineari fra atmosfera, precipitazione e copertura vegetale (Liu et al. 2007). Simulazioni con modelli climatici, più o meno semplificati, hanno mostrato che questo tipo di comportamento può giocare un

ruolo anche nel determinare le condizioni della copertura vegetale nel Sahel, modificando, allo stesso tempo, il regime dei monsoni che risente della temperatura e della pressione nella zona soggetta a bistabilità (e.g., Claussen 1997).

Gli effetti legati all'albedo non sono gli unici meccanismi che legano clima, precipitazione e copertura vegetale e forse, in realtà, non sono neppure i più importanti. Un altro aspetto cruciale riguarda i flussi di evapotraspirazione fra suolo, vegetazione ed atmosfera: l'evaporazione nelle zone aride può essere estremamente intensa, ma riguarda solo pochi centimetri superficiali di suolo e contribuisce quindi in modo limitato all'umidità degli strati bassi dell'atmosfera. Al contrario, la traspirazione da parte delle piante coinvolge l'acqua assorbita dalle radici, che possono arrivare anche a molti metri di profondità. Nell'esempio delle zone aride descritto prima, una diminuzione della vegetazione dovuta alla riduzione della precipitazione comporta una diminuzione della traspirazione e quindi dell'umidità degli strati atmosferici più bassi e, di conseguenza, una temperatura potenziale equivalente maggiore ed un'atmosfera meno instabile ai moti convettivi. Ancora una volta, la diminuita convezione comporta una minore condensazione e in definitiva una minore precipitazione, che a sua volta induce una minore umidità del suolo ed una ulteriore riduzione della copertura vegetale, in un altro ciclo di retroazioni positive.

L'interazione fra suolo, vegetazione e convezione atmosferica risulta essere importante anche per l'innesco delle siccità estive alle medie latitudini continentali. L'estate del 2003 in Francia e in Italia settentrionale, in particolare, è stata associata con la contemporanea presenza di condizioni meteorologiche di tipo prevalentemente anticiclonico e con un suolo estremamente secco all'inizio dell'estate (Schär et al. 2004). Un semplice modello concettuale può aiutarci a capire il possibile meccanismo di questo fenomeno (D'Andrea et al. 2006). Al flusso di umidità atmosferica in arrivo dall'Atlantico, a scala continentale si aggiunge anche l'umidità prodotta dall'evapotraspirazione. Se il suolo è umido, allora l'atmosfera diventa sufficientemente umida da innescare convezione intensa e riciclo locale della precipitazione: l'umidità evaporata ricade come precipitazione approssimativamente nella stes-

sa area continentale da cui proviene. Ma se il suolo è troppo secco, la convezione stenta a innescarsi e l'umidità viene facilmente portata via dalla circolazione atmosferica a grande scala. Se assumiamo che l'*efficienza* della convezione (ovvero la capacità dei moti convettivi nel trasformare, per condensazione, l'umidità atmosferica in precipitazione) aumenti rapidamente con l'intensità del flusso convettivo, allora troviamo che per le stesse condizioni di flusso sinottico di vapor d'acqua possiamo avere due stati stabili: uno stato con forte convezione, riciclo locale della precipitazione, suolo umido, temperature moderate e forte flusso di calore latente, oppure uno stato siccitoso, con suolo secco, temperature molto alte e flusso di calore fra suolo ed atmosfera dominato dal flusso di calore sensibile. Simulazioni numeriche con modelli di circolazione generale che includono anche moduli di interazione suolo-atmosfera confermano questo tipo di comportamento (Ferranti e Viterbo 2006, Fisher et al. 2007).

La presenza della vegetazione arricchisce lo scenario appena discusso. Poiché la pura evaporazione estiva alle medie latitudini è in genere minore rispetto alla traspirazione delle piante, occorre che la copertura vegetale sia sufficientemente estesa per avere un flusso di calore latente fra superficie ed atmosfera in grado di innescare la convezione (Baudena et al. 2008). La figura 3, ottenuta utilizzando un'estensione del semplice modello concettuale discusso in precedenza, mostra lo stato di equilibrio che viene raggiunto partendo da diverse condizioni iniziali di umidità del suolo e copertura vegetale per un valore realistico del flusso sinottico di umidità atmosferica. È anche interessante sottolineare che questo stesso modello suggerisce che la vegetazione coltivata, incapace di adattare il suo areale di distribuzione alle condizioni climatiche, sia meno efficace di quella naturale per prevenire l'insorgenza di siccità estive in aree continentali.

Finora, abbiamo discusso esempi di effetti climatici indotti dalla vegetazione terrestre. Anche gli ecosistemi marini contribuiscono in modo sostanziale alle complesse interazioni e retroazioni fra clima e biosfera. Citiamo qui il meccanismo, potenzialmente devastante, della retroazione fra aumento della concentrazione di biossido di carbonio in atmosfera, acidificazione delle acque e risposta dell'ecosistema marino. I flussi di $CO_2$ fra atmosfera ed oceano sono mediati da diversi

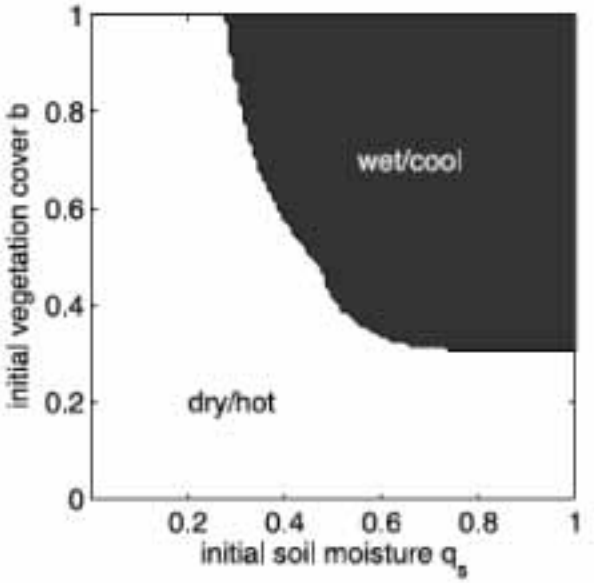



**Figura 3.** Stato di equilibrio raggiunto dal sistema suolo-vegetazione-atmosfera in un semplice modello concettuale per la dinamica delle siccità estive alle medie latitudini continentali. Sulle ascisse è riportata l'umidità relativa del suolo, qs, all'inizio dell'estate ($0 \leq qs \leq 1$, $qs = 1$ significa suolo saturo). Sulle ordinate è riportata la frazione di suolo inizialmente coperta da vegetazione, b. Se il suolo è troppo secco o la vegetazione troppo scarsa all'inizio dell'estate, il sistema tende ad uno stato siccitoso secco e caldo (da Baudena et al. 2008).

processi chimico-fisici e biologici. In generale, la biosfera oceanica è in grado di catturare un parte significativa della $CO_2$ presente nelle acque oceaniche e di sottrarla, almeno in parte, all'atmosfera confinandola nelle profondità marine. Un aumento della pressione parziale di biossido di carbonio in atmosfera, tuttavia, aumenta la quantità di $CO_2$ disciolta nell'oceano e di conseguenza l'acidità delle acque. La maggior parte degli organismi marini risente negativamente dell'aumentata acidità, con il rischio di una diminuzione nella capacità di cattura della $CO_2$ disciolta ed un ulteriore aumento della concentrazione di questo gas serra in atmosfera (Fabry et al. 2008, *IAP Statement on ocean acidification* 2009). Ancora una volta, una retroazione positiva.

Citiamo, infine, un aspetto cruciale, probabilmente essenziale, delle interazioni fra biosfera e clima: la produzione di sostanze volatili e aerosol di origine biogenica che determinano la composizione e concentrazione degli aerosol atmosferici. Gli aerosol sono estremamente importanti nel determinare le caratteristiche della precipitazione e delle nubi, e quindi nel modificare il delicato equilibrio fra raffreddamento (dovuto all'albedo) e riscaldamento (dovuto a effetto serra) associato con la presenza delle nubi (e.g., Rosenfeld et al. 2008). Le grandi estensioni di foresta sono in grado di produrre sia nuclei di condensazione di nube (CCN, *Cloud Condensation Nuclei*) e nuclei per la condensazione del ghiaccio (IN, *Ice Nuclei*) che sostanze organiche volatili (VOC, *Volatile Organic Compounds*) che possono condensare su particelle esistenti, generarne di nuove o modificare le proprietà chimiche dell'atmosfera e degli aerosol. Analogamente, la biosfera marina è in grado di produrre grandi quantità di aerosol, con il risultato che una parte significativa dell'aerosol marino è di origine biogenica (O'Dowd et al. 2004).

**Dagli ingegneri dell'ecosistema alla biosfera planetaria**

Alcuni tipi di organismi sono in grado di modificare pesantemente l'ambiente in cui vivono, adattandolo alle loro esigenze. A parte l'esempio ovvio della specie umana, molte altre specie di piante ed animali possono agire sull'ambiente. L'esempio forse più lampante è fornito dai castori che, mediante la costruzione di dighe di tronchi, sono in grado di cambiare completamente un fondovalle trasformandolo in una zona allagata (Morgan 1868, Wright et al. 2002). Le conseguenze di tali trasformazioni si fanno sentire anche sulle altre specie che vivono nella zona: organismi prevalentemente terrestri sono danneggiati dalla trasformazione indotta dai castori, mentre specie acquatiche ne traggono un beneficio.

Un altro esempio viene dall'azione degli arbusti del deserto. Studi di campo e modellistici hanno mostrato che alcuni di questi cespugli sono in grado di modificare il contenuto d'acqua e nutrienti nel suolo, portando a un terreno più umido e fertile in prossimità dei cespugli stessi (Callaway and Walker 1997, Pugnaire e Luque 2006, Gilad et al. 2007). Nelle zone desertiche, l'evaporazione è estremamente intensa e

limita fortemente l'umidità del suolo. L'ombra degli arbusti riduce l'evaporazione dal suolo in prossimità dei cespugli, creando un'area dove permane più umidità che nella regione libera da arbusti. In aggiunta, gli arbusti depositano sul terreno uno strato di residui vegetali, foglie secche e frammenti di corteccia che favoriscono ulteriormente, insieme alla presenza dell'apparato radicale, l'infiltrazione della poca acqua piovana creando una vera e propria "isola di fertilità" ricca di nutrienti azotati nella zona occupata dall'arbusto. In questo modo, altre piante possono trarne vantaggio e crescere più agevolmente grazie all'azione di questi modificatori dell'ambiente. L'aumento dell'umidità del suolo vicino ai cespugli è tanto più accentuata quanto più è scarsa la precipitazione e costituisce un esempio di facilitazione fra specie diverse: la maggiore umidità del suolo in prossimità degli arbusti permette la sopravvivenza di altre essenze vegetali, che traggono vantaggio dall'azione dell'arbusto. Nello stesso tempo, a causa per esempio dei meccanismi di evapotraspirazione e albedo discussi in precedenza, le modifiche alla copertura vegetale indotte da questi arbusti possono comportare modifiche nel regime delle precipitazioni e nelle condizioni climatiche della regione.

Gli organismi che sono in grado di modificare significativamente l'ambiente fisico sono stati chiamati, in un lavoro di Jones, Lawton e Shachak del 1994, "ingegneri dell'ecosistema", anche se, naturalmente, sarebbe un grave errore associare qualunque forma di finalismo o intenzionalità nei cambiamenti che questi organismi mettono in atto. Modificando l'ambiente, questi organismi lasciano in eredità ai loro discendenti, ed ai discendenti delle altre specie che vivono nella zona, un ambiente diverso. In un certo senso, questi organismi sono in grado di costruire la propria nicchia ecologica, e dunque di cambiare le pressioni evolutive esercitate dall'ambiente sulle generazioni successive (e.g., Odling-Smee et al. 2003). Anche se molto è ancora da capire in questo contesto, i risultati disponibili suggeriscono la necessità di considerare l'evoluzione congiunta della biosfera e dell'ambiente fisico e chimico e, nel caso specifico che stiamo considerando, della coevoluzione del clima e della biosfera.

Il passo successivo conduce ad una visione planetaria del problema e alla domanda se la biosfera terrestre possa esercitare un ruolo di

controllo globale sul clima della Terra. Questa idea fu esplorata in dettaglio, probabilmente per la prima volta, dal geofisico russo Vladimir Vernadsky nel libro "Biosfera", pubblicato nel 1926. Successivamente, l'idea di una biosfera in grado di controllare il clima del pianeta fu ripresa da Lovelock e Margulis nel 1974 con la cosiddetta "ipotesi Gaia", che ha ricevuto una ampia, entusiastica e spesso fuorviante diffusione anche al di fuori della comunità scientifica. In sostanza, questa ipotesi assume che la biosfera terrestre sia, se considerata globalmente, caratterizzata da una serie di meccanismi di retroazione negativa (spesso chiamati di omeostasi, utilizzando un termine di tipo fisiologico) che riescono a smorzare le perturbazioni esterne mantenendo il pianeta in uno stato sostanzialmente adatto alla vita (anche se diverso da quello iniziale o da quello adatto ad una particolare specie - per esempio, le condizioni adatte alla vita dei dinosauri non sono necessariamente le migliori per la vita degli esseri umani).

L'ipotesi Gaia ha stimolato lo sviluppo di modelli concettuali per lo studio dell'effetto regolatore della biosfera sul clima planetario, come il lavoro su *Daisyworld* di Watson e Lovelock del 1983. In questo modello, si immagina un ipotetico pianeta che ruota intorno ad una stella simile al Sole e la cui superficie è coperta di margherite bianche e nere, in competizione fra loro. Le margherite nere sono favorite a temperature più basse, mentre quelle bianche a temperature più alte. Supponiamo di iniziare con uno stato in cui la superficie del pianeta sia coperta da entrambe le specie di margherite. Se dovesse aumentare l'irradiazione della stella, aumenterebbe anche l'energia assorbita dalla superficie planetaria e quindi la temperatura del pianeta. Ma allora, l'equilibrio si sposterebbe a favore delle margherite bianche, che occuperebbero più superficie a scapito di quelle nere. Poiché le margherite bianche riflettono più luce incidente di quelle nere, si avrebbe dunque un aumento dell'albedo planetaria. Come risultato, minore energia incidente viene assorbita, con l'effetto netto di una diminuzione della temperatura, o meglio, di una resistenza all'aumento della temperatura. Otteniamo così un semplice esempio di retroazione negativa, ovvero di un meccanismo che tende a mantenere il sistema nello stato iniziale smorzando le variazioni delle forzanti esterne. Il semplice esempio di *Daisyworld* è stato ulteriormente studiato nel corso degli anni, considerando varie modifiche quali l'esistenza di margheri-

te grigie, la distribuzione spaziale delle margherite e, soprattutto, la plausibilità di una situazione quale quella descritta (seppur estremamente idealizzata, ovviamente) dal punto di vista evolutivo. Una rassegna dei vari aspetti di questo tipo di modelli è disponibile nel lavoro di Wood et al. (2008).

La situazione reale è naturalmente molto più complessa, e la biosfera terrestre è ben più complicata di un mondo a margherite. Le retroazioni positive e negative si combinano ed amplificano in modo estremamente intricato ed è difficile capire se, nella sua globalità, la biosfera agisca da regolatore del clima o possa invece amplificarne le instabilità. Il grande merito dell'intuizione di Lovelock e dei lavori successivi è stato di riportare alla luce l'importanza della biosfera, e di iniziare quella serie di studi sui cicli degli elementi che prendono parte al gran gioco del clima. Da qui, è iniziato il lavoro sui cicli biogeochimici e il tentativo di ottenerne una descrizione globale in quella che oggi è chiamata la "scienza del sistema Terra", *Earth System Science* (e.g., Jacobson et al. 2000).

## Il problema dell'upscaling

Il clima influenza la struttura della biosfera, e viceversa la biosfera può controllare e modificare il clima. Spesso, tuttavia, le variazioni climatiche avvengono su scale spaziali e temporali che sono molto più grandi di quelle su cui si manifestano i cambiamenti degli ecosistemi. Ecco, dunque, che nasce il problema di come, e se, variazioni della biosfera a piccole scale spaziali e temporali possano propagarsi a scale più grandi, innescando una cascata di effetti che possono portare a instabilità e cambiamenti significativi nel clima globale. Si tratta dunque di capire come ottenere una procedura di *upscaling* delle variazioni generate dagli organismi viventi, per poter inserire e parametrizzare i loro effetti nei modelli climatici globali e regionali.

La componente vegetale può agire da filtro passa-basso delle fluttuazioni climatiche interannuali, generando variabilità di lungo periodo. Un semplice modello ecoidrologico che rappresenta la risposta del sistema suolo-vegetazione delle zone aride ad una precipitazione intermittente rivela che una variazione casuale del volume di precipitazione annuale, con valori decorrelati un anno all'altro, genera variazioni

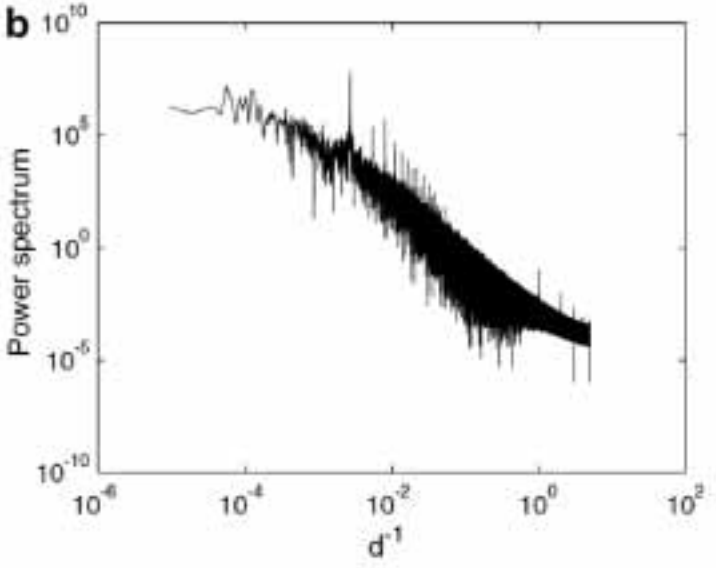



**Figura 4.** Spettro di potenza della copertura vegetale ottenuto da un semplice modello concettuale del sistema suolo-vegetazione forzato da precipitazione intermittente, variabile di anno in anno. Sulle ascisse, la frequenza in 1/giorni. Anche se il volume totale annuo di precipitazione è decorrelato da un anno all'altro, la dinamica della vegetazione genera fluttuazioni di lungo periodo, correlate nel tempo, come evidenziato dallo spettro che satura ad un valore costante solo per periodi maggiori di 30 anni. Il picco isolato rappresenta il ciclo annuale (da Baudena et al. 2007).

lente e correlate della copertura vegetale che possono persistere per periodi di alcuni decenni (Baudena et al. 2007), come avviene nel caso di sistemi climatici con tempo di risposta lento forzati da rumore bianco (Hasselmann 1976). Nella figura 4 viene riportato lo spettro di potenza delle fluttuazioni della vegetazione ottenute da questo modello, che evidenzia la presenza di oscillazioni temporalmente correlate della copertura vegetale su periodi pluridecennali.

Un altro esempio riguarda il comportamento di ecosistemi che possono avere stati diversi per gli stessi valori dei parametri di controllo esterni. Nelle zone aride e semi-aride, una serie di retroazioni positive fra estensione dell'apparato radicale, infiltrazione nel suolo ed

evaporazione permette la presenza di vegetazione, con copertura non omogenea, anche per valori di precipitazione molto bassi. Le caratteristiche della copertura vegetale variano con il valore della media annuale della precipitazione e vi è la possibilità di equilibri multipli, ovvero di stati di copertura vegetale diversa per le stesse condizioni meteo-climatiche (e.g. Levefer e Lejeune 1997, von Hardenberg et al. 2001). I diversi tipi di copertura vegetale rappresentano dei *pattern* spaziali auto-organizzati, in cui la vegetazione non copre uniformemente la superficie ma crea distribuzioni a macchie (*spot*), a bande (*stripes*) e a vuoti (*holes*). La figura 5 riporta un esempio del tipo di *pattern* osservabili in un modello matematico della vegetazione desertica (Gilad et al. 2007) e un esempio della sequenza di biforcazioni, ovvero del tipo di stati e della stabilità della copertura omogenea, che si ottiene al variare della precipitazione. In generale, questo tipo di ricerche ha evidenziato come vi sia la possibilità di transizioni brusche negli ecosistemi, sia terrestri che acquatici, al variare anche lieve delle forzanti esterne, generando l'insorgenza di *catastrophic shift* nel funzionamento del sistema (Rietkerk et al. 2004, Scheffer et al. 2009).

Nell'esempio precedente abbiamo mostrato come la copertura vegetale risponda a valori di precipitazione definiti dall'esterno. Tuttavia, come illustrato in precedenza, i processi di retroazione legati all'evapotraspirazione e alla modifica dell'albedo possono far sì che la vegetazione induca cambiamenti sul regime delle precipitazioni, le cui caratteristiche possono dipendere dallo stato della copertura vegetale. Meccanismi di riciclo dell'umidità a scala continentale sono stati studiati da Entekhabi et al. (1992), mentre Dekker et al. (2007) hanno mostrato che le retroazioni locali fra vegetazione e idrologia possono influenzare i meccanismi di interazione fra evapotraspirazione e precipitazione a scala regionale. In quest'ultimo lavoro, in particolare, è stato mostrato come la stima quantitativa della posizione del margine geografico fra Sahara e Sahel dipenda fortemente dai meccanismi di retroazione della vegetazione. Soltanto tenendo conto di questi effetti si può riprodurre quanto realmente osservato.

Terminiamo questo capitolo con un esempio, per ora di tipo ipotetico, che viene dalla dinamica dell'ecosistema marino. In oceano, la quasi totalità della produzione primaria viene effettuata dal fitoplanc-

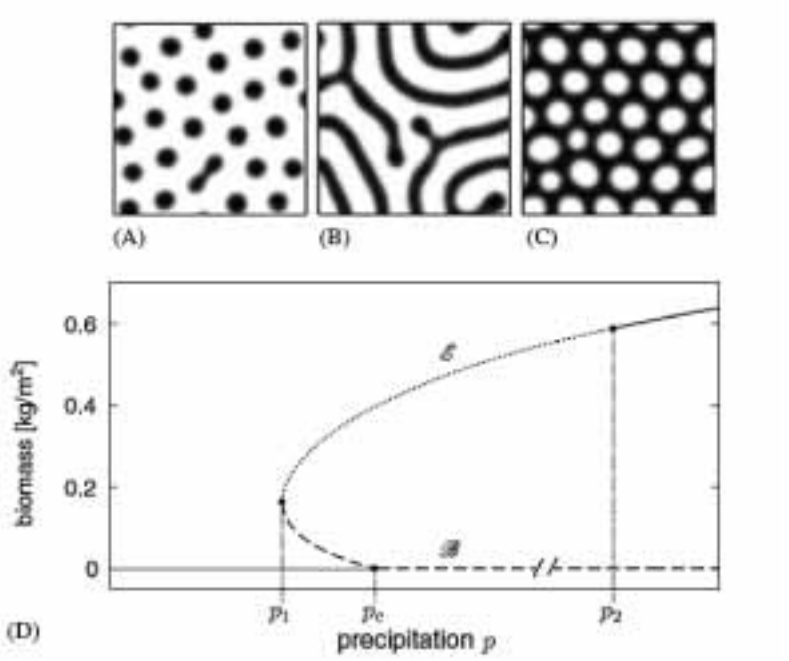



**Figura 5.** I pannelli superiori mostrano gli stati a copertura vegetale disomogenea (A: spot, B: stripes, C: holes) per tre valori diversi della precipitazione media annua (crescente da A a C). In nero, la copertura vegetale, in bianco, il suolo nudo. Il pannello D riporta il diagramma di biforcazione, in termini di biomassa vegetale b, al variare della precipitazione. Sono rappresentati solo gli stati omogenei. Fra $p_1$ e $p_c$, sia lo stato di deserto (b=0) che lo stato vegetato (b≠0) sono stabili per perturbazioni omogenee (qui la biforcazione è subcritica). Fra $p_1$ e $p_2$, la copertura vegetale omogenea è però instabile a perturbazioni spazialmente strutturate e lo stato omogeneo lascia il posto ad uno degli stati con copertura vegetale disomogenea. Per questi valori di precipitazione si possono osservare, spesso in coesistenza, tutti i tipi di copertura rappresentati nei pannelli superiori. Oltre il valore $p_2$, lo stato omogeneo diventa stabile (da Gilad et al. 2007).

ton, che vive nello strato superficiale delle acque marine a profondità inferiori a circa cento metri, dove vi è luce sufficiente a mantenere attiva la fotosintesi. Qui, il fitoplancton consuma i nutrienti (soprattutto composti di azoto) contenuti nell'acqua e necessita dunque, per continuare la propria esistenza, di un meccanismo di rifornimento di nutrienti nello strato superficiale. Poiché le acque profonde sono ricche

di nutrienti, principalmente a causa della rimineralizzazione batterica della sostanza organica in decomposizione, ogni risalita di acqua profonda verso la superficie, chiamata *upwelling*, rappresenta potenzialmente un meccanismo di fertilizzazione dello strato superficiale. Molti processi di *upwelling* avvengono in regioni costiere, per l'interazione fra le correnti e la topografia della piattaforma continentale. In oceano aperto, l'*upwelling* è in genere associato alla presenza di fronti e di vortici coerenti (Falkowski et al. 1997). Risultati recenti mostrano che i vortici a mesoscala con diametro dell'ordine di qualche decina di chilometri, ampiamente diffusi nell'oceano aperto, inducono un campo di velocità verticali molto intenso e tale da comportare una significativa risalita di acque profonde e nutrienti (Koszalka et al. 2009). La dinamica dei vortici e dei fronti può dunque determinare la produttività dell'ecosistema marino e, di conseguenza, la capacità di cattura e assorbimento del biossido di carbonio atmosferico e l'emissione di aerosol biogenico in atmosfera. Un cambiamento nelle proprietà dell'ecosistema marino possono dunque indurre una modifica del clima e delle caratteristiche della circolazione oceanica, e in particolare proprio della turbolenza a mesoscala e delle instabilità che generano i vortici e i fronti, chiudendo così il ciclo di retroazione.

## Considerazioni conclusive

Molti e intricati sono i legami che intercorrono fra clima e biosfera. In queste note ne abbiamo discussi alcuni, considerando sia gli effetti delle variazioni climatiche sulla biosfera che, un poco più in dettaglio, i processi attraverso i quali la biosfera modifica e controlla il clima. Sebbene molti aspetti siano ancora da comprendere, possiamo certamente concludere che il nostro pianeta e il suo clima sarebbero molto diversi se non ci fossero gli organismi viventi. La presenza della vita induce complessi meccanismi di retroazione, positiva e negativa, che non possono essere ignorati se vogliamo capire e prevedere come cambierà il clima della Terra sia per cause interne, "naturali", che in risposta alle variazioni introdotte dalle attività umane quali aumento della concentrazione di gas serra, immissione di aerosol, cambiamenti nelle proprietà della superficie terrestre e frammentazione degli habitat naturali.

Fra i molti problemi tuttora aperti, ve ne sono alcuni particolarmente importanti. Il primo riguarda la stima degli effetti delle variazioni climatiche sugli ecosistemi e sulle popolazioni animali e vegetali. I progressi in questo ambito richiedono di aumentare la capacità di effettuare previsioni climatiche a scala regionale e locale, mediante l'uso di modelli deterministici fino a scale spaziali di qualche decina di chilometri e la sviluppo di procedure di *downscaling* stocastico per ottenere proiezioni di *ensemble* dei valori attesi delle variabili meteo-climatiche di interesse. Una volta ottenuto ciò, è comunque necessario sviluppare modelli, forzatamente di tipo empirico, della dinamica degli ecosistemi o delle popolazioni in studio, da forzare con le proiezioni climatiche regionali e locali. Un passo necessario in tutta questa procedura è lo sviluppo di metodi rigorosi per la stima dell'incertezza sui risultati ottenuti.

Un secondo aspetto, complementare al primo, riguarda invece il problema dell'*upscaling* delle instabilità della biosfera e della loro possibile propagazione a scala regionale e globale. Modifiche nella struttura degli ecosistemi, naturali o di origine antropica, possono cambiare i flussi di calore e materia fra superficie terrestre, oceano ed atmosfera, con conseguenze sul clima. In molti casi, le modifiche della biosfera avvengono su scale limitate e rispondono a processi locali, ma è possibile che si inneschi una cascata inversa di retroazioni, dalle piccole alle grandi scale, in grado di portare ad effetti su scala continentale o globale. L'esempio del margine Sahara-Sahel è di questo tipo, con cambiamenti locali che possono indurre modifiche a scala più grande. Al momento, la maggior parte dei modelli climatici è in grado di rappresentare l'interazione clima-biosfera su scale grandi, ma viene per forza di cose trascurato il possibile effetto delle modifiche a piccola scala, come ad esempio la transizione fra *pattern* di vegetazione diversi o una diversa distribuzione e intensità dei vortici oceanici. Occorre dunque determinare se e in quali casi questi processi siano effettivamente importanti, e in caso affermativo sviluppare parametrizzazioni mediante una rigorosa procedura di *upscaling* che permetta di incorporarne i principali aspetti nei modelli climatici.

Un ultimo aspetto concerne la difficoltà di ottenere descrizioni matematiche rigorose della dinamica degli ecosistemi e della biosfera, e quindi di inserirne gli effetti nei modelli climatici. Nella modellistica

degli ecosistemi, non abbiamo nulla di simile alle equazioni del moto di Newton e tutte le trattazioni, per quanto raffinate e matematicamente eleganti, sono basate su considerazioni completamente empiriche. Non sappiamo derivare le "equazioni del moto" di una foresta da principi primi, e quasi sicuramente non lo sapremmo fare neppure se risolvessimo il problema della grande unificazione nella Fisica delle particelle. Nello studio della biosfera, manca ancora un fondamento concettuale come fu la meccanica statistica per la termodinamica. Forse, la dinamica degli organismi viventi è troppo complessa (certamente più complessa del moto delle molecole di un gas perfetto) per permetterci di risolvere questo problema con i mezzi matematici oggi a disposizione. Ecco, dunque, che occorre investire in ricerca di base sulla modellistica quantitativa della dinamica delle popolazioni e degli ecosistemi, dando spazio anche ad approcci concettuali quali, ad esempio, i tentativi di "meccanica statistica" degli individui (e.g., Birch and Young 2006). Queste ricerche non daranno frutti immediati, ma possono porre le basi per una più profonda comprensione dei processi attivi nella biosfera e per la loro corretta rappresentazione nei modelli del sistema Terra.

La nostra conoscenza dei meccanismi di funzionamento del clima è ancora parziale, e molto lavoro deve ancora essere completato. La comprensione della dinamica del clima è una delle sfide concettuali più complesse cui si sia trovata di fronte la ricerca. I processi sono molti, in interazione fra loro, e piccoli effetti a piccole scale possono determinare il comportamento globale. Di fronte a questa complessità, occorre non rinunciare ad investire in ricerca e innovazione ed esplorare il problema in tutti i suoi aspetti.

Nonostante le molte e profonde incertezze ancora presenti, tuttavia, è opportuno ricordare che negli ultimi vent'anni la nostra ignoranza sui meccanismi del clima si è drasticamente ridotta, portando a un netto miglioramento nella capacità di ottenere proiezioni climatiche a scale globali e di identificare le cause delle variazioni climatiche in corso. Questa capacità è stata recentemente dimostrata dal confronto fra proiezioni climatiche ed effettivo comportamento del clima negli ultimi dieci anni (Rahmstorf et al. 2007, Reichler and Kim 2008). Nel complesso, i risultati delle ricerche sul clima indicano che negli ultimi cento anni vi è stato un significativo e rapido aumento della

temperatura globale e che una parte rilevante di questo aumento è quasi certamente dovuto alle attività umane, responsabili dell'immissione in atmosfera di grandi quantità di gas serra e di aerosol. Raccogliendo i risultati di molte ricerche, l'Unione Europea ha recentemente stimato che se la temperatura media globale dovesse aumentare ancora di circa 1.2 C° (ovvero 2 °C in più rispetto all'era pre-industriale) si potrebbero produrre effetti di portata tale da mettere seriamente in crisi la nostra società. A parere di chi scrive, la consapevolezza che c'è ancora molto da imparare, cosa di cui ogni ricercatore certamente non si stupisce, non deve essere utilizzata come alibi per rimandare l'adozione di appropriate strategie di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici in corso.

## Bibliografia citata

J. Adams, 2007. V*egetation-Climate Interaction. How Plants Make the Global Environment*. Springer/Praxis, Chichester.

M. Baudena et al. 2007. Vegetation response to rainfall intermittency in drylands: results from a simple ecohydrological box model. *Advances Water Res.* **30**, 1320-1328.

M. Baudena, F. D'Andrea, A. Provenzale, 2008. A model for soil-vegetation-atmosphere interactions in water-limited ecosystems, *Water Res. Res.* **44**, W12429.

D.A. Birch, W.R. Young, 2006. A master equation for a spatial population model with pair interactions. T*heoretical Population Biology* **70**, 26-42.

V. Brovkin, M. Claussen, 2008. Comment on "Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years". *Science* **322**, 1326.

R.M. Callaway, L.R. Walker. 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* **78**, 1958-1965.

N. Cannone, S. Sgorbati, M. Guglielmin, 2007. Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology and Evolution*, **5**, 360-364.

J.C. Charney, 1975. Dynamics of Deserts and Drought in the Sahel. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **101**, 193-202.

M. Claussen, 1997. Modelling biogeophysical feedback in the African and Indian Monsoon region. *Climate Dynamics* **13**, 247.

N. Ciccarelli, J. von Hardenberg, A. Provenzale, C. Ronchi, A. Vargiu, R. Pelosini, 2008. Climate variability in north-western Italy during the second half of the 20th century. *Global and Planetary Change*, **63**, 185-195.

*Commissione delle Comunità Europee*, 2007. Limitare il surriscaldamento dovuto ai cambiamenti climatici a +2 gradi Celsius. La via da percorrere fino al 2020 e oltre.

http://ec.europa.eu/environment/climat/future_action.htm

http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0002:FIN:IT:PDF

F. D'Andrea, A. Provenzale, R. Vautard, N. de Noblet-Ducoudré, 2006. Hot and cool summers: Multiple equilibria of the continental water cycle. *Geophysical Research Lett.* **33**, L24807.

S. Dekker, M. Rietkerk, M.F.P. Bierkens, 2007. Coupling microscale vegetation–soil water and macroscale vegetation–precipitation feedbacks in semiarid ecosystems. *Global Change Biology* **13**, 671-678.

P. deMenocal et al., 2000. Abrupt onset and termination of the African Humid Period: Rapid climate response to gradual insolation forcing. *Quaternary Science Reviews* **19**, 347-361.

N. Eldredge, 2001. *The sixth extinction*. American Institute of Biological Sciences, Washington, USA, http://www.actionbioscience.org/newfrontiers/eldredge2.html

D. Entekhabi, I. Rodriguez-Iturbe, R. L. Bras, 1992. Variability in large-scale water balance with landsurface-atmosphere interaction. *Journal of Climate* **5**, 798-813.

V.J. Fabry et al., 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Sciences*, 65, 414.

P. Falkowski, D. Ziemann, Z. Kolber, P. Bienfang, 1991. Role of eddy pumping in enhancing primary production in the ocean. Nature 352, 55-58.

L. Ferranti, P. Viterbo, 2006. The European summer of 2003: Sensitivity to soil water initial conditions, *J. Climate* 19, 3659-3680.

E.M. Fischer, S.I. Seneviratne, P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Schär, 2007. Soil moisture - atmosphere interactions during the 2003 European summer heatwave. *J. Climate*, 20, 5081-5099.

E. Gilad et al. 2007. A mathematical model of plants as ecosystem engineers. *J. Theoretical Biology 244*, 680-691.

K. Hasselmann, 1976. Stochastic climate models, part I, theory. *Tellus* **28**, 473-485.

InterAcademy Panel on international issues (IAP). *IAP Statement on ocean acidification*, June 2009. http://www.interacademies.net/CMS/8900.aspx

M.C. Jacobson, R.J. Charlson, H. Rodhe, G.H. Orians, 2000. *Earth System Science: From Biogeochemical Cycles to Global Change*. Academic Press, San Diego.

A.R. Jacobson, A. Provenzale, A. von Hardenberg, B. Bassano, M. Festa-Bianchet, 2004. Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population. *Ecology*, **85**, 1598-1610.

D. Jolly et al., 1998. Biome reconstruction from pollen and plant macrofossil data for Africa and the Arabian peninsula at 0 and 6000 years. *Journal of Biogeography,* **25**, 1007.

C.G. Jones, J.H. Lawton, M. Shachak, 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, **69**, 373-386.

I. Koszalka, A. Bracco, J.C. McWilliams, A. Provenzale, 2009. Dynamics of wind-forced coherent anticyclones in open ocean. *J. Geophysical Res. - Oceans* **114**, C08011.

S. Kropelin et al., 2008. Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years. *Science* **320**, 765.

R. Lefever, O. Lejeune, 1997. On the origin of tiger bush. *Bull. Math. Biol.* **59**, 263–294.

Z. Liu et al., 2007. Simulating the transient evolution and abrupt change of Northern Africa atmosphere–ocean–terrestrial ecosystem in the Holocene. *Quaternary Science Reviews* **26**, 1818.

T.E. Lovejoy, L. Hannah, 2005. *Climate Change and Biodiversity*. Yale University Press, USA.

J. Lovelock, L. Margulis, 1974. Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: The Gaia hypothesis. *Tellus* **26**, 1-10.

L.H. Morgan, 1868. *The American Beaver and His Works*. J.B. Lippincott, Philadelphia.

F.J. Odling-Smee, K.N. Laland, M.W. Feldman, 2003. *Niche Construction: The neglected process in evolution*. Princeton University Press.

C.D. O'Dowd et al., 2004. Biogenically driven organic contribution to marine aerosol. *Nature*, 431, 676-680.

C. Parmesan, 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, **37**, 637-669.

F.I. Pugnaire, M.T. Luque, 2006. Changes of plant interactions along a gradient of environmental stress. Oikos 93, 42-29.

S. Rahmstorf et al., 2007. Recent Climate Observations Compared to Projections. *Science* **316**, 709, DOI: 10.1126/science.1136843.

T. Reichler, J. Kim, 2008. How Well Do Coupled Models Simulate Today's Climate? *Bulletin of the American Meteorological Society*, March 2008, 303-311.

N. Rebora, L. Ferraris, J. von Hardenberg, A. Provenzale, 2006. RainFARM: Rainfall downscaling by a filtered autoregressive model, J. Hydrometeorology, 7, 724-738.

M. Rietkerk, S.C. Dekker, P.C. de Ruiter, J. van de Koppel, J., 2004. Selforganized patchiness and catastrophic shifts in ecosystems. *Science* **305**, 1926-1929.

D. Rosenfeld et al. 2008. Flood or Drought: How Do Aerosols Affect Precipitation? *Science* **321**, 1309.

C. Schär et al., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332-336.

M. Scheffer et al., 2009. Early-warning signals for critical transitions. *Nature* **461**, 53-59.

V. Vernadsky, 1926. *Biosfera*. Leningrad. Ristampa della traduzione inglese in *The Biosphere*. Copernicus-Springer, New York.

J. von Hardenberg, E. Meron, M. Shachak, Y. Zarmi, Y., 2001. Diversity of vegetation patterns and desertification. *Phys. Rev. Lett*. **87**, 198101.

G.-R. Walther et al., 2002. Ecological responses to recent climate change. Nature, **416**, 389-395.

A.J. Watson, J.E. Lovelock, 1983. Biological homeostasis of the global environment - The parable of Daisyworld. *Tellus B* **35**, 284-289.

A.J. Wood et al. 2008. Daisyworld: A review. *Rev. Geophys*. **46**, RG1001.

J.P. Wright, C.G. Jones, A.S. Flecker, 2002. An ecosystem engineer, the beaver, increases species richness at the landscape scale. *Oecologia* **132**, 96-101.

# AEROSOL ATMOSFERICO E CLIMA

Sandro FUZZI
*CNR-ISAC*

L'aerosol atmosferico è la popolazione di particelle solide e/o liquide sospese in aria in un intervallo dimensionale va da 0.003 a circa 20 micrometri (μm). La definizione di questo intervallo dimensionale non ha basi fisiche ma è semplicemente operativa: 3 nanometri (nm) è infatti la dimensione minima che può essere rilevata con le tecniche oggi disponibili. D'altra parte, le particelle di dimensioni superiori ad una ventina di μm vengono rimosse dall'atmosfera per effetto della sedimentazione subito dopo essere state emesse.

Per l'aerosol atmosferico, possiamo definire varie distribuzioni dimensionali (V. Fig. 1), la distribuzione di numero che possiamo vedere ha il suo massimo nell'intervallo ultrafine cioè sull'ordine delle poche decine di nm, la distribuzione di superficie, che è importante per quanto riguarda l'interazione dell'aerosol con la radiazione che ha il massimo intorno ai 100 nm e la distribuzione di volume, quindi anche di massa, che invece ha tipicamente un andamento bimodale con un primo massimo nell'intervallo da 100 nm a 1 μm ed un secondo attorno a 5-10 μm.

Gli effetti principali dell'aerosol atmosferico riguardano la salute, la visibilità, il clima ed il ciclo idrologico. Non entrerò nelle prime due problematiche che non attengono all'oggetto del Convegno e mi limiterò a discutere gli effetti su clima e ciclo idrologico.

Le sorgenti di aerosol, antropiche e naturali, sono le più varie, ed in modo molto semplificato ho riassunto nella Fig. 2 le emissioni a livello globale di aerosol sub-micronico (anche definito aerosol fine).

Le prime tre sorgenti sono di tipo antropico, vi è poi l'emissione di aerosol biogenico da parte della vegetazione e del plancton marino, e le sorgenti naturali: lo spray marino e la polvere desertica.

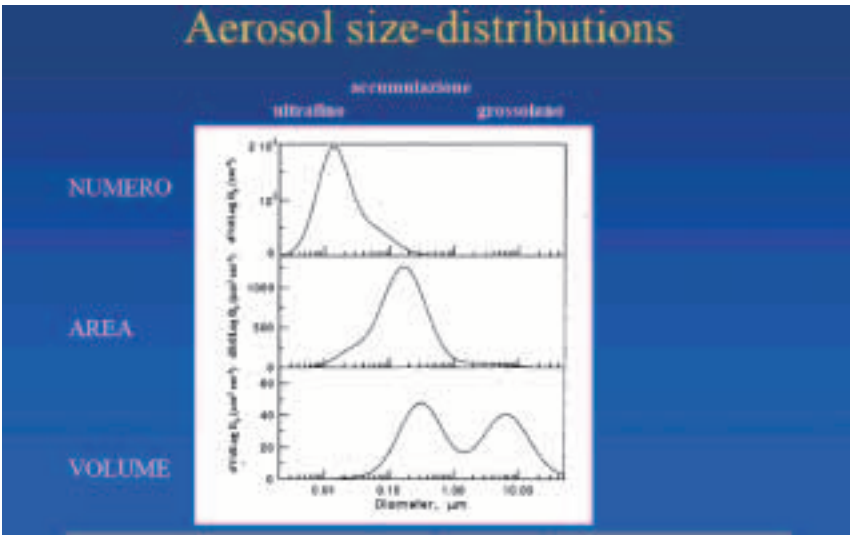



Figura 1

## Emissioni globali di aerosol sub-micronico

| Sorgente | Emissione (Mt /anno) |
|---|---|
| [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |
| Biogenico (vegetazione, plancton marino, ...) | 120 |
| Sale marino | 180 |
| Polvere desertica | 165 |

Figura 2

Quello che possiamo vedere nella parte sinistra della Fig. 3 è un compendio di misure sia dal suolo che dallo spazio della concentrazione colonnare media annuale a livello globale dell'aerosol, AOD (*aerosol optical depth*).

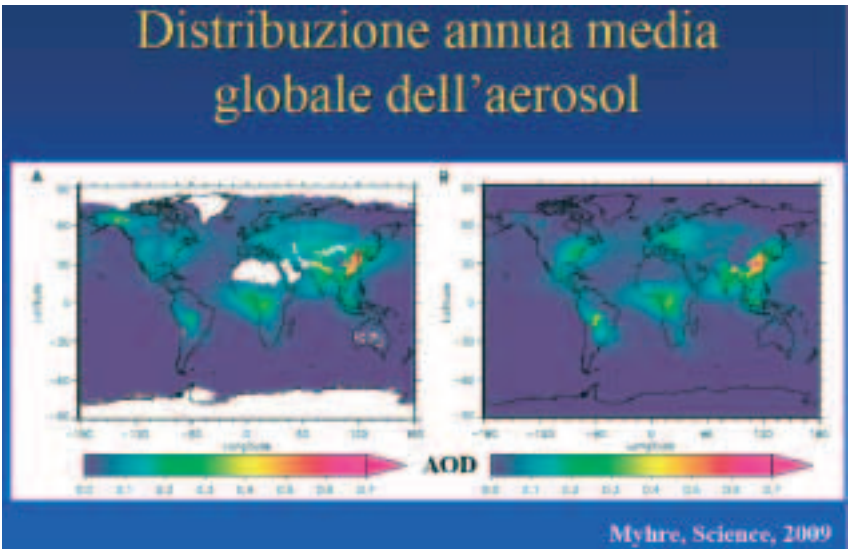



Figura 3

Nella parte destra della Fig. 3 possiamo invece vedere la simulazione tramite un modello globale dello stesso parametro e questo mostra come le simulazioni con i modelli globali oggi in uso riproducano i dati sperimentali con soddisfacente approssimazione.

La distribuzione spaziale dell'aerosol a livello globale non è costante nel tempo e, come si vede dalla Fig. 4, vi sono grosse differenze lungo l'arco dell'anno. Nel mese di febbraio, ad esempio, è massimo il contribuito delle sabbie sahariane che dall'Africa vengono portate sull'Oceano Atlantico; nel mese di settembre invece vi è il massimo della produzione di aerosol da combustione di biomasse sia nell'Africa sub-sahariana che nel bacino amazzonico.

Nella Fig. 5 possiamo invece vedere l'intervallo di concentrazione sia di numero che di massa in diversi sistemi di aerosol, dal pennacchio industriale nel quale si trovano fino a 10 milioni di particelle per

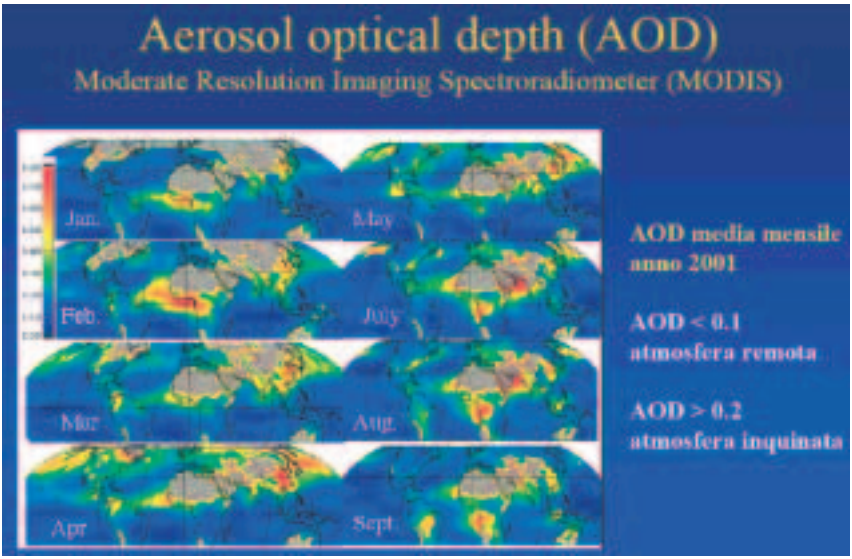



Figura 4

Figura 5

$cm^3$ di aria, al Plateau antartico, il luogo più remoto della terra, dove si contano solo 50 particelle per $cm^3$ di aria. Nell'ultima colonna della figura si può invece vedere la concentrazione di massa dell'aerosol che va da alcune migliaia di $\mu g\ m^{-3}$ fino a 1 $\mu g\ m^{-3}$.

Un altro concetto importante è il tempo di residenza dell'aerosol in atmosfera (V. Fig. 6) in funzione della dimensione.

Figura 6

Dalla figura possiamo vedere che le particelle più piccole (quelle con diametro inferiore a 0.1 μm) hanno un tempo di permanenza in atmosfera di un giorno o meno, in quanto coagulano rapidamente per diffusione browniana. Per converso, le particelle molto grosse, con diametro superiore a 3-5 μm, hanno una velocità notevole di sedimentazione e quindi anche queste hanno un tempo di permanenza in atmosfera molto basso. Vi è, quindi, il cosiddetto intervallo di accumulazione che grossolanamente comprende le particelle nell'intervallo 100 nm - 1 μm di diametro che è il più importante per i processi atmosferici, in quanto le particelle di queste dimensioni sono quelle che

hanno la maggiore persistenza, rimangono in atmosfera per 7-10 giorni e possono essere trasportate anche a migliaia di chilometri rispetto alla sorgente che le ha emesse. Gli aerosol in questo intervallo dimensionale sono anche importanti perché interagiscono con la radiazione solare, avendo dimensioni comparabili alla lunghezza d'onda della radiazione visibile, e sono anche i più efficienti nuclei di condensazione per la formazione delle nubi.

Gli effetti sul clima degli aerosol avvengono secondo due meccanismi principali:

- meccanismo diretto: gli aerosol riflettono verso lo spazio la radiazione solare incidente, diminuendo la quantità di energia che raggiunge la Terra;
- meccanismo indiretto: dovuto al fatto che gli aerosol fungono da nuclei di condensazione per la formazione di nubi che, a loro volta, riflettono nello spazio la radiazione solare verso lo spazio;

L'aerosol quindi ha un effetto globale di raffreddamento sul clima. La Fig. 7, estratta dall'ultimo rapporto dell'IPCC (*Intergovernmental Panel for Climate Change*), riporta la migliore valutazione disponibile ad oggi sugli effetti diretto ed indiretto dell'aerosol di origine antropica sul bilancio radiativo del pianeta.

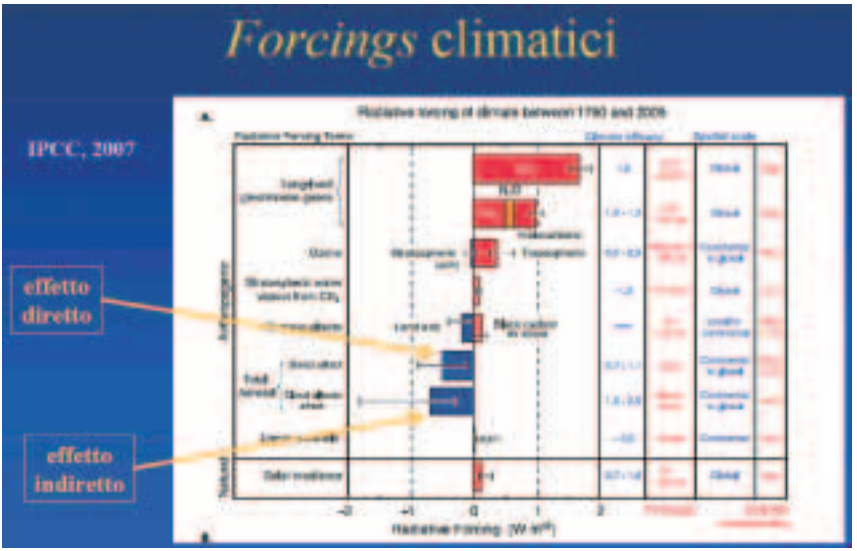



Figura 7

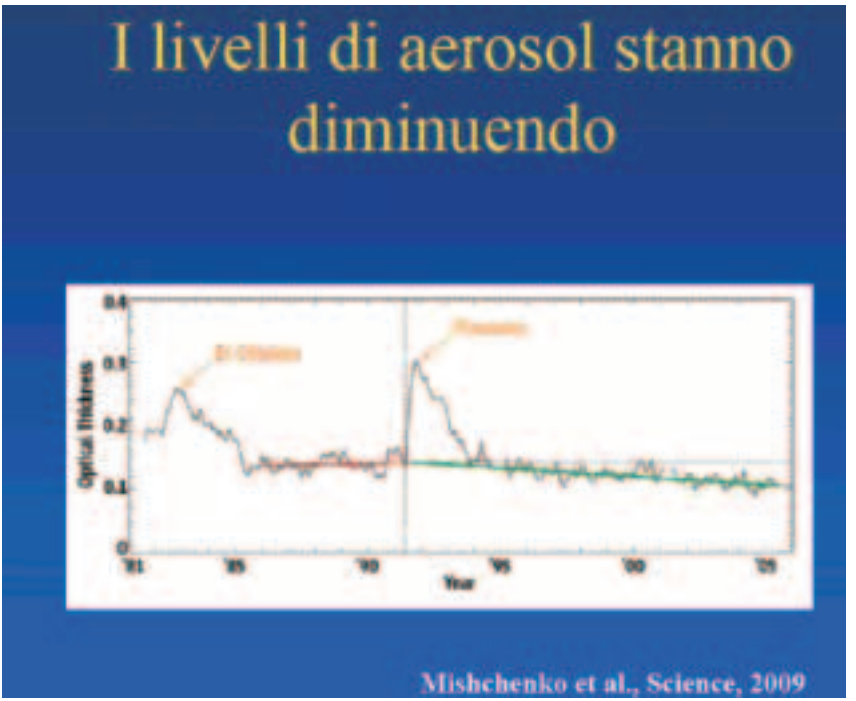



Figura 8

Possiamo vedere che l'incertezza sui valori riportati è molto elevata in quanto le conoscenze di base sull'aerosol sono ancora limitate; nel caso dell'effetto indiretto l'incertezza è addirittura molto maggiore del valore medio.

L'aerosol atmosferico ha quindi un effetto globale di raffreddamento sul clima terrestre che riduce il riscaldamento causato dai gas ad effetto serra. A questo proposito vi è però un aspetto da considerare: i livelli di aerosol in atmosfera stanno diminuendo, essenzialmente a partire dagli inizi degli anni '90. La Fig. 8 riguarda un interessante lavoro che è stato pubblicato su *Science* da un gruppo di ricerca della NASA dove possiamo chiaramente vedere il trend negativo.

Questo andamento si ricollega al fatto che è ormai riconosciuto ed appurato l'effetto dannoso degli aerosol sulla salute umana, quindi da diversi anni nei paesi più sviluppati, ma anche recentemente nei paesi

in via di sviluppo (Cina e India) sono state attuate politiche molto efficaci per la riduzione dell'aerosol, proprio perché il suo effetto sulla salute umana è una tematica molto importante che i cittadini percepiscono molto chiaramente.

A quali effetti può portare la diminuzione globale della concentrazione di aerosol sul clima? Gli aerosol, come abbiamo visto dalla Fig. 7, ci hanno fornito nell'ultimo secolo una sorta di protezione climatica contrastando il riscaldamento globale, quindi una loro diminuzione implica una necessità di limitazioni ancora maggiori dei gas ad effetto serra che sono i responsabili del riscaldamento. Sull'entità di questa protezione climatica sappiamo ancora molto poco, ricordando le barre di errore nel diagramma di Fig. 7.

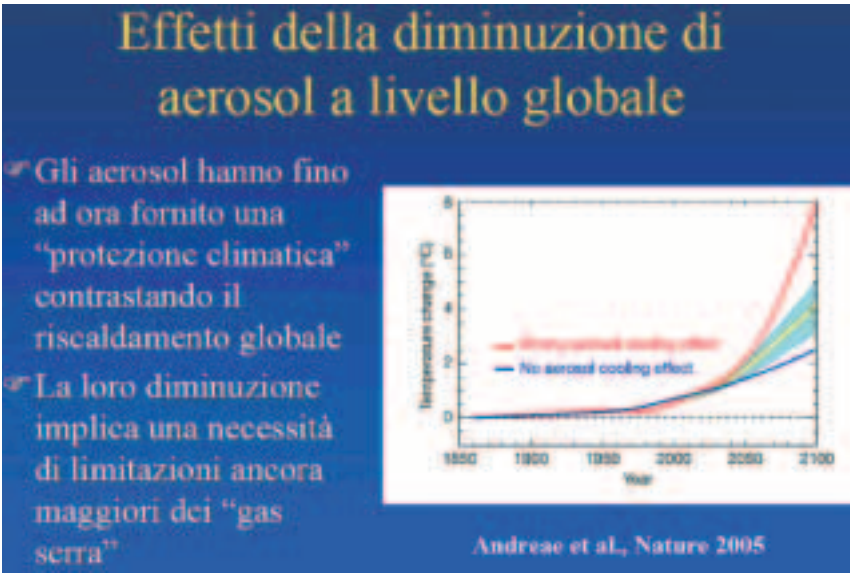



Figura 9

È stato comunque pubblicato su *Nature* nel 2005 un interessante lavoro (V. Fig. 9), che ci mostra l'intervallo di aumento di temperatura che si potrebbe avere in due casi limite: la traccia blu ipotizza che gli aerosol abbiano un effetto di raffreddamento sul clima trascurabile; la traccia rossa assume invece che l'effetto degli aerosol a partire dalla ri-

voluzione industriale sia al limite maggiore della barra di confidenza. La zona azzurra sono i dati che risultano dai vari scenari assunti nel 4° Rapporto IPCC. Comunque, al di là di quelli che sono i valori di temperatura riportati, possiamo chiaramente percepire quale può essere il problema che una diminuzione necessaria ed inevitabile del contenuto di aerosol in atmosfera può portare.

Vi è anche un ulteriore effetto climatico che deriva da un particolare tipo di aerosol: l'aerosol carbonioso sottoprodotto dei processi di combustione (*black carbon, BC*). Il *BC* influenza il bilancio radiativo della terra in molti modi: assorbendo la radiazione solare diretta, riscalda l'atmosfera localmente, ma raffredda la superficie in quanto la quantità di radiazione che arriva sulla superficie è più bassa; in questo modo però si perturba anche il ciclo idrologico riducendo l'evaporazione e la convezione e quindi la formazione di nubi e le precipitazioni. Vi è poi un altro effetto climatico di questo aerosol di colore nero che, depositandosi sui ghiacciai, aumenta l'assorbimento della radiazione solare da parte dei ghiacci stessi facilitandone lo scioglimento. Questo particolare fenomeno è conosciuto con il termine *Atmospheric Brown Clouds*.

Nella Fig. 10 si vede chiaramente una di queste *Brown Clouds* sulla pianura del Gange, dove le masse d'aria contenenti le particelle carbo-

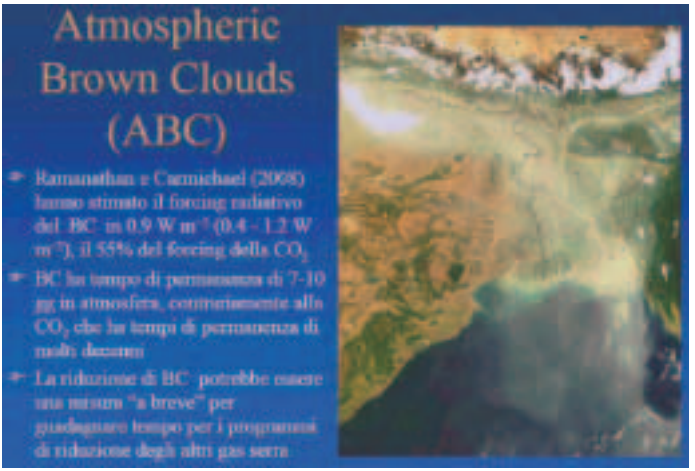



Figura 10

niose assieme ad altri inquinanti si estendono per migliaia di km$^2$ ed hanno uno spessore di alcuni chilometri. Recentemente Ramanathan e Carmichael hanno stimato che il *forcing* radiativo del *BC* stimato a livello globale ammonterebbe a 0.9 W m$^{-2}$, con un intervallo di confidenza da 0.4 a 1.2 W m$^{-2}$, il 55% del *forcing* dovuto alla $CO_2$.

Il *BC* però, contrariamente alla $CO_2$ che ha un tempo di permanenza nell'atmosfera di diversi decenni, rimane in atmosfera, come ogni altro aerosol, non più di 10 giorni (V. Fig. 6). La riduzione di *BC* potrebbe quindi essere una misura "a breve" efficace nel limitare il riscaldamento climatico e potrebbe fornire alla società tempo per implementare i programmi di riduzione degli altri gas serra. Questo approccio sarebbe molto efficace perché se, in via puramente teorica, riducessimo istantaneamente del 100% le emissioni di *BC,* gli effetti si vedrebbero a scadenza di pochi mesi. Questo è quindi un aspetto dal punto di vista delle politiche di mitigazione molto importante su cui già si sta riflettendo a livello politico internazionale.

Nella Fig. 11 possiamo vedere i dati di concentrazione di *BC* che provengono dalla serie che l'Istituto ISAC-CNR sta raccogliendo in Himalaya presso l'Osservatorio Piramide posto a più di 5000 metri grazie al progetto Ev-K2-CNR. Possiamo vedere che dal febbraio

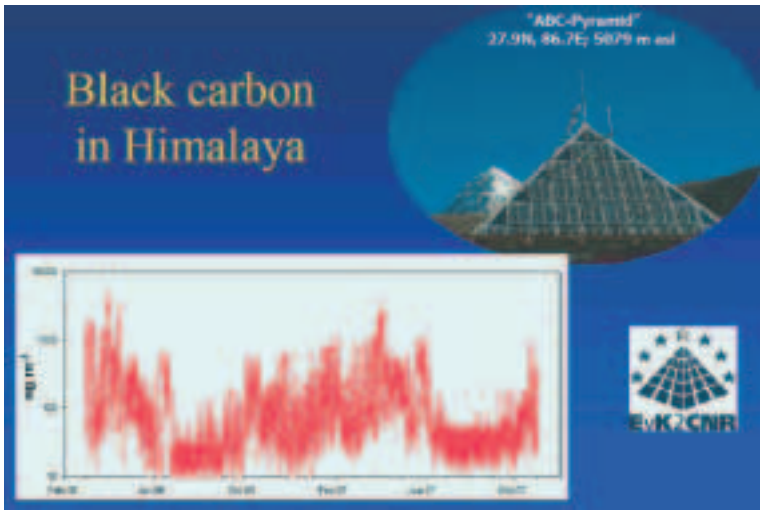



Figura 11

2006 al dicembre 2007 il *trend* del *BC* presente in atmosfera in quella che tutti abbiamo sempre ritenuto una zona incontaminata presenta picchi di concentrazione nella stagione pre-monsonica superiori a quelli che si riscontrano nelle nostre città.

Le elevate concentrazioni di *BC* di origine antropica nei paesi a forte sviluppo industriale influenza anche l'andamento delle precipitazioni (V. Fig. 12) e si sta osservando negli ultimi anni un mutamento della circolazione monsonica sul continente indiano e, nel contempo, uno spostamento del regime delle precipitazioni verso sud in Cina.

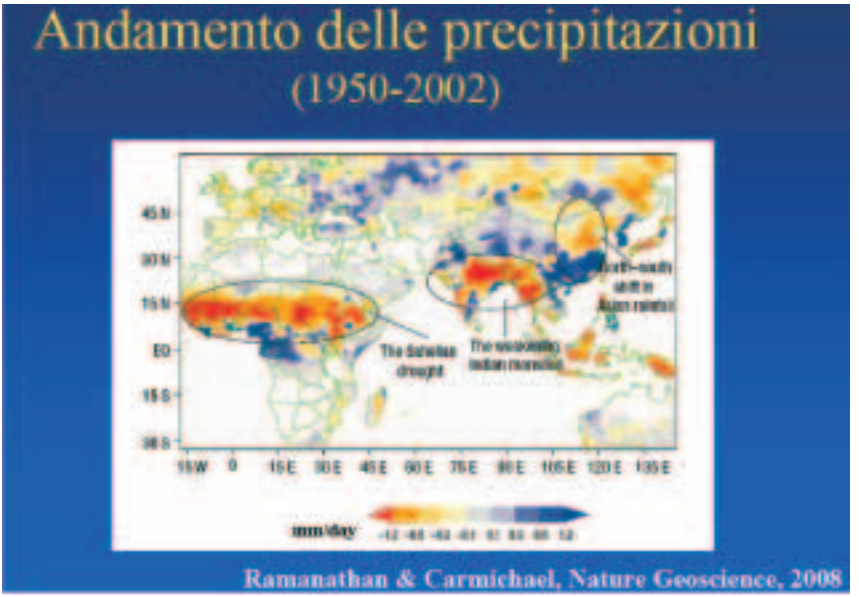



Figura 12

L'influenza dell'aerosol sulle precipitazioni è una problematica scientificamente ancora molto aperta, l'anno scorso un gruppo di ricerca internazionale del quale faccio parte ha presentato su *Science* un meccanismo concettuale per questo fenomeno che è alla base di un programma di ricerca che verrà lanciato a livello internazionale nel prossimo futuro.

Il messaggio finale di questa presentazione è che il ruolo dell'aerosol nel sistema climatico rimane una delle maggiori incertezze nell'ambito delle scienze del clima. La progressiva diminuzione dell'aerosol come effetto di misure di riduzione delle emissioni collegate alla salute pubblica renderà necessarie politiche ancora più stringenti di riduzione dei gas serra. D'altra parte, la riduzione delle sorgenti di aerosol carbonioso può fornire un mezzo di intervento "a breve" per limitare il riscaldamento globale e guadagnare tempo per predisporre opportune politiche di mitigazione ed adattamento. Per quanto riguarda il complesso ruolo dell'aerosol sul ciclo idrologico vi è già in letteratura una grossa mole di informazioni e di conoscenze, ma certamente non siamo ancora in grado di poterlo quantificare compiutamente.

# VARIAZIONI CLIMATICHE: FATTI E MITI
## L'importanza di chiamarsi Ernesto

Alfonso SUTERA
*Università di Roma "La Sapienza"*

Sull'argomento trattato da questo Convegno ci sono i fatti e il mito: i fatti sono quelli che racconterò fra poco, il mito è il problema del cambiamento climatico che è stato illustrato in maniera chiara ed evidente dal Dr. Clini ed è un problema prettamente politico. Il fatto che si parla di "Global Change" è in qualche maniera un qualificare con qualche cosa di scientifico una decisione politica molto importante che coinvolge i modelli di sviluppo della nostra società e a cui si è voluto dare un'aggettivazione che, secondo me, ha poco a che vedere con la fisica del sistema.

Il sottotitolo che ho voluto dare è "L'importanza di essere Ernesto". Questo è il titolo di un capolavoro di Oscar Wilde in cui l'autore gioca sul doppio significato della parola "Earnest" che in inglese può significare "Ernesto", ma anche "onesto". Perché dico che è il sottotitolo? Secondo me in realtà il vero problema è che i cambiamenti climatici si osservano in un insieme di dati, di modellazioni e di ipotesi fisiche che potrebbero essere portati come argomentazioni per confermare un cambiamento climatico indotto dall'uomo, o per dire no non è dovuto all'uomo, o per dire non lo so. Tutti i dati che noi abbiamo a disposizione sono consistenti sia con una affermazione di tipo "si, i cambiamenti climatici sono dovuti all'uomo" oppure "no, i cambiamenti climatici non sono dovuti all'uomo", oppure "non lo so". Ognuna delle tre posizioni è plausibile. Vediamo perché.

Innanzitutto voglio dare qualche definizione di "clima". Etimologicamente la parola clima vuol dire "inclinazione" e si riferisce banalmente al fatto che gli antichi filosofi Greci erano ben coscienti che la Terra fosse rotonda e che quindi i raggi solari formassero un certo angolo rispetto alla normale locale. I Greci si erano perfettamente resi

conto che cambiava l'energia solare ricevuta dal pianeta in funzione della latitudine. Quindi, etimologicamente la parola clima vuol dire "inclinazione". Ricordiamo che Aristotele pensava che il clima della Terra fosse dovuto alle esalazioni della Terra stessa che era un organismo vivente che esalava gas. Fu anche il primo, nel suo trattato sulla meteorologia, a presentare osservazioni miste a speculazioni sull'origine dei fenomeni atmosferici. C'è voluto Galileo, e questa è la ragione per la quale sono grato a Renato di avermi invitato, per cambiare le idee sul sistema Terra, sia dal punto di vista cosmologico, sia dal punto di vista climatologico. Galileo è il primo autore della teoria della circolazione generale e c'è voluto lui per rinnovare la visione aristotelica di questo organismo vivente che produce il clima.

Un'altra definizione di clima che è sul dizionario è la condizione meteorologica media di un posto (precipitazione, temperatura media, ecc.). Dopo di che c'è la definizione che i media propagandano, e questa è l'interazione fra le varie componenti del sistema Terra. Vi ricordo che le informazioni sono scritte da giornalisti che hanno una cultura prevalentemente umanistica, quindi esse riproducono un pò il paradigma aristotelico, cioè descrivono il sistema Terra come un sistema che genera un insieme di complessi meccanismi che poi danno luogo a questa meraviglia del creato che è il clima della Terra e, a quanto pare, quello del '700 viene considerato un particolare clima della natura.

L'ultima definizione è quella che di solito i fisici adoperano. I fisici, ovviamente, si interessano di interazioni fondamentali ed il clima per loro non è altro che una conseguenza di F = Ma. Spesso i fisici (compreso Galileo) si scordano che dovrebbero adoperare la seconda equazione cardinale per un sistema rotante, quindi per loro il clima è l'interazione tra le varie componenti del sistema, mentre per me le forze applicate e le risposte dei parametri macroscopici del pianeta. Galileo insegna che bisogna osservare la natura, leggerla con il linguaggio della matematica e dopo fare delle affermazioni. Quindi la cosa più importante è considerare la risposta del sistema per cercare di capire quali sono le iterazioni fondamentali.

Le risposte del sistema dipendono dalle scale dei tempi che sono molteplici e, purtroppo, le osservazioni strumentali risalgono solo a qualche decina di anni fa o qualche centinaia di anni fa. Precedentemente non vi erano osservazioni strumentali sullo stato del clima e

quindi siamo costretti a ricostruire il clima del passato ricorrendo alle proprietà isotopiche dei gas (come l'ossigeno o il carbonio) che sono contenuti nelle bolle di ghiaccio, oppure nello scudo degli animali planctonici. Il rapporto dell'abbondanza dell'ossigeno 18 ($^{18}O$) rispetto all'ossigeno 16 ($^{16}O$), che indicheremo con $R$, è un buon indicatore climatico anche su scale dei tempi sufficientemente lunghe per cui noi possiamo stabilire, rispetto all'ipotesi di stazionarietà, se il clima è effettivamente cambiato oppure no. La misura del rapporto isotopico è espressa di solito come deviazione, $\delta(R)$, dal rapporto standard (V. Fig. 1). Durante i periodi glaciali parte dell'acqua veniva immobilizzata nei ghiacciai, dove la concentrazione di $^{16}O$ aumentava rispetto a quella di $^{18}O$, mostrando una deviazione isotopica negativa.

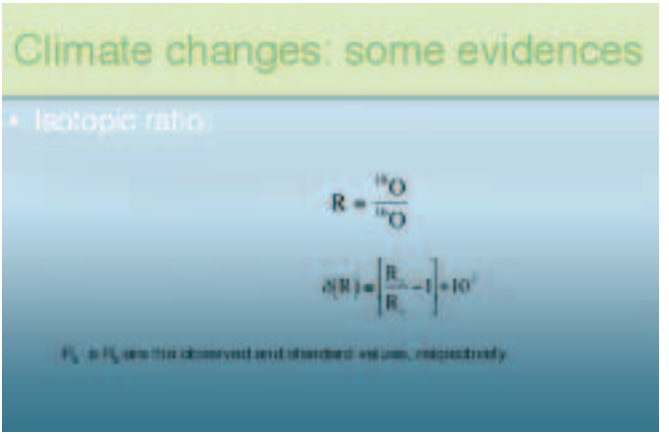



Figura 1

Vediamo se il clima è cambiato. Nella Fig. 2 è riportato sull'asse verticale il rapporto isotopico $\delta(R)$ e sull'asse orizzontale la profondità di una carota che è situata nell'emisfero nord in Groenlandia. Si può notare che c'è un trend negativo e che il valore del rapporto $\delta(R)$ di circa –35 indica il valore standard che viene misurato oggi (in realtà nel 1950). Quando $\delta(R)$ ha valori più bassi significa che il rapporto $^{18}O/^{16}O$ è diminuito e a questo si può associare una variazione (diminuzione) di temperatura tramite relazioni lineari che non sto qui a spiegare.

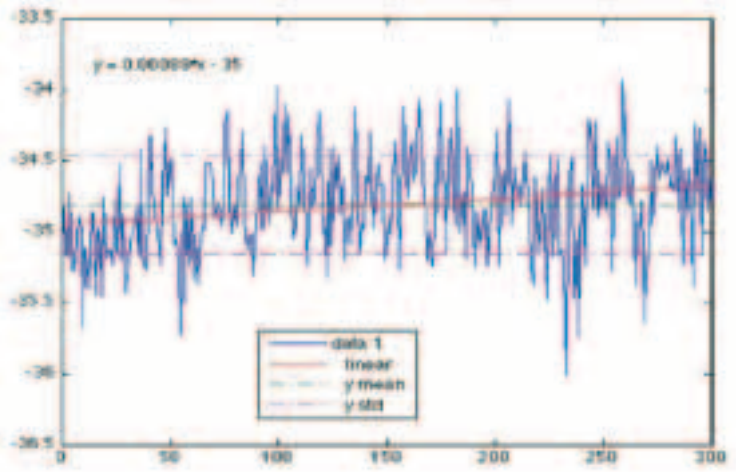



Figura 2

Il grafico mostra che la variabilità nel rapporto $\delta(R)$ è dell'ordine di 1 unità e che c'è un trend sovrapposto a delle fluttuazioni. Sono riportate anche le deviazioni standard. Quindi, guardando il grafico, un fisico direbbe che questo segnale indica un processo stocastico con pochissima variabilità che si potrebbe approssimare con un sistema all'equilibrio più delle piccole perturbazioni stocastiche che determinano quella variabilità osservata, rendendo il processo molto interessante.

Pertanto guardando il grafico in Fig. 2 potremmo dire che il clima non è cambiato. Tuttavia se guardiamo la Fig. 3, ovvero lo stesso grafico di prima solo che invece di considerare profondità fino a 300 metri ci estendiamo fino a circa 800 metri, si nota che il rapporto isotopico $\delta(R)$ a circa 500 metri di profondità ha un balzo enorme che molto richiama le teorie di equilibrio multiplo che Provenzale ha supportato sulla questione della desertificazione.

Questo forte salto fa si che possiamo concludere che il clima non è stabile, ma varia nel tempo anche su scale di tempo molto brevi: questo è il segnale climatico veramente importante. Qualcuno si è divertito a trasformare quelle profondità in tempo fornendoci indicazioni sulle scale temporali coinvolte (V. Fig. 4).

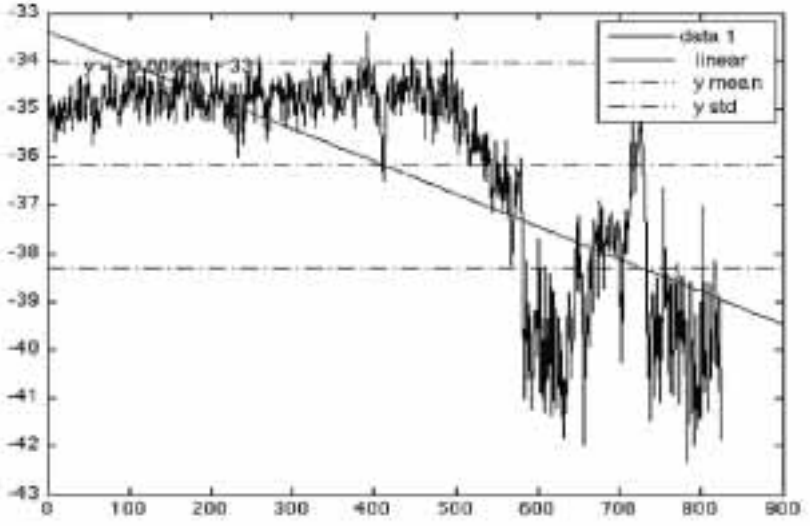



Figura 3

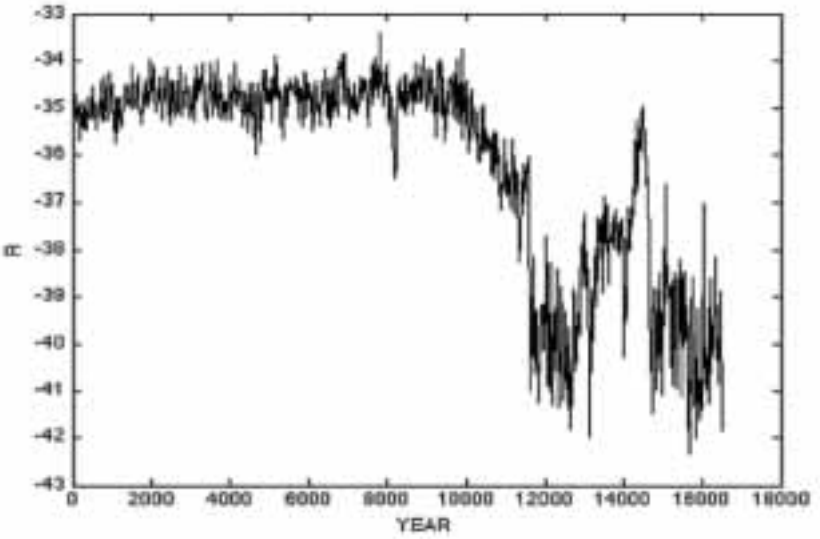



Figura 4

Dalla Fig. 4 possiamo vedere che circa 10 mila anni fa il clima della Terra era in uno stato glaciale, poi in uno stato interglaciale. Durante il periodo glaciale ci sono degli episodi di deglaciazione profonde che corrispondono a periodi di grande fluttuazione. Il clima quindi è qualcosa che cambia. Sfortunatamente la variabilità con cui cambia il clima negli ultimi cento anni è molto piccola rispetto a quella che è sui cicli di Milankovitch. Io questo lo considero un bel problema di fisica perché c'è una grossa variabilità molto maggiore delle deviazioni standard e la scala dei tempi su cui avviene la brusca variazione è molto breve. C'è qualcuno che sostiene che questo salto può essere avvenuto in meno di 100 anni, cioè a dire di una durata media della vita di una generazione. Ovviamente questa è un'ipotesi, poiché nessuno è in grado di risolvere al meglio dei 40 anni i record storici.

Se invece andiamo sui milioni di anni (V. Fig. 5), vediamo che queste grosse fluttuazioni si riducono notevolmente e c'è un trend che, se interpretato in termini di temperatura, indica una diminuzione della temperatura globale nei primi tre milioni di anni.

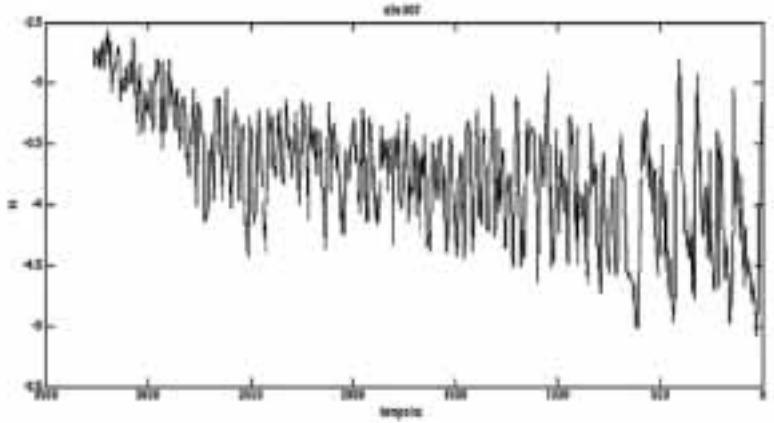


Figura 5

Poi c'è stato questo salto che ha dato luogo alle ere glaciali, dopodiché arriviamo ai giorni nostri. La $CO_2$ in tutta questa epoca è rimasta pressoché costante (cioè 180–300 ppm), assunto che la $CO_2$ non

sia un gas che reagisce con l'atmosfera. Allora, nonostante la $CO_2$ in tutto questo periodo sia rimasta più o meno costante la variabilità climatica è stata notevolmente alta, tanto alta che abbiamo avuto periodi di ere glaciali, assenza di ere glaciali e un trend verso stati di temperature basse.

La prossima figura ci mostra i cicli di Milankovitch (V. Fig. 6) che sono questi 7 cicli che terminano sostanzialmente 700mila anni fa per iniziare un'epoca non Milancovic cioè una epoca in cui la risposta del sistema sembra più legata all'inclinazione dell'asse terrestre che all'eccentricità orbitale.

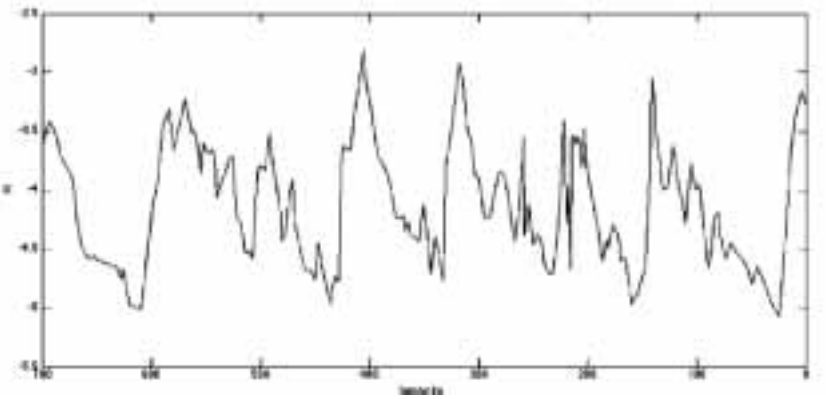


Figura 6

Ora arriviamo ai giorni nostri. Quello illustrato in Fig. 7 è un dato HadCRU ed è un grafico che ha fatto il giro del mondo e viene spesso offerto dalla stampa a tutti i cittadini. Sull'asse orizzontale c'è il tempo (0 è il Gennaio 1850 e la fine il 2000), su quello verticale l'anomalia di temperatura.

Innanzitutto contesto la maniera con cui questo grafico viene presentato: se questa è un'anomalia, essa dovrebbe mediare a zero, mentre non è così. Quindi non è un'anomalia di temperatura, in realtà è la deviazione rispetto alla media climatica del periodo 1969–1990. Presentare i dati in questa maniera sembrerebbe innocuo, ma se poi si usano questi dati per fare l'analisi delle componenti principali posso-

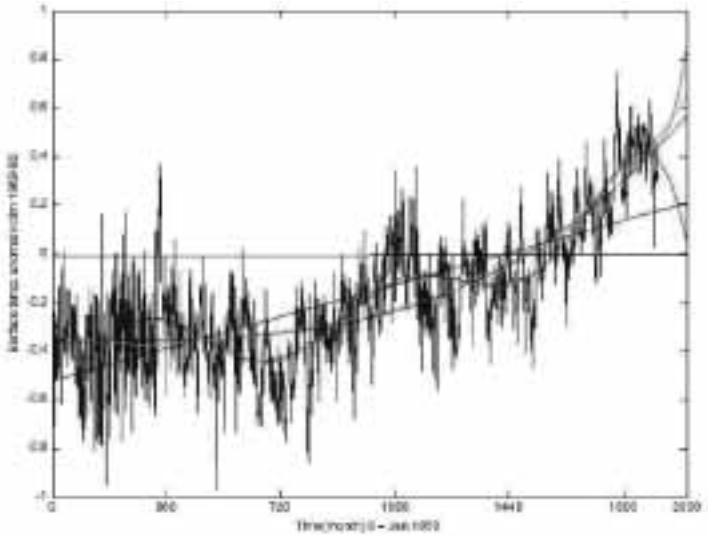


Figura 7

no accadere cose incredibili, tipo per esempio il cosiddetto "hockey stick" presentato in questo quaderno e che è stato fortemente contestato, ma purtroppo in questo quaderno le contestazioni sono assenti.

La cosa che voglio far notare è che c'è un trend lineare ma il "best fit" di questo grafico in realtà è un polinomio che decresce nella parte finale; esso è un "best fit" matematico (statistico), quindi è "bugia", così come è "bugia" il trend lineare. Se si interpreta questo segnale come un forte segnale climatico negli ultimi 100 anni io sono un po' imbarazzato perché il trend è al di sotto della confidenza statistica, la varianza di questo processo è dell'ordine di qualche decimo di grado e pure il trend è dell'ordine di qualche decimo di grado. Quindi non so se definire questo un problema di fisica, mentre per la glaciazione era ovvio.

Dovendo studiare questo problema, devo capirne le cause essendo io un fisico. La causa più ovvia è costituita dalla quantità di radiazione che la Terra emette verso lo spazio esterno al variare dei parametri dei gas costitutivi dell'atmosfera che sono sensibili alla radiazione terrestre. Ora vi presento dei calcoli fatti con il modello Modtran (V. Fig. 8).

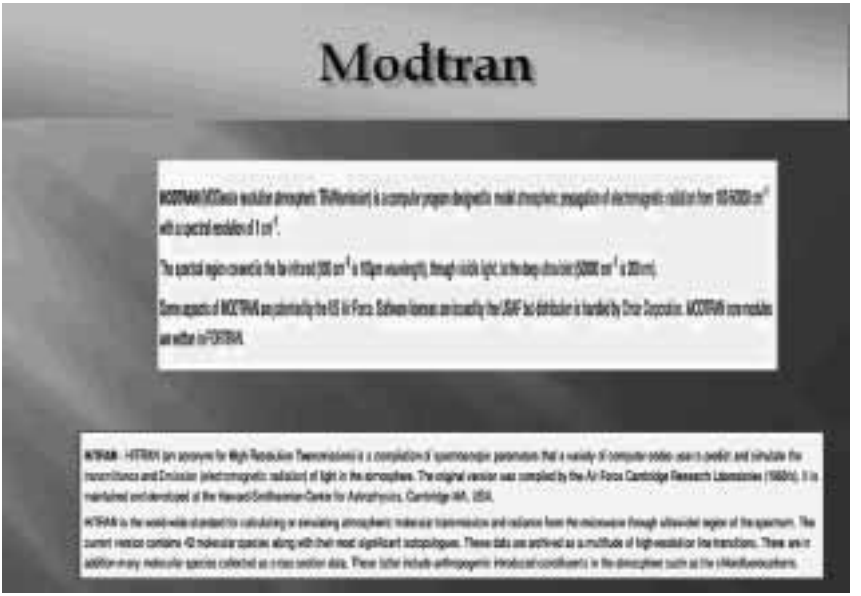



Figura 8

I grafici in Fig. 9 si riferiscono alla radiazione terrestre emessa in funzione del numero d'onda per un'atmosfera tropicale al variare della quantità di $CO_2$ presente in atmosfera. Nel primo grafico la quantità di $CO_2$ è zero, ovvero è come se avessimo rimosso tutta la $CO_2$ in atmosfera.

Nel secondo grafico la quantità di $CO_2$ è pari a 300 ppm che è più o meno la media degli ultimi cento anni, mentre nel terzo grafico il contenuto è raddoppiato (600 ppm). Si nota chiaramente l'effetto della $CO_2$ che determina un decremento della radiazione uscente verso lo spazio esterno (quindi un riscaldamento); c'è però un limite che corrisponde ad una temperatura di circa 225K. Questo limite esiste perché la $CO_2$ assorbe a 15μm.

La cosa curiosa è che la differenza fra il secondo e il terzo grafico è praticamente irrilevante nella regione di assorbimento della $CO_2$, cioè molta dell'energia passando da 300 ppm a 600 ppm in realtà è andata a finire nella regione della finestra atmosferica. Ora invece di guardare questi bellissimi spettri guardiamo i numeri (V. Fig. 10).

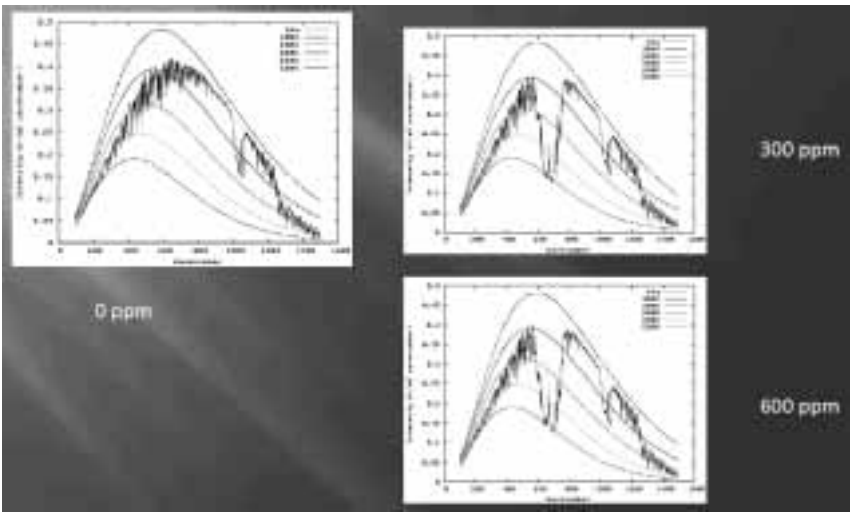



Figura 9

| $CO_2$ ppm | $F_o$ W/m² | Diff W/m² |
|---|---|---|
| 0 | 319.65 | 0 |
| 300 | 289.98 | 29.67 |
| 600 | 286.77 | 3.21 |
| 1000 | 284.39 | 2.28 |

Figura 10

Con 0 ppm la quantità di energia uscente è circa 319 Watt/m², questo è un numero sostanzialmente robusto. Quando noi mettiamo 300 ppm di $CO_2$, quello che produciamo è una riduzione dell'energia che rilascia il pianeta, circa 29 Watt/m² in meno. Allora c'è una regola cosiddetta "del pollice" che per "fare" un grado di temperatura ci vogliono 4 Watt/m² che si calcola facilmente dal bilancio energetico. Questo significa che se si passa da 0 a 300 ppm di $CO_2$ si avranno 29

Watt/m$^2$, che diviso 4 Watt/m$^2$ corrispondono a circa 8 gradi di riscaldamento in superficie. Se si passa da 300 ppm a 600 ppm, lasciando tutto il resto invariato, i 29 Watt/m$^2$ diventano 3.21 Watt/m$^2$ (questo è un numero confermato dall'IPCC), e corrisponde a meno di 1 grado di variazione di temperatura superficiale. Questo semplice calcolo ci fornisce un ordine di grandezza dell'effetto dovuto solamente al raddoppio della $CO_2$. Se si passa invece da 600 ppm a 1000 ppm la differenza di energia rilasciata dal pianeta è di 2.28 Watt/m$^2$. È chiaro guardando questi numeri che la quantità di radiazione intrappolata dovuta alla $CO_2$ non è lineare con la concentrazione. Quindi gli errori che noi faremo saranno tutti esponenziali. Allora mi chiedo, come Clini ha chiaramente sottolineato, dobbiamo mantenere la temperatura della Terra al di sotto di 2 gradi? Questa domanda viene rivolta alla scienza e la scienza può dire se la temperatura può aumentare o meno, ma dire 2 gradi esattamente non è scientificamente plausibile; la domanda è quindi rivolta alla comunità sbagliata. È impossibile decidere quale sia il valore di $CO_2$ che fornisce una variazione in temperatura di 2 gradi, anche perché ci sono tutte le complicazioni di cui ha parlato il nostro collega.

Per esempio (V. Fig. 11), fissata la $CO_2$ di oggi e il contenuto di vapor d'acqua l'effetto che si ha in atmosfera dipende molto dal tipo di nube (strato, alto strato, strato cumulo, cirro standard, cirro visibile). Come può vedere in Fig. 11 i valori della radiazione uscente fluttuano

| Cu | 260 W/m$^2$ |
|---|---|
| St | 278 W/m$^2$ |
| St1 | 271 W/m$^2$ |
| StCu | 282 W/m$^2$ |
| Ci | 267 W/m$^2$ |
| Ci(subvisual | 286 W/m$^2$ |
| No clouds | 287 W/m$^2$ |

Figura 11

di una percentuale di Watt/m$^2$ che oscurano qualunque cambiamento che la sola $CO_2$ può dare. Queste quantità, infatti, sulla superficie del pianeta sono altamente variabili, non costanti nel tempo e nello spazio, e quindi quello che mi chiedo è: data questa grande variabilità in termini di energia uscente, come noi possiamo determinare esattamente qual'è la temperatura di equilibrio della Terra se non conosciamo esattamente qual'è la distribuzione di questi diversi tipi di nubi?

Inoltre, se consideriamo due tipi di strati (St e St1) o cambiamo la copertura nuvolosa da 60% a 59%, cioè una variazione di 1% nella copertura nuvolosa, si passa da 278 Watt/m$^2$ a 271 Watt/m$^2$. Sfido chiunque a misurare la copertura nuvolosa con la precisione di 1%!

L'altra cosa è: supponiamo che sia un "forcing" dovuto alle proprietà radiative dell'atmosfera a generare il cambiamento climatico, mi chiedo dove dovrei osservare il fenomeno, in superficie, così come ho fatto vedere nel primo grafico, oppure ad alte quote?

Considerando la soluzione della two-stream approximation (V. Fig. 12) e variando l'altezza di scala dell'assorbitore, si ottiene che il massimo effetto sul profilo di temperatura si ha in quota (V. Fig. 13).

$$T(z) = (I_e(\frac{1}{2} + \frac{3}{4}\,\tau(z))^{\frac{1}{4}}$$

$$\tau(z) = \tau_s\, e^{-\frac{z}{H}}$$

Figura 12

Allora se aumenta la $CO_2$, la $CO_2$ assorbe a 225 K che corrispondono più o meno 300 mb, quindi mi aspetto un riscaldamento più pronunciato a quella quota (in alta troposfera).

Il modello GFDL, infatti, mostra che il massimo del riscaldamento si ottiene esattamente nella regione dell'alta troposfera (V. Fig. 14). Questo è un segnale generato dal modello dove tutte le interazioni che sono state discusse oggi sono state parametrizzate.

Vi illustro ora il risultato di un semplice calcolo fatto utilizzando i dati della rianalisi statunitense NCEP/NCAR che riproducono lo sta-

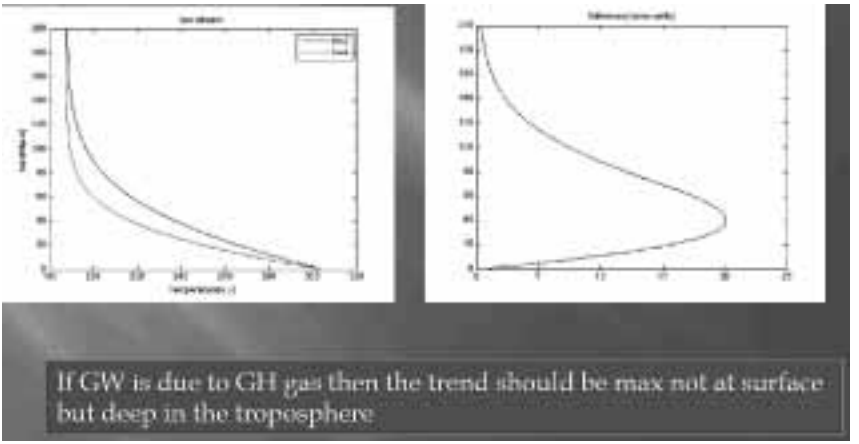



Figura 13

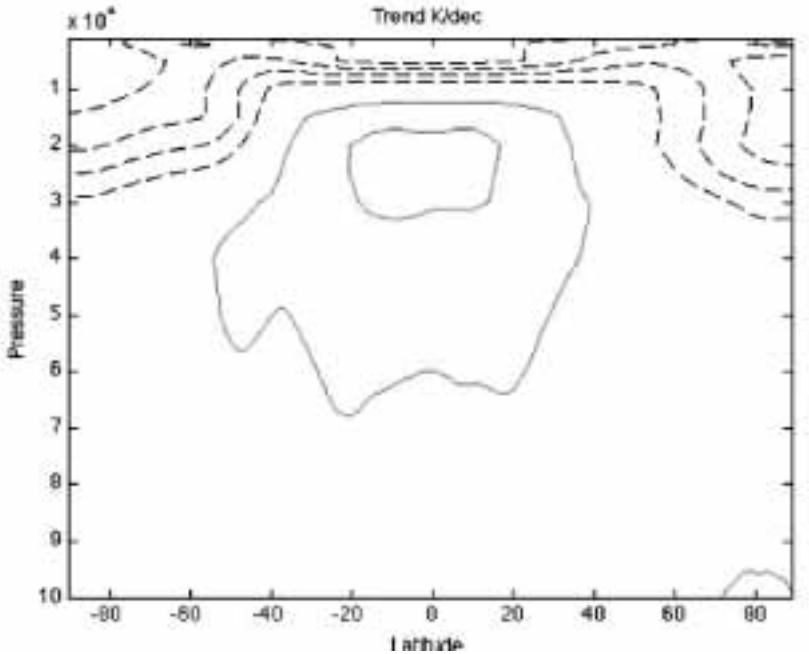



Figura 14

to del sistema dal 1948 ad oggi (V. Fig. 15). Vediamo se il risultato ottenuto è conforme con quello illustrato in Fig. 14.

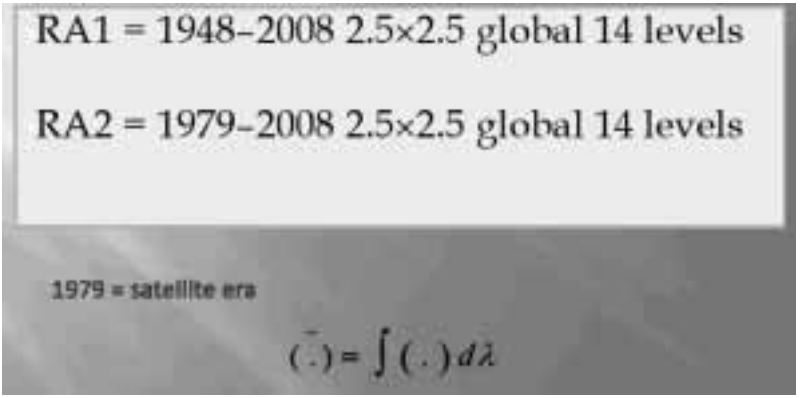



Figura 15

Nella Fig. 16 ho riportato il trend lineare globale (in K/decade) in funzione della latitudine e pressione calcolato per il periodo dal 1948 al 2008. Effettivamente nell'emisfero sud il trend aumenta con la quota in maniera drammatica così come la teoria prevede (un grande successo). All'equatore non è così chiaro, ma potrebbero esserci altri effetti.

La media latitudinale del trend (grafico a destra in Fig. 16) conferma il risultato. Quindi il segnale è chiaro e dovrei concludere che ef-

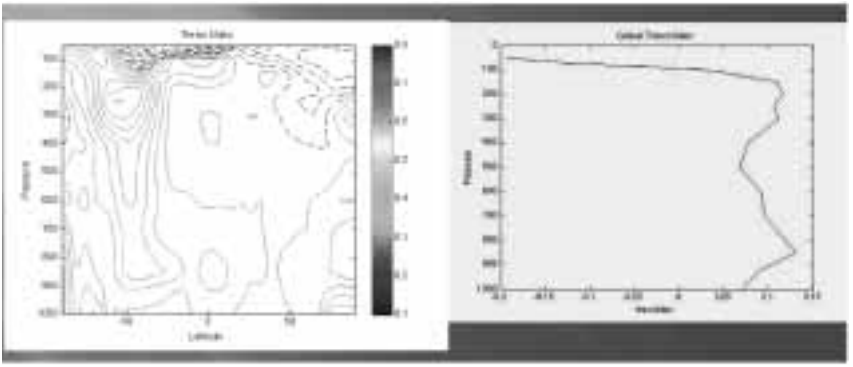


Figura 16

fettivamente la $CO_2$ è la causa del cambiamento climatico osservato negli ultimi 60 anni.

Successivamente ho considerato un punto di griglia della rianalisi a medie latitudini sull'emisfero sud e ho graficato la temperatura in funzione del tempo; il risultato è mostrato in Fig. 17.

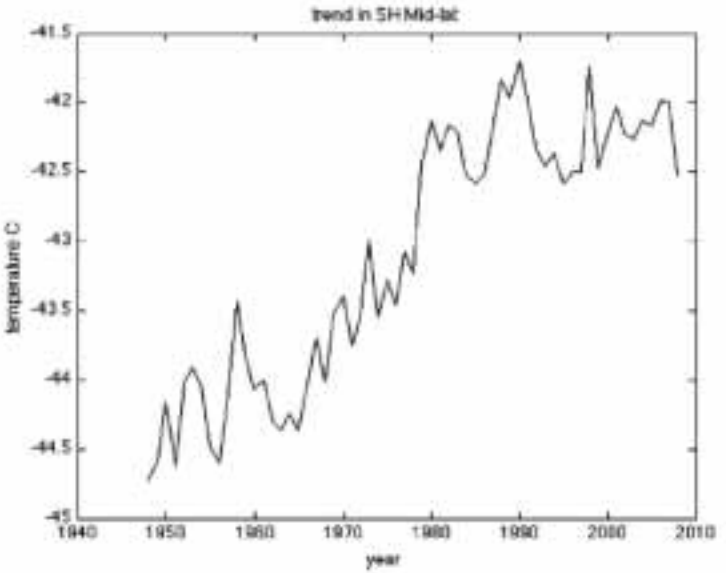



Figura 17

La temperatura aumenta in maniera drammatica fino al 1979-1980, dopodiché si ferma improvvisamente e diventa quasi stazionaria. C'è qualche cosa che non convince, perché il periodo in cui c'è il cambiamento corrisponde agli anni in cui nella catena osservativa delle stazioni meteorologiche mondiali sono entrati i satelliti. Guarda caso il salto climatico avviene proprio quando il modello di rianalisi assimila anche i dati satellitari. In particolare si introducono i satelliti nell'emisfero sud dove le osservazioni erano molto scarse, e improvvisamente si trova che la temperatura non cresce più. Pertanto il forte sospetto è che sia il modello utilizzato per analizzare i dati che abbia alterato quel trend osservato nei primi decenni.

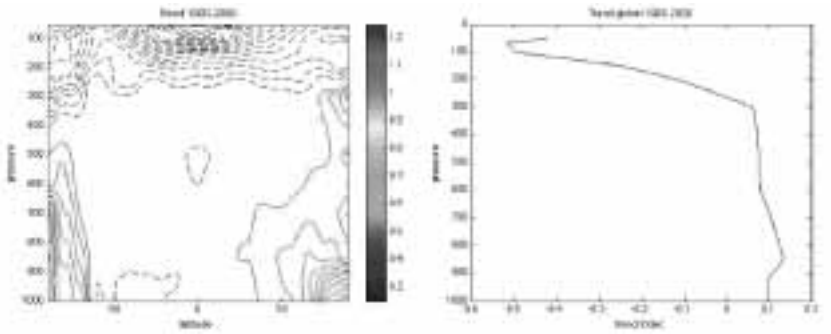


Figura 18

Se infatti consideriamo il trend nel periodo 1980–2009 dopo l'introduzione dei satelliti (V. Fig. 18), quello che troviamo è un trend sulle calotte polari, mentre nelle regioni equatoriali e medie latitudini il trend è trascurabile. Non solo, non c'è più il massimo del trend in quota.

Questo è confermato dal secondo grafico in Fig. 18: la rianalisi cambia completamente natura, il profilo verticale della media zonale del trend è molto diverso da quello mostrato in Fig. 16.

- Camp1: Models are doing well, observations conferm models, GH gases + sulfate + areosols + positive Water vapour feedback + possible delays clearly show that AGW is real and coming soon;
- Camp2: Models are wrong + most of the actions of the above changes are unknown + data do not agree with models;
- Camp3: data show trends. However the lenght of the reliable record is too short;
- Models: look for Feynman definition of Cargo Science.

Figura 19

Concludo ricordando i tre campi/posizioni (V. Fig. 19) di cui avevo parlato all'inizio: il campo 1 dice "si, la $CO_2$ è aumentata e quindi la temperatura è aumentata di conseguenza"; il campo 2 dice "no, la $CO_2$ è aumentata e la temperatura è aumentata ma non è dovuta alla $CO_2$"; il campo 3 dice che non ci ha capito niente e forse non è neppure un problema che dovremmo affrontare in questi tavoli ma bensì in quelli del Dr. Clini. Sulla base delle evidenze osservative e le argomentazioni di cui sopra tutte e tre le posizioni appaiono plausibili.

Ricordo ai fisici la definizione di "Cargo Cult Science" di Feynman, che nel presente contesto appare molto appropriata. La mia opinione personale (V. Fig. 20) è che il Protocollo di Kyoto "non serve a nulla", nel senso che il danno dovuto alla $CO_2$ è già stato fatto e non ritorneremo mai al meraviglioso clima del '700 quando il Tamigi ghiacciava d'inverno e il passaggio a Nord-Ovest era chiuso. Vi ricordo che in quel periodo c'erano 400 milioni di persone e oggi siamo 6 miliardi e mezzo. Costringerci a vivere come vivevano 400 milioni di persone allora mi sembra quasi un delitto contro l'umanità. Altri problemi, invece, sono la politica energetica per il futuro e l'effetto dannoso degli inquinanti atmosferici sulla salute umana.

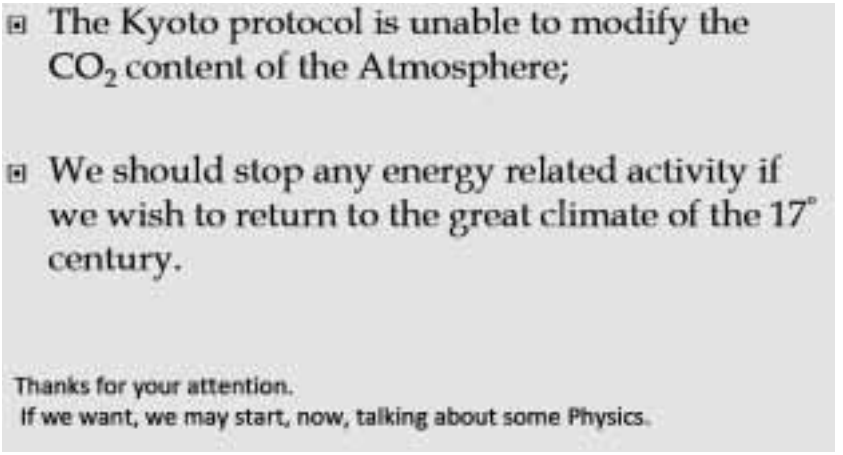



Figura 20

# LA SFIDA DELLA SCIENZA DEL CLIMA

Sergio CASTELLARI
*CMCC (Centro Euro-Mediterraneo per i Cambiamenti Climatici)*
*INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)*

## Il problema della predicibilità climatica

Spesso si fa confusione tra modelli meteorologici e climatici: esistono i *modelli operativi di previsione meteorologica*, i *modelli di previsione stagionale* riguardanti ad esempio fenomeni come El Niño, ed infine i modelli climatici, che vengono denominati *Earth System Models*. Questi sono modelli di circolazione generale però accoppiati a modelli che rappresentano la superficie, il ghiaccio marino, la vegetazione, la chimica atmosferica, il ciclo del carbonio e gli aerosol.

Il sistema climatico terrestre è un sistema complesso ed è composto da varie componenti ed i modelli climatici possono essere considerati come gli esperimenti di laboratorio della scienza climatica. I modelli climatici sono modelli accoppiati: la base è oceano-atmosfera e ghiaccio marino, che sono collegati tra loro tramite i flussi di interazione (v. fig. 1).

Attualmente i modelli globali atmosferici sono arrivati ad una risoluzione orizzontale di circa 40-80 km. La Fig. 2 mostra lo sviluppo negli ultimi 40 anni dei modelli climatici globali: dai primi modelli che simulavano solo i processi atmosferici, ai modelli più recenti (presentati nell'ultimo rapporto IPCC nel 2007) che includono i processi atmosferici, marini (con il ghiaccio marino) e la vegetazione.

Le cosiddette "previsioni climatiche" sono diverse dalle previsioni meteorologiche. Per capire la differenza è necessario affrontare il problema della "*predicibilità*". La predicibilità di un dato fenomeno implica la quantificazione dell'errore della previsione. Quindi è importante comprendere quanto le previsioni meteorologiche e climatiche

**Figura 1: Schema di modello accoppiato oceano-atmosfera**

sono accurate. Una previsione senza una stima della propria affidabilità non è un prodotto scientifico adeguato. La determinazione della "*predicibilità intrinseca*" di un determinato fenomeno è importante: assumendo di voler prevedere lo stato di un sistema in un certo istante T futuro partendo dalle informazioni sul suo stato presente, è necessario stimare se e come (cioè con quanto anticipo e con quale potenziale probabilità di successo) questa previsione sia possibile.

E.N. Lorenz, nel suo lavoro scientifico *"Climate Predictability"* pubblicato nel 1975, ha trattato in maniera molto chiara la differenza tra i *Problemi del Primo Tipo* (i problemi ai valori iniziali) e i *Problemi del Secondo Tipo* (problemi ai "parametri"). Un Problema del Primo Tipo è, dato un sistema ad un certo istante T fissato e una qualche legge deterministica del moto, cercare di effettuare una previsione il più possibile dettagliata dell'evoluzione temporale di questo sistema (esempio: la previsione meteorologica operativa). Un Problema di Secondo Tipo è, dato un sistema soggetto a variazioni di un forzante esterno, cercare di fare una previsione delle variazioni delle proprietà statistiche del sistema al variare dei parametri esterni. Questa previsio-

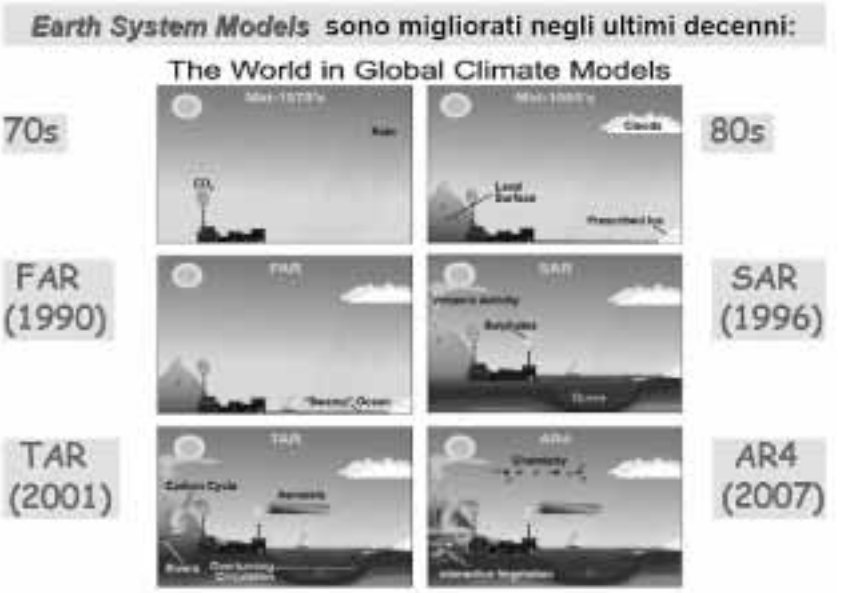



**Figura 2: Evoluzione dei modelli climatici globali.**
(*Fonte: Figure 1.2., Capitolo 1, WGI-IPCC, 2007*)

ne non dipende dai valori iniziali. Uno scenario climatico è un Problema di Secondo Tipo infatti prevede la variazione del clima della Terra in risposta a diversi "*scenari di emissione*" di agenti forzanti (gas-serra, aerosol).

Quindi uno scenario climatico cerca di rispondere alle seguenti domande:

- assumendo che la composizione atmosferica vari secondo un certo scenario di emissione, quale sarà tra un determinato numero di anni la probabilità di avere, ad esempio, una temperatura media più alta di 1°C rispetto a quella attuale?
- come sarà distribuita sulla Terra la variazione di temperatura media prevista?

Come scenari di emissione la comunità scientifica ha usato fino ad oggi quelli rappresentati in un rapporto IPCC "*Special Report on*

*Emission Scenarios" (SRES)* pubblicato nel 2000. La fig. 3 mostra, ad esempio, vari profili di emissioni SRES di $CO_2$ fino all'anno 2100.

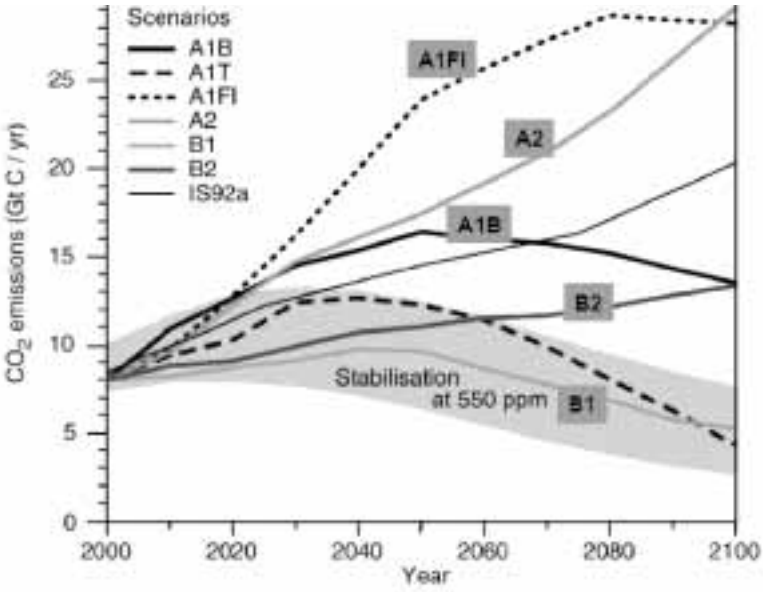



**Figura 3: Scenari SRES di emissione di $CO_2$**
*(Fonte: IPCC Special Report on Emission Scenarios, 2000)*

È possibile fare previsioni climatiche del Primo Tipo, in altre parole, è possibile prevedere come sarà il tempo atmosferico a Roma, ad esempio, il 13 ottobre 2090?

Il "*caos deterministico*" pone un limite teorico alla predicibilità dei sistemi fisici. Questo limite è causato dal fatto che nei sistemi caotici due possibili evoluzioni del sistema, partendo da condizioni iniziali molto vicine una all'altra, divergono e dopo un certo intervallo caratteristico è impossibile risalire alla loro comune origine. Questo è un sistema che dipende in maniera sensibile dalle condizioni iniziali ed è indefinitamente predicibile.

Il sistema climatico della Terra è un sistema fisico complesso con un comportamento non lineare su molte scale temporali e che include

molte possibili instabilità dinamiche. Quindi piccoli errori nella determinazione delle condizioni iniziali del sistema climatico possono causare grandi errori nella previsione della sua evoluzione. La dinamica caotica del clima terrestre e dei moti atmosferici pone un limite teorico alla possibilità di eseguire Previsioni del Primo Tipo (le previsioni meteorologiche operative), quindi è impossibile fare una Previsione di Primo Tipo del tempo atmosferico del 13 ottobre 2090.

La presenza di caos deterministico non pone invece alcun limite teorico alla possibilità di eseguire Previsioni di Secondo Tipo: è più semplice eseguire previsioni climatiche di tipo statistico per i prossimi 100 anni che estendere di qualche giorno il termine delle previsioni meteorologiche.

### Una struttura internazionale di modellistica climatica: il PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison)

Il *PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison)* è stato creato nel 1989 al *Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL)* a Livermore (California, USA) ed è finanziato dal *Climate Change Research Division* del *U.S. Department of Energy's Office of Science, Biological and Environmental Research (BER) program.* Il PCMDI ha come missione lo sviluppo di metodi e strumenti di diagnosi e confronto dei modelli climatici. Questa attività è essenziale al fine di comprendere meglio le incertezze insite nelle simulazioni climatiche e di sviluppare consistenti metodi statistici per il problema di *detection/attribution* del cambiamento climatico. Le attività del PCMDI sono di supporto al lavoro di sintesi sui risultati della modellistica climatica svolto dall'*IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).*

Il PCMDI inoltre rende disponibili le infrastrutture per l'immagazzinamento e la distribuzione dei data set provenienti dalle simulazioni climatiche di tutti i principali centri di modellistica climatica. In particolare il PCMDI comprende vari differenti progetti come:

1. *AMIP (Atmospheric Model Intercomparison Project)*
2. *CMIP (Coupled Model Intercomparison Project)*
3. *SMIP (Seasonal Prediction Model Intercomparison Project)*
4. *APE (Aqua-Planet Experiment Project)*
5. *PMIP (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project)*

I risultati di confronto e valutazione dei modelli climatici nell'ambito del progetto in corso *WCRP-CMIP5* forniranno le basi per i capitoli sulla modellistica climatica globale del prossimo rapporto dell'IPCC in pubblicazione nel 2013.

Come esempio dello stato dell'arte della modellistica climatica globale applicata ad un caso regionale è interessante ricordare il progetto europeo *CIRCE (Climate change and impact research: the Mediterranean Environment)*, coordinato dall'INGV/CMCC, che ha come obiettivo principale la previsione e quantificazione degli impatti fisici del cambiamento climatico sull'area mediterranea. Infatti in questo progetto vengono effettuate simulazioni climatiche mediante un *modello accoppiato atmosfera globale - oceano globale - Mar Mediterraneo* con la componente atmosferica a 80 km di risoluzione orizzontale, la componente oceanica a 2° di risoluzione orizzontale e la componente del Mar Mediterraneo a 7-12 km di risoluzione orizzontale.

# CAMBIAMENTI CLIMATICI: CAUSE NATURALI E CAUSE ANTROPICHE

Franco PRODI
*CNR ISAC*

Vorrei iniziare con una carrellata sul clima della terra, andando a ritroso nel tempo. Mi rendo conto che questa sintesi potrà sembrare troppo semplificata, ma parte da una osservazione molto importante: che la parte recente, l'unica che si basa su misure fisiche, rappresenta solo un battito di ciglia rispetto a tutta la storia del pianeta e del suo clima. Solo in questi ultimi due tre secoli infatti sono stati usati diffusamente gli strumenti inventati da Galileo e da Torricelli. È bene, tra l'altro, ricordare che questi nostri grandi hanno involontariamente posto le basi della la meteorologia, e che in Italia fu inventato il servizio meteorologico (nel Gran Ducato di Toscana, nella seconda metà del seicento) come organizzazione di misure simultanee in diversi luoghi degli stessi parametri meteorologici. Ciò che si sa del periodo che precede è basato su indizi vari, non su misure.

Il periodo strumentale e gli indizi vari ci portano all'andamento della temperatura dell'aria alla superficie in fig. 1, che evidenzia la piccola era glaciale tra il 1500 ed il 1800 ed il periodo caldo medievale. Ma non sono decimi di grado quelli che brandeggiano in ordinata, ma sono gradi interi. La variazioni diventano (fig. 2) molto più ampie quando passiamo ai 10mila anni, con il massimo nell'Olocene. In fig. 3, ottenuta con il carotaggio dei ghiacciai antartici, si mette in evidenza (fig. 4) che vi sono periodi di durata fra i 100 e i 120mila anni e periodi più lunghi di 400mila anni e ciò per milioni di anni.

Così abbiamo visto che il clima del passato ha sperimentato grandi cambiamenti, ma per avere una visione corretta del sistema clima dobbiamo andare alla fisica del problema. Nella sua essenza può essere semplificato come costituito da due protagonisti, la terra ed il sole, una palla ed una lampada. Così sono essenzialmente rappresentati in

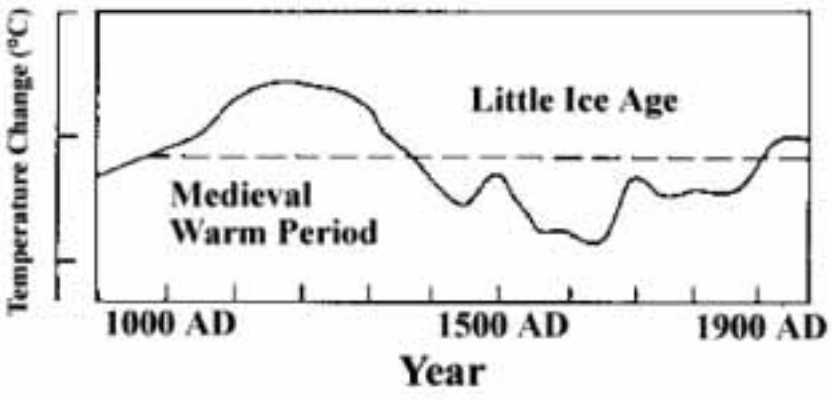



Figura 1

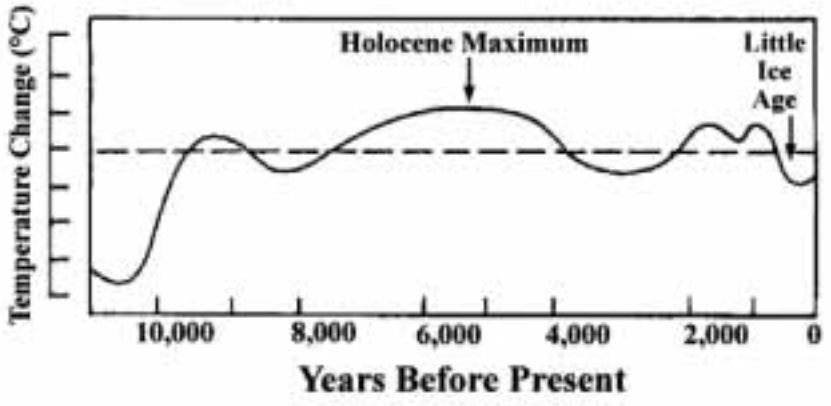



Figura 2

fig. 5. La lampada-sole emette radiazione nel visibile mentre la palla-terra la emette, sempre in tutto lo spazio, sotto forma di radiazioni infrarosse.

Questo scambio sarebbe semplice se la palla non avesse i gas intorno a sé, quell'involucro che chiamiamo atmosfera. La palla ed il suo involucro di gas intercettano la radiazione solare. In fig. 6 sono rappresentate le due curve distinte di emissione, quella del sole e quella della

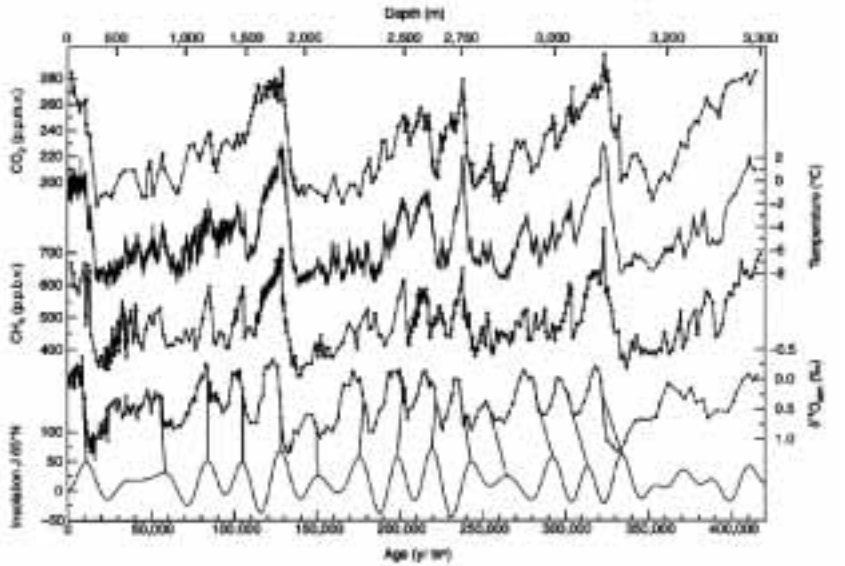



Figura 3

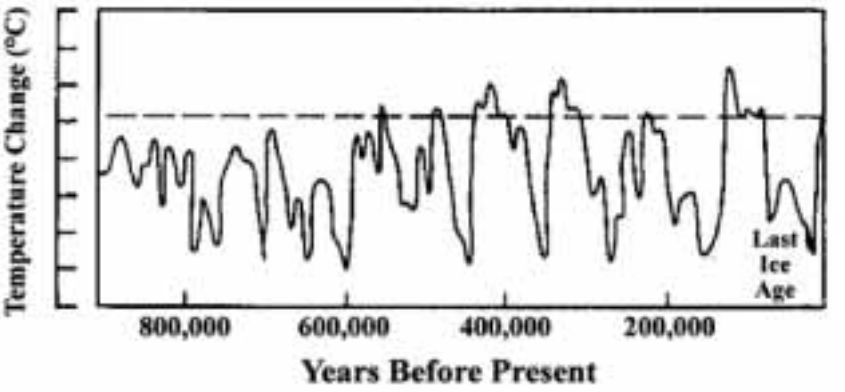



Figura 4

terra. Se non vi fosse l'involucro di gas, basterebbe uguagliare la quantità di radiazione ricevuta dal sole a quella emessa dalla terra per avere

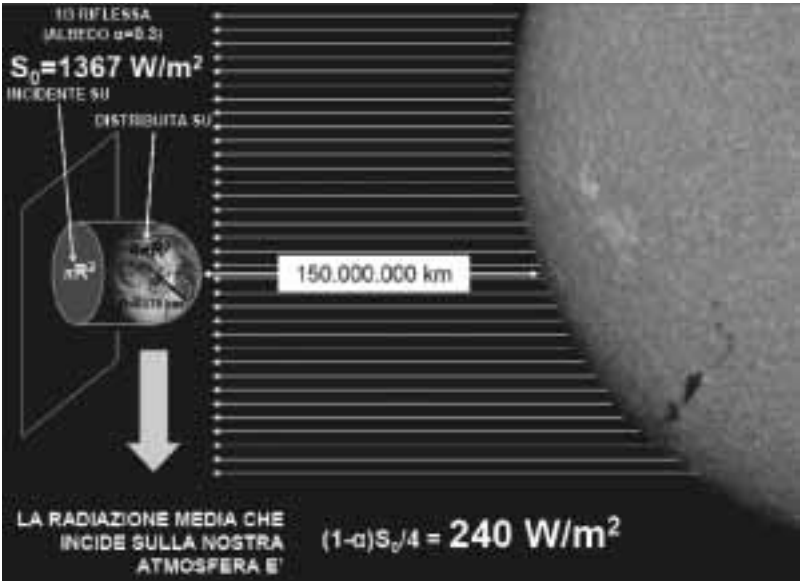



Figura 5

Figura 6

una stima della temperatura della palla. È quanto si fa in fig. 7. Questa stima porta ad una temperatura della palla di -18°C. Per nostra fortuna la temperatura del palla alla superficie non è cosi bassa. La spiegazione ha a che fare con l'involucro di gas che avvolge la palla.

Per rendercene conto dobbiamo guardare attentamente la fig. 8, che mostra come la radiazione solare passa agevolmente attraverso l'atmosfera mentre quella terrestre ha un comportamento più complicato nell'infrarosso. La terra quando emette trova una finestra fra 8 e 12 micron quasi libera verso lo spazio esterno, ma ha dei forti assorbitori altrove.

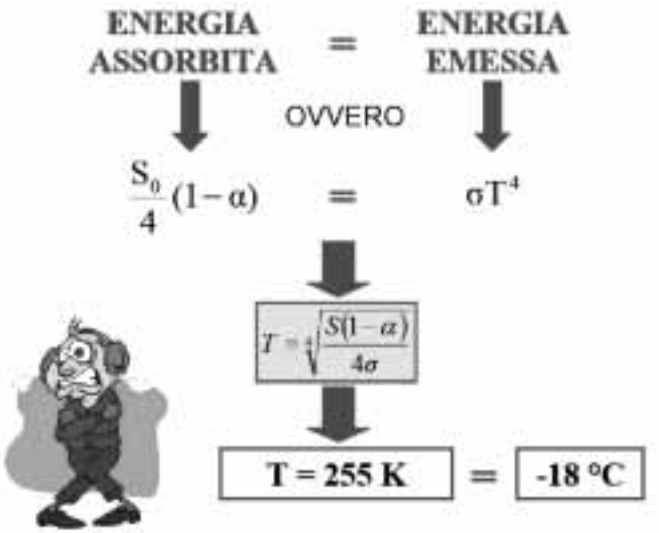



Figura 7

Se teniamo conto poi che anche l'atmosfera ha una sua temperatura di emissione abbiamo una temperatura dell'aria alla superficie del pianeta che è ben maggiore rispetto a quella che abbiamo stimato precedentemente per una terra senza atmosfera, come viene spiegato in fig. 9. Questo scambio fra radiazione solare e terrestre è in sintesi complicato e difficile al tempo stesso: la radiazione solare arriva ad onda corta, quella che viene emessa dalla terra è ad onda lunga. In at-

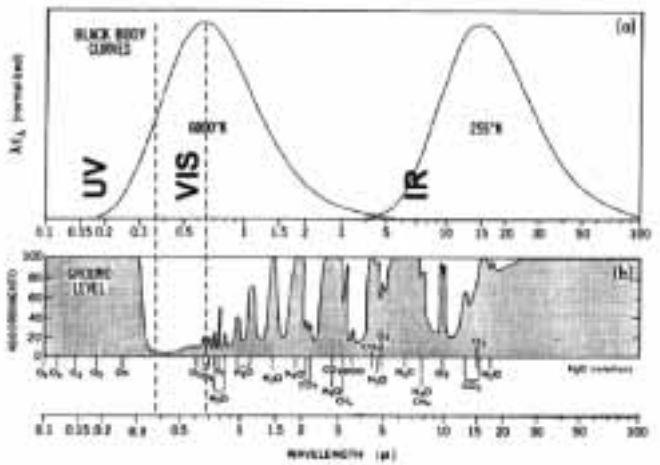



Figura 8

mosfera vi sono particelle di aerosol e nubi. Per arrivare ad una descrizione completa del clima c'è bisogno del contributo di tanti, e nessuno può dirsi veramente climatologo completo in grado di dominare l'intera scienza del clima. Ogni specialista deve dare il proprio contributo. Nel nostro istituto siamo arrivati al clima per il fatto di occuparci di nubi, ed abbiamo visto che le nubi hanno un ruolo cruciale nel sistema climatico. Esse sono prodotte dalla circolazione atmosferica ma hanno un effetto immediato sul bilancio di radiazione. Esse hanno un comportamento un po' bizzarro perché possono avere diversa composizione (fatte di ghiaccio o di acqua) ed estensione, possono collocarsi a diversi livelli (alte, medie, basse, a sviluppo verticale).

Siamo ora in condizione di spiegare il motivo delle variazioni climatiche.

Abbiamo visto che ci sono state delle grandi variazioni nel passato. Tenendo la semplificazione della lampada e della palla sappiamo che può variare la intensità della lampada (e questa è una causa astrofisica) e può variare la distanza fra la lampada e la palla (e questa è detta causa astronomica), in fig. 10. Però il clima può variare anche perché

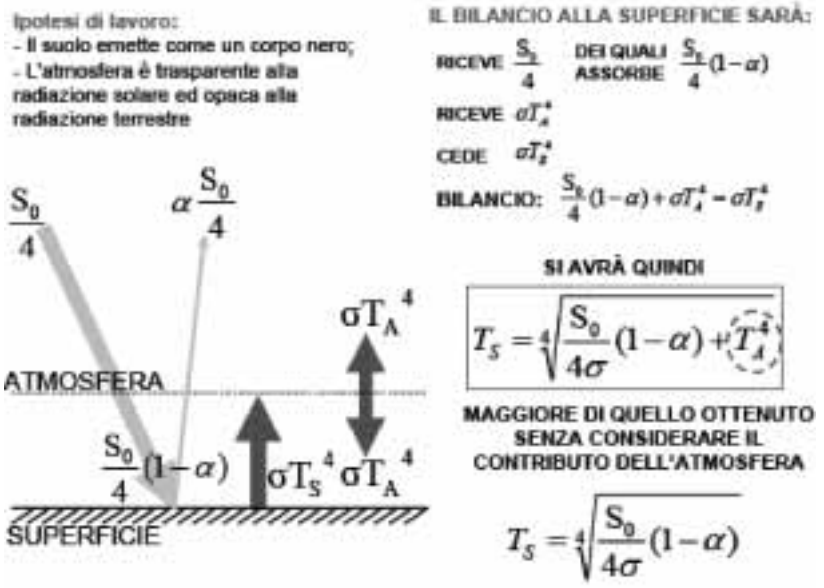



Figura 9

varia la composizione di tutto questo involucro gassoso che sta fra i due soggetti (fig. 11).

La causa astrofisica è individuabile nell'attività solare, mentre la causa astronomica, in base alla teoria di Milankovitch, è individuabile nella variazione dell'angolo che l'asse terrestre fa con il piano dell'eclittica e nella variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre a sua volta causata dall'azione gravitazionale degli altri pianeti (v. fig. 10).

Mentre le cause astrofisiche ed astronomiche sono naturali per definizione, quando entriamo nell'ordine di cause dovute alla variazione dell'involucro gassoso, l'atmosfera, troviamo coesistenti cause naturali ed antropiche, e ciò è espresso appunto in fig. 11. Qui a sinistra abbiamo le cause naturali di cambiamenti di composizione atmosferica nella interazione atmosfera-oceano, atmosfera-biosfera, scambi di vapore acqueo e di $CO_2$ fra atmosfera e oceano e tra biosfera e atmosfera. Vi sono poi le eruzioni vulcaniche, la stessa $CO_2$ emessa dal degassamen-

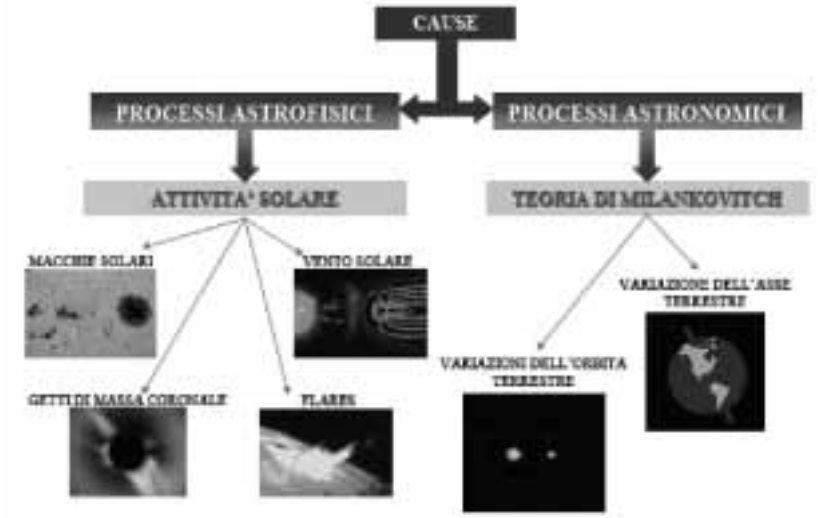



Figura 10

to all'interno della terra (vengono forniti dati molto controversi che si riflettono poi sui bilanci del carbonio e di tutti gli altri comparti). Lo stesso vapor d'acqua è un gas serra e non conosciamo completamente il comportamento del ciclo idrologico. Per ricordare quanto poco conosciamo il ciclo dell'acqua basta dire che se mettiamo fianco a fianco tutti i pluviometri funzionanti della terra vediamo che stanno tutti dentro un campo di calcio, ed il cerchio centrale del campo rappresenta la piccola parte della terra coperta da radar meteorologici.

A sinistra in fig. 11 stanno i processi dovuti all'attività umane che cambiano la composizione dell'atmosfera e quindi il clima.

Si tratta dell'uso dei combustibili fossili, degli incendi degli allevamenti animali per quanto riguarda i gas, di uso dei combustibili fossili e di molte attività produttive per gli aerosol, ed infine del diverso uso del terreno e quindi delle conseguenti variazioni di albedo.

Per la parte antropica in particolare tutti gli aerosol in atmosfera per la caratteristica assorbente o riflettente ed in dipendenza dall'altezza nell'atmosfera alla quale si trovano sono rilevanti per l'effetto di raffreddamento o di riscaldamento.

Tutti i comparti poi, l'atmosfera, l'idrosfera, la criosfera, la biosfera

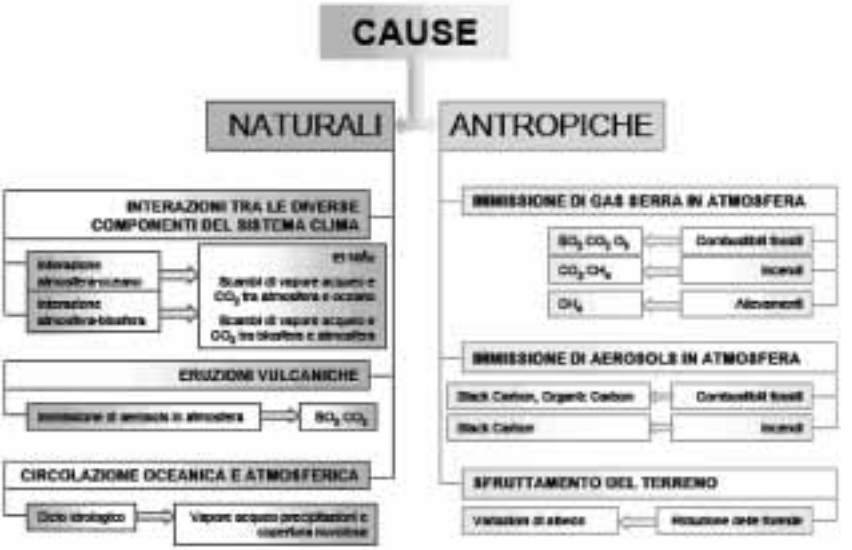



Figura 11

e la litosfera devono confluire in modelli generali (earth systems). È chiaro che adesso abbiamo dei modelli che producono scenari ma non sono nella condizione di rispondere alla richiesta della conoscenza del clima futuro.

Quindi abbiamo degli anelli molto importanti che mancano nella catena della conoscenza del clima. Già perché si può dire che la scienza ha fatto il suo dovere quando può portare la spiegazione e la previsione. In materia della scienza del clima non siamo in questa condizione, non abbiamo la spiegazione e non abbiamo la previsione.

Vorrei ora arrivare al punto soffermandomi sulla parte radiativa delle nubi e sull'effetto indiretto dell'aerosol atmosferico che sono le zone dove lavoro più direttamente.

Si stima che le nubi aumentino, in media, il flusso uscente di radiazione solare di circa 48 $Wm^{-2}$ su scala globale, e che diminuiscano il flusso uscente di radiazione infrarossa di circa -31 $MW^{-2}$ e quindi c'è un effetto radiativo netto stimato di -17 $Wm^{-2}$

Queste stime vengono da parametrizzazioni fatte con il modello di nube a strato orizzontale ma è chiaro che non possono valere se vogliamo entrare in una descrizione dettagliata dobbiamo prendere la tridimensionalità della nube e ci sono lavori avanzati che tengono conto della reale forma. Abbiamo il comportamento delle nubi di cristallini che sono molto complesse da simulare e, come vediamo nella nostra esperienza, possiamo avere strati di nubi diversi, quindi la sovrapposizione di diversi tipi. Quando andiamo a fare i conti su strati di nubi che si soprappongono abbiamo dei calcoli piuttosto complessi.

Quindi le nubi interessano il bilancio radiativo terrestre attraverso lo scattering e l'assorbimento della radiazione, giocano un ruolo fondamentale nel bilancio idrico del pianeta, e quindi sono la maggiore fonte di incertezza nelle simulazioni climatiche di modelli numerici, ma c'è tutto un settore che si sta sviluppando.

Ora vorrei riflettere sulla microfisica della nube nella quale si manifesta l'effetto indiretto dell'aerosol atmosferico sul clima. C'è una piccola frazione dell'aerosol atmosferico che ha la funzione di nucleazione delle goccioline di nube o di innesco del ghiacciamento di cristalli. Vediamo (fig. 12) che entro poche decine di metri dalla base della nube si gioca tutta la microfisica della nube stessa e questa frazione di particelle che funziona da nucleo per le goccioline di nubi è chiaro che determina la caratteristica di fisica della nube stessa. Al di sopra la concentrazione delle gocce rimane fissata mentre continua la loro crescita diffusiva ed il raggio medio aumenta. Quindi diciamo che dal punto di vista della popolazione dell'aerosol c'è una frazione che fa un piccolo ingrossamento ma le particelle sono talmente piccole che non possono agire da nuclei e ritornano ad essere particelle. Le poche che funzionano da nuclei determinano la carta di identità di tutta la nube. Quindi la microfisica è completamente definita dalle particelle quindi anche da quella prodotte dall'uomo. Ormai quest'ultime costituiscono il 20% in massa di tutte quelle presenti in atmosfera.

L'uomo imita la natura nel generare aerosol presso organismi fondamentali di combustione, frammentazione di liquido solido (es. sale marino), frammentazione di solidi e la conversione gas-particelle. Con tutti i processi industriali, riscaldamento, mezzi veicolari, ecc, noi non facciamo altro che imitare la natura in questi tre processi. Quantitati-

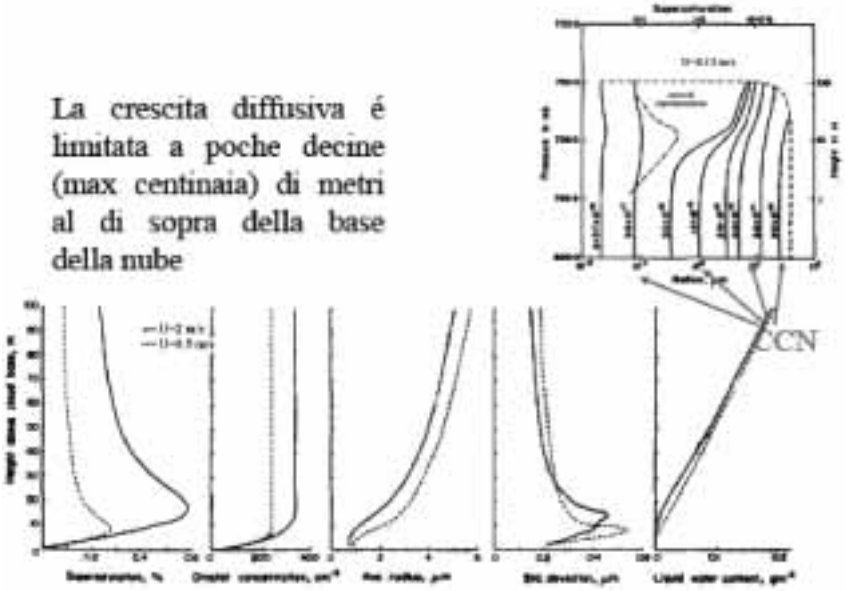



Figura 12

vamente siamo già molto vicini ed aggiungiamo un bel po' di composti nuovi che la natura non avrebbe mai immesso.

Userei i minuti rimanenti per riflessioni che ritengo molto importanti . La conoscenza del clima è tale che non consente la previsione. Allora perché c'è tutto questo spostamento verso i rapporti internazionali, tutte le conferenza passate e future, quella di Kyoto, fino a Copenaghen ecc. perché le preoccupazioni dei politici sono diverse da quelle degli scienziati ? Questa è la vera natura del problema perché la pressione verso soluzioni (internazionale e politica) sono basate sul principio di precauzione ma lo scienziato ha il compito di ridurre prima possibile le incertezze che rimangono nel quadro scientifico. Io penso che siamo nella stessa situazione per il clima del Sig. Richardson per la meteorologia nel 1915 quando lui aveva tutte le equazioni ma non aveva i calcolatori per risolverle numericamente. Ma anche i più sofisticati modelli di clima attuale sono nell'infanzia. Avremo buoni modelli di clima fra 40 anni, ammesso che andiamo però nella stra-

da giusta. Noi non possiamo inseguire le preoccupazioni della politica e ritardare per questo il cammino della scienza, sono due strade che devono rimanere parallele perché la scienza si alimenta di tanti dubbi. Alcuni li ho ricordati come quelli dovuti alle nubi e gli aerosol ma ce ne sono di altro tipo come il rapporto fra atmosfera e stratosfera, i bilanci del ciclo del carbonio senza troppi errori, c'è tutta una serie di cose che devono essere studiate e si possono studiare bene se finisce questa schizofrenia dilagante. Diciamo che il cambiamento climatico è un problema planetario e poi noi non gli dedichiamo la vera attenzione scientifica perché vengono prese le risorse per dirottarle ad altri scopi. La ricerca deve avere la sua priorità assoluta e soprattutto i giovani che devono capire che se si dedicano al clima, si dedicano al problema più importante che l'umanità possa avere di fronte a sé in questo secolo.

A questo punto si scorge che il discorso dell'ambiente climatico copre quello che è sotto gli occhi di tutti cioè che c'è un problema ambientale planetario assolutamente preoccupante. L'uomo è specie vivente che sta partendo per la tangente, noi stiamo conducendo una vita che porta alla invivibilità ambientale del pianeta e questa sarebbe una base sulla quale costruire subito un senso che ci porti a cambiare i metodi di produzione, di smaltimento, i nostri stili di vita. Magari viaggeremo un po' meno, siamo tanti e dobbiamo rispettare il pianeta.

Quello che vediamo in televisione sulle navi affondate con le scorie nucleari nella stiva, delle cose incredibili come l'inquinamento nelle zone artiche. Questi disastri sono attuali e assolutamente misurabili ed impongono un' azione immediata. Accanto al clima gli altri duo poli, ambiente ed energia, vanno contestualmente considerati. Con l'energia saccheggiamo le risorse e si deteriora l'ambiente. Abbiamo visto che i cambiamenti climatici sono nella natura del sistema terra-sole, e da un paio di secoli l'uomo è in grado di competere con la natura nel cambiare il clima. Quindi dobbiamo studiare veramente il sistema clima mettendo la scienza in condizione di spiegare e prevedere. Grazie.

# LA CIRCOLAZIONE GENERALE DELL'OCEANO E IL CLIMA. DALLA SCALA GLOBALE AL RUOLO DEL MEDITERRANEO

Sandro CALMANTI e Vincenzo ARTALE
*ENEA*

*La temperatura del Mediterraneo e dell'Oceano Globale aumentano. La natura delle interazioni fra i due sistemi è una delle questioni aperte nel campo delle scienze del clima. L'utilizzo del metodo scientifico per lo studio di questo problema contribuisce a migliorare la capacità di prevedere l'evoluzione del sistema climatico.*

## Osservazioni

### Mediterraneo

La temperature superficiale del Mediterraneo è aumentata di quasi 1°C durante l'ultimo secolo (Marullo et al., 2009). In particolare, dopo l'ultimo minimo di temperature della metà degli anni '70, la temperatura è aumentata con un tasso di oltre 2 centesimi di grado l'anno (Figura 1).

Dal 1985 sono disponibili dati da satellite (la temperatura del mare può essere misurata attraverso la radiazione infrarossa emessa). Da allora, il tasso di aumento della temperatura è stato di oltre 3 centesimi di grado l'anno (Marullo et al., 2007).

Solo 3 centesimi di grado possono sembrare un numero molto piccolo.

Tuttavia per poter mantenere questo tasso di incremento della temperatura occorre una potenza di circa 300 GW (vedi scheda tecnica). Questo valore corrisponde alla potenza erogata da tutte centrali nucleari attualmente installate sul pianeta (circa 400). Oppure, considerando una potenza di picco dei pannelli solari di circa 0.125 kW/m$^2$,

sarebbero necessario utilizzare una superficie di circa 2400 $Km^2$, cioè una superficie grande più o meno come il Lussemburgo.

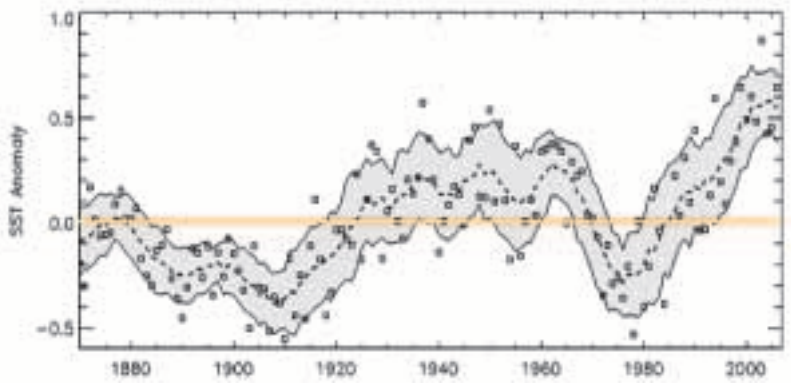



**Figura 1.** Anomalia delle temperature superficiali del Mediterraneo (Marullo et al., 2009)

**Scheda Tecnica – Aspetti energetici del riscaldamento dell'oceano**

Supponiamo di voler scaldare i 10 metri d'acqua superficiali del Mediterraneo di 0.03 °C (3 centesimi di grado) in un anno.

La superficie del Mediterraneo è di di circa $2.5 \cdot 10^{12}$ $m^2$.

Il peso specifico dell'acqua di mare è leggermente superiore a 1000 kg $m^{-3}$. Quindi i primi 10 m d'acqua del Mediterraneo hanno un peso di circa $2.5 \cdot 10^{16}$ kg.

La capacità termica specifica dell'acqua di mare a 20°C è di poco inferiore a 4000 J $kg^{-1}$ $K^{-1}$. Significa che occorrono 4000 J (Joule) per scaldare di 1K (1 grado Kelvin, equivalente a di 1°C) un chilogrammo d'acqua.

Dunque, per scaldare i primi 10 m superficiali d'acqua del Mediterraneo di 0.03 °C l'anno servono:

$$Q = 2.5 \cdot 10^{16}\text{kg} \times 3 \cdot 10^{-2}\text{K} \times 4 \cdot 10^{3}\text{J Kg}^{-1}\text{ K}^{-1} = 3 \cdot 10^{18}\text{J}$$

Tutto ciò deve accadere in un anno, ovvero 31536000 s.

In conclusione, per scaldare i primi dieci metri d'acqua occorre erogare una potenza pari a:

$$3 \cdot 10^{18}\text{J} / 3.1 \cdot 10^{7}\text{s} = 3 \cdot 10^{11}\text{ W} = 300\text{ GW}$$

Notare che 1 GW = 1 Gigawatt = $10^9$ Watt

## Gibilterra

Circa 2 milioni di metri cubi d'acqua attraversano lo Stretto di Gibilterra ogni secondo e ogni 6 ore la direzione di questo flusso si inverte, seguendo il ritmo delle maree (Sannino et al., 2004). Tuttavia non c'è un perfetto bilancio fra il flusso in ingresso e quello in uscita. Nel lungo periodo il continuo alternarsi delle correnti equivale ad un flusso netto di circa 50000 metri cubi d'acqua al secondo che entrano nel Mediterraneo (Bryden, 1994). Per bilanciare questo flusso, circa 2 000 000 000 000 di tonnellate d'acqua evaporano dalla superficie del Mediterraneo durante l'anno (Mariotti et al., 2002). Di conseguenza le masse d'acqua in uscita dal Mediterraneo sono più salate di quelle in ingresso e risultano facilmente riconoscibili quando si disperdono nel nord Atlantico ad una profondità di circa 1000 m (Figura 2).

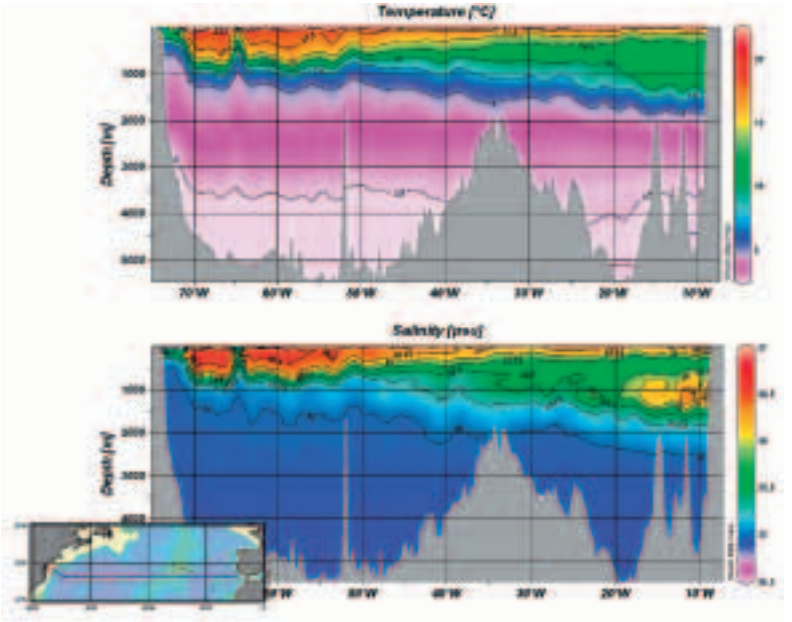



**Figura 2.** Sezione dei campi di temperatura e salinità nel nord Atlantico a 36°N di latitudine.

*NOTA: Dati del World Ocean Circulation Experiment (WOCE) Hydrographic Program (http://woce.nodc.noaa.gov/wdiu/index.htm).*

Le correnti in corrispondenza dello stretto di Gibiliterra non sono soltanto molto variabili nel tempo ma hanno anche una struttura verticale molto particolare.

In superficie ci sono le masse d'acqua che dall'Atlantico entrano nel Mediterraneo ed hanno una temperatura media intorno ai 17.5°C. In profondità invece masse d'acqua più pesanti fluiscono dal Mediterraneo verso l'Atlantico con una temperatura di circa 13.5 °C.

Poiché l'acqua in ingresso è più calda dell'acqua in uscita, si ottiene un flusso netto di energia verso il Mediterraneo ad un tasso di circa 17000 GW (Macdonald et al., 1994). Questo valore è superiore al tasso di consumo di energia in tutto il mondo, stimato intorno ai 14000GW nel 2009 (British Petroleum).

**Atlantico**

La Corrente del Golfo trasporta circa 18 milioni di metri d'acqua al secondo a cui è associato un flusso di energia di circa 1 000 000 GW, equivalente a più di 50 volte il tasso di consumo totale di energia per le attività umane. Come è noto, tutta questa energia contribuisce a mitigare il clima di tutto il nord Europa (Bryden et al., 2005).

La Corrente del Golfo fa parte di un sistema di circolazione che contribuisce a ridistribuire intorno al globo il calore assorbito dal Sole. Spesso, si usa chiamare questa circolazione la Circolazione Termoalina Globale (Figura 3). Anche se questa denominazione non ha un significato fisico univoco (Wunsch, 2002), la parola *termoalina* richiama il fatto che la densità dell'acqua, determinata dalla temperatura e dalla salinità, ha un ruolo molto importante nel definire le caratteristiche di questa circolazione.

Esistono alcuni punti critici in questo sistema di correnti, situati in quelle zone dell'oceano dove la densità dell'acqua cambia molto rapidamente. Alcune di queste zone critiche si trovano proprio nel Nord Atlantico, in particolare nel Mare del Nord e nel Mare del Labrador.

Qui, il freddo intenso e i forti venti determinano un aumento repentino della densità delle masse d'acqua superficiali che in alcuni casi si inabissano fino al fondo dell'oceano.

Nelle zone critiche come il Mare del Nord e il Mare del Labrador la superficie e gli strati profondi dell'oceano scambiano enormi quan-

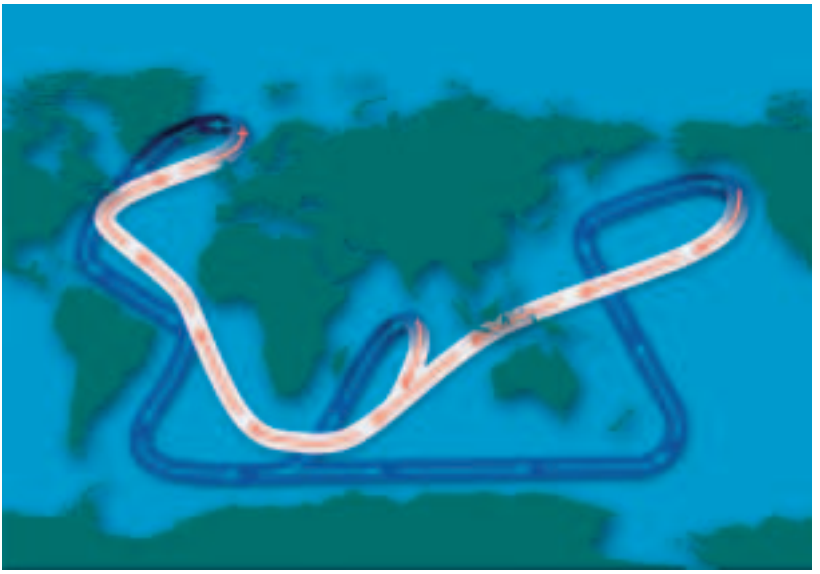


**Figura 3.** La Circolazione Termoalina Globale.

*NOTA: Le frecce rosse indicano le correnti calde superficiali. Le frecce blu indicano le correnti fredde sul fondo dell'oceano.*

tità di energia. Questi sono anche i pochi punti dove l'oceano profondo può scambiare energia con l'atmosfera.

Per dare un idea delle quantità in gioco consideriamo che l'incremento di energia termica – legata cioè all'aumento di temperatura-immagazzinata in tutto l'oceano durante gli ultimi 50 anni è stato di circa di circa 15 $10^{22}$J (Figura 4) che equivale ad un tasso di assorbimento di circa 1 000 000 GW, lo stesso flusso di energia associato alla corrente del Golfo, 50 volte il consumo mondiale di energia per le attività umane.

## Ipotesi

Concentriamo la nostra attenzione su questi tre numeri: 300 GW è attualmente il tasso di assorbimento di energia da parte della superfi-

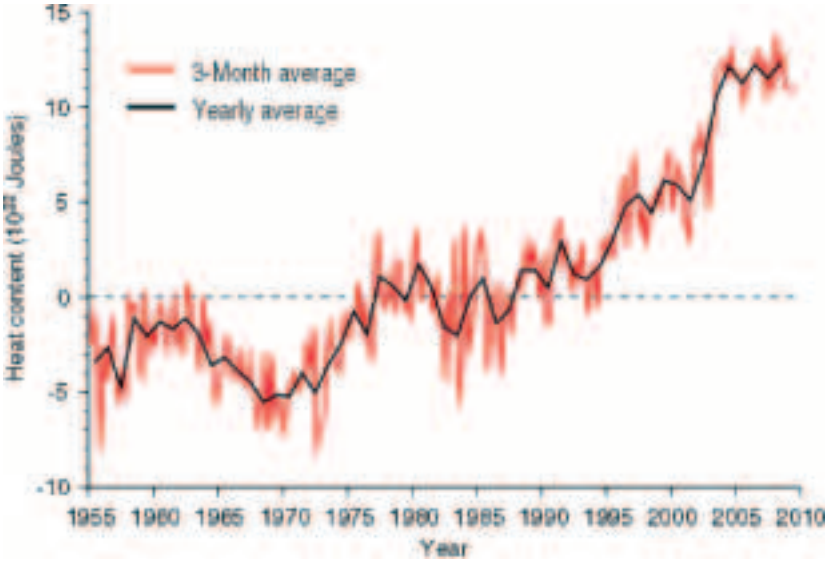



**Figura 4.** Aumento dell'energia termica dell'oceano globale durante gli ultimi 50 anni.

*NOTA: La linea rossa rappresenta l'evoluzione delle medie stagionali. La linea nera rappresenta le medie annuali (Levitus et al., 2009).*

cie del Mediterraneo; 14000GW è il flusso di energia a Gibiliterra; 1 000 000 di GW è il flusso di energia associato alla Corrente del Golfo e anche il tasso di assorbimento di energia da parte dell'oceano globale durante gli ultimi cinquant'anni. È come avere un automobile che spinge contro la motrice di un treno ad alta velocità: ci stiamo chiedendo cosa accade di tutto il sistema se sull'automobile accendiamo un piccolo asciugacapelli collegato all'accendisigari.

Negli anni passati abbiamo formulato alcune ipotesi su questo sistema costituito dall'Oceano Atlantico, dallo stretto di Gibiliterra e dal Mediterraneo. Abbiamo ragionato per semplificazioni successive, togliendo gli elementi che ci sembravano trascurabili e mantenendo sulla scena tutti gli ingredienti essenziali.

Abbiamo lavorato su due ipotesi (Artale et al., 2006).

La presenza del Mediterraneo contribuisce, insieme ad altri fattori, a mantenere stabile la corrente del Golfo.

La presenza del Mediterraneo ha un effetto rilevante sulla variabilità della corrente del Golfo.

La prima ipotesi ha conseguenze importanti riguardo la variabilità climatica su scale temporali di centinaia di migliaia di anni – la periodicità caratteristica delle glaciazioni.

La seconda ipotesi ha conseguenze importanti per quanto riguarda la variabilità su periodi di decenni, quindi confrontabili con la nostra esperienza diretta. La ragione è che la presenza di masse d'acqua più o meno dense nell'Atlantico può accelerare o decelerare la corrente del Golfo.

Sviluppare queste ipotesi nel contesto di modelli semplici è un esercizio divertente e relativamente poco impegnativo. Tuttavia incontriamo molto presto un ostacolo.

Abbiamo formulato un'ipotesi: come la verifichiamo? È ovvio che non possiamo farlo in laboratorio.

## Modelli

I modelli numerici hanno un ruolo speciale nella moderna interpretazione del metodo scientifico.

Bertrand Russell (1931) riassume il metodo scientifico in tre momenti ben definiti: l'osservazione di fatti, la formulazione di ipotesi basate sui fatti osservati e la verifica sperimentale delle deduzioni che possono essere tratte a partire dalle ipotesi formulate .

La formulazione di ipotesi viene fatta con il linguaggio della matematica, perché è un linguaggio che si adatta molto bene allo scopo di effettuare deduzioni a partire da ipotesi date.

Le macchine per il calcolo aumentano a dismisura sia la capacità di formulare ipotesi complesse, sia la capacità di effettuare deduzioni a partire da tali ipotesi.

Nel caso di sistemi complessi, come il sistema climatico, i modelli numerici elaborati al calcolatore sono uno strumento portentoso perché oltre alla complessità delle ipotesi (e quindi delle deduzioni), si deve anche affrontare il problema che non è possibile prevedere esperimenti di laboratorio.

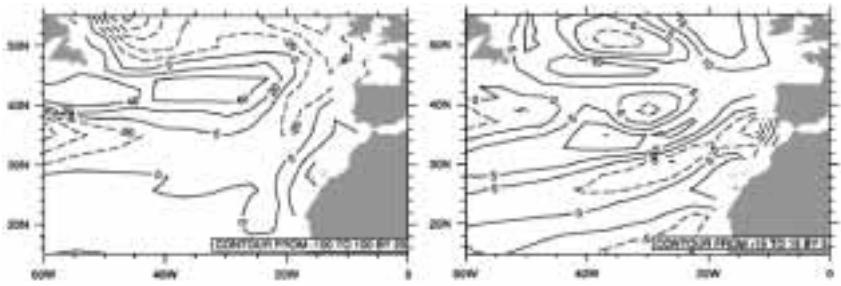
Questo problema è talmente frustrante che molto spesso le elaborazioni al calcolatore vengono interpretate come un surrogato del laboratorio e al posto della parola *simulazione* si usa la parola *esperimento.*

Riprendiamo il caso delle nostre ipotesi sul ruolo delle acque del Mediterraneo nella caratterizzazione degli equilibri della circolazione dell'oceano Atlantico.

Le nostre ipotesi sono state riprese da alcuni ricercatori del National Center for Atmospheric Research (NCAR) nel contesto di un modello numerico del clima globale, che utilizza una complessa rappresentazione matematica del flusso di masse d'acqua in corrispondenza dello stretto di Gibilterra (Wu et al., 2007).

I ricercatori dell'NCAR hanno messo a confronto l'ipotesi di uno stretto di Gibilterra bloccato con quella di uno stretto di Gibilterra aperto allo scambio di masse d'acqua. Le loro analisi mostrano che la differenza principale deducibile dalle due ipotesi sta proprio nello scambio di energia con l'atmosfera (Figura 5).

Il risultato sorprendente di questo studio è che non solo le differenze fra i due sistemi sono in molti casi superiori al 20% ma che queste differenze sono particolarmente significative proprio nelle zone *sensibili* della circolazione oceanica.



(a) (b)

**Figura 5.** Simulazione dell'effetto del Mediterraneo sui flussi di calore nel Nord Atlantico.

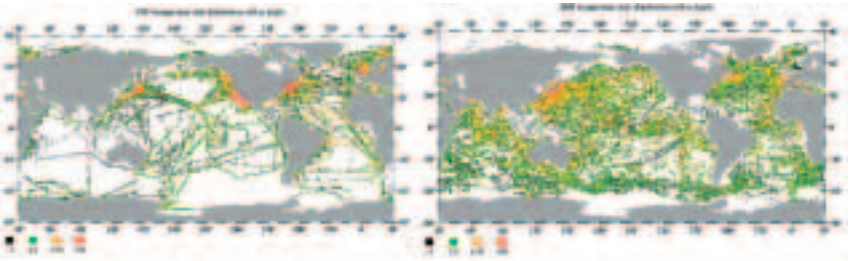
*NOTA: (a) Flussi in un sistema Gibilterra-aperto. (b) Differenza fra un sistema Gibilterra aperto e un sistema Gibilterra chiuso (Wu et al., 2007).*

**Verifiche sperimentali**

È importante verificare attraverso le osservazioni la correttezza delle deduzioni tratte dalle nostre ipotesi sul ruolo delle masse d'acqua del Mediterraneo nella circolazione del Nord Atlantico.

Abbiamo a disposizione due fonti primarie di informazioni: i dati *in situ* raccolti dalle navi oceanografiche o dalle boe, e i dati da satellite

La figura 6 mostra una mappa di tutte le misure raccolte da navi oceanografiche presenti nel database del World Ocean Circulation Experiment (WOCE). Ogni misura corrisponde alla misurazione di un intero profilo verticale delle caratteristiche chimico-fisiche dell'oceano.



(a) (b)

**Figura 6.** Mappa delle misure *in situ* effettuate dalle navi oceanografiche

*NOTA: Misure effettuate negli anni 1957 (a) e 2008 (b). Ogni pixel rappresenta un quadrato di circa 100km x 100km all'interno del quale il colore indica quante misure sono state effettuate durante l'anno: nero -> 1 misura; verde -> da 2 a 5 misure; arancio -> da 5 a 30 misure; rosso -> oltre 30 misure (Dati del World Ocean Circulation Experiment (WOCE) Hydrographic Program, http://woce.nodc.noaa.gov/wdiu/index.htm).*

Durante gli ultimi 50 anni, la copertura delle osservazioni è aumentata moltissimo. Nel 1957 le misurazioni erano concentrate nell'emisfero nord, soprattutto in prossimità delle coste degli Stati Uniti, del Giappone, nel Mediterraneo e nel Mare del Nord.

Nel 2008, le navi oceanografiche hanno visitato in maniera molto più omogenea l'oceano globale. Ad esempio, l'enorme numero di mi-

sure al largo delle coste della California non esistono più e il Nord Atlantico e il Pacifico sono coperti in maniera abbastanza omogenea. Inoltre, ed è forse l'aspetto più rilevante, è in atto un programma massiccio di osservazioni nell'Oceano Meridionale che circonda l'Antartide, fino a poco tempo fa semi-sconosciuto.

Il 1957 (Anno Geofisico Internazionale) è anche l'anno in cui è stato lanciato il primo satellite artificiale russo, lo Sputnik. Si trattava di un esperimento, per dimostrare la fattibilità della messa in orbita di satelliti artificiali.

Oggi è difficile dare il numero preciso di satelliti in orbita. Sono sicuramente alcune migliaia, dedicati sia alle telecomunicazioni che all'osservazione della Terra.

Attraverso l'uso prolungato e continuo dei satelliti possiamo valutare con grande dettaglio i cambiamenti in atto nel sistema climatico. Ad esempio la figura 7, realizzata dai ricercatori del CNR e dell'ENEA mostra la mappa delle tendenze delle temperature superficiali del Mediterraneo durante gli ultimi 20 anni (già discusse nella sezione 1).

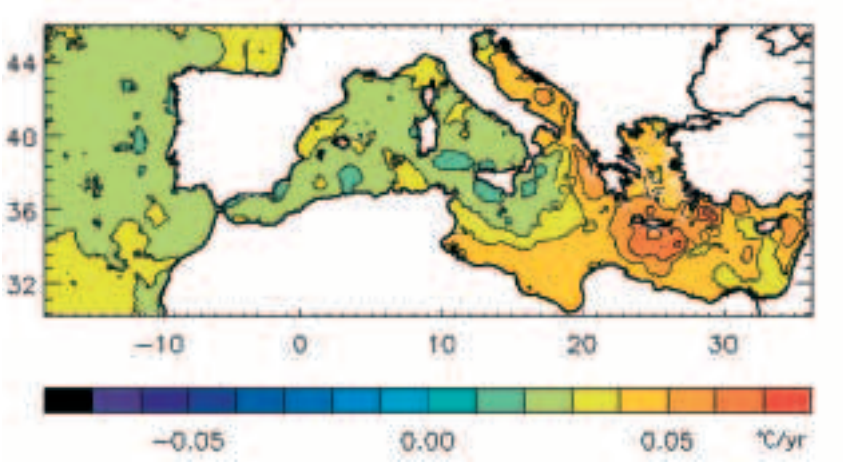



**Figura 7.** Mappa delle tendenze della temperatura superficiale del Mediterraneo

*NOTA: Le tendenze sono state calcolate utilizzando 20 anni di dati giornalieri del sensore AVHRR (Advanced Very High Radiation Radiometer) montati sui satelliti della NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration). (Buongiorno Nardelli et al., 2007)*

I fenomeni riguardanti l'interazione fra la circolazione oceanica del Mediterraneo e quella del Nord Atlantico si svolgono su scale temporali pluri-decennali e centennali. Quindi saranno necessari ancora molti anni di osservazioni sistematiche e continue, prima di riuscire a verificare in maniera accurata le ipotesi riguardanti questo complesso sistema di circolazione.

Nel frattempo, la potenza dei calcolatori avrà tempo di aumentare ancora, e di rendere possibile la formulazione di ipotesi che se da un lato saranno sempre più complesse, dall'altro saranno quantitativamente sempre più circoscritte e quindi adatte alla verifica sperimentale.

## Conclusioni

Le conclusioni di questa discussione lasciano necessariamente aperta la questione sulle interazioni nel sistema Mediterraneo-Gibilterra-Atlantico. Per esempio, una delle questioni difficili da affrontare, riguarda i meccanismi di dispersione dell'acqua Mediterranea nel nord Atlantico. Questi processi avvengono nell'oceano a circa 1000 metri di profondità e non è facile (in particolare è molto costoso) mantenere un sistema di osservazione adeguato o risorse adeguate per il calcolo numerico.

Tuttavia risolvere la questione delle interazione Mediterraneo-Gibilterra-Atlantico, significa aggiungere un pezzo di informazione al puzzle delle nostre conoscenze sul sistema climatico e alle nostre capacità di previsione.

Abbiamo dunque una importante lezione di carattere generale da portare a casa.

Agli occhi di noi ricercatori è molto facile giustificare i costi necessari per il mantenimento di tutte le infrastrutture. Il nostro obiettivo è capire, conoscere, e per questo immaginiamo sempre più navi oceanografiche, stazioni meteorologiche, sensori più precisi sui satelliti, computer sempre più potenti, reti e protocolli di distribuzione dei dati sempre più efficienti e comprensivi.

Tutta la società trae da queste attività un beneficio immenso. Abbiamo ormai la consapevolezza che il sistema climatico non è una variabile aleatoria e fuori da ogni controllo a cui dobbiamo adattarci so-

lo dopo le catastrofi. Esistono e migliorano ogni giorno gli strumenti per tenerlo sotto controllo e per prevederne il comportamento.
Abbiamo il dovere di continuare su questa strada in maniera responsabile.

## Bibliografia

**Artale, V., Calmanti, S., Malanotte-Rizzoli, P., Pisacane, G., Rupolo, V., Tsimplis, M.**, 2006. The Atlantic and the Mediterranean Sea as connected systems. In: Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R. (Eds.), Mediterranean Climate Variability. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 283–323.

***B. Buongiorno Nardelli, R. Santoleri, Marullo, S., M. Guarracino,*** 2007: La temperatura superficiale del Mar Mediterraneo negli ultimi 21 anni: analisi delle misure satellitari. Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR. (http://news.urp.cnr.it/pubblicazioni/dta)

***British Petroleum***, 2009. BP Statistical review of world energy 2005. BP Plc.

***Bryden H. L.,*** 1994: Exchange through the Strait of Gibraltar. Progr. in Oceanogr., 33, 201.

***H.L. Bryden, H. R. Longworth, S. A. Cunningham,*** 2005: Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25 N. *Nature, 655-657.*

***Levitus, S., J. I. Antonov, T. P. Boyer, R. A. Locarnini, H. E. Garcia, and A. V. Mishonov***, 2009: Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L07608.

***Mariotti A., Struglia M.V., Zeng, N., Lau K.-M.,*** 2002:The hydrological cycle in the Mediterranean region and implications for the water budget of the Mediterranean Sea., *J. of Climate*, 15, 1674-1690.

***Marullo, S., B. Buongiorno Nardelli, M. Guarracino, and R. Santoleri,*** 2007: Observing the Mediterranean Sea from space: 21 years of Pathfinder-AVHRR sea surface temperatures (1985 to 2005): re-analysis and validation. *Ocean Sci.*, 3, 299–310.

***Macdonald A. M., J. Candela, and H. L. Bryden***, 1994: An estimate of the net heat transport through the Strait of Gibraltar, in *Seasonal and Interannual Variability of the Western Mediterranean Sea Coastal and Estuarine Studies, Coastal Estuarine Stud.*, vol. 46, edited by P. E. La Viollette et al., pp. 13-32, AGU, Washington, D. C.

***Russell B.***, 1931: The scientific outlook. *In Italia, ed. Laterza con il titolo*: La visione scientifica del mondo.

***Sánchez-Román A., G. Sannino, J. García-Lafuente, A. Carillo, F. Criado-Aldeanueva,*** 2009: Transport estimates at the western section of the Strait of Gibraltar: A combined experimental and numerical modeling study, *J. Geophys. Res.*, 114, C06002, doi:10.1029/2008JC005023.

***Sannino G. Bargagli, A. Artale, V.,*** 2004. Numerical modeling of the semidiurnal tidal exchange through the Strait of Gibraltar. *J. Geophys. Res.* 109, C05011. doi:10.1029/2003JC002057.

***Wu W., G. Danabasoglu, W.G. Large,*** 2007: On the effects of parametrized Mediterranean overflow on North Atlantic ocean circulation and climate, *Ocean Modelling*, Volume 19, Issues 1-2, 2007, Pages 31-52.

***Wunsch C.,*** 2002. What is the thermohaline circulation? *Science,* 298, 1179-1181.

# LA PIU LUNGA SERIE DI MISURE DI $CO_2$ IN EUROPA (1979-2009) E L'ATLANTE CLIMATICO D'ITALIA (1970-2000)

Costante DE SIMONE
*Colonnello Fisico del Corpo Genio Aeronautico*

Ringrazio l'Associazione Galileo 2001 per il graditissimo invito. Il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica si avvale del lavoro di enti che provvedono alla misurazione delle grandezze fisiche atmosferiche al loro accertamento, elaborazione e diffusione dei dati e alla produzione e distribuzione di analisi e previsioni meteorologiche per l'assistenza al volo e alla comunità civile. Con i nostri dati abbiamo costruito un patrimonio di archivio che ormai supera i diversi milioni di misure dei singoli parametri atmosferici.

Oggi parleremo di un Osservatorio tra i più importanti che si trova sulla vetta del Monte Cimone nell'Appennino Tosco-Emiliano a 2165 metri. Questo è il posto di osservazione nazionale che ha una percentuale superiore al 50% del territorio italiano e quindi è estremamente sensibile a tutte le variazioni dell'atmosfera.

Misuriamo con continuità da oltre 30 anni, facendo media ogni 10 minuti, l'anidride carbonica e come vediamo dalla fig. 1, questi sono dati a disposizione di tutti i ricercatori che intendono dedurre da questi o trarne verifiche delle proprie ipotesi.

La verifica importante che noi abbiamo fatto è che confrontata con la serie di Mauna Aloa delle Hawaii (v. fig. 2) sono estremamente simili.

Quella del Cimone è più fluttuante probabilmente per il fatto che quella delle Hawaii è nell'oceano ed è tra l'altro ad una quota lievemente superiore (3500m)

Questi sono i due osservatori che hanno le più lunghe serie misurate di anidride carbonica. Le loro posizioni (v. fig. 3), sono praticamente opposte sulla sfera terrestre e sono i due punti di riferimento per le analisi di anidride carbonica fatte poi, successivamente, con altri metodi.

Figura 1

Figura 2

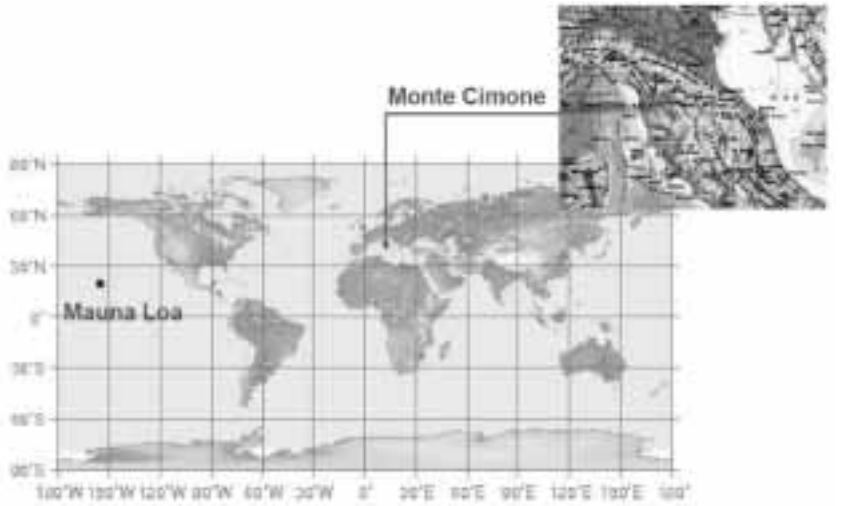



Figura 3

Nella fig. 4 vediamo il trend della concentrazione della $CO_2$ in atmosfera e in questo momento abbiamo una concentrazione intorno alle 385 ppmv come media annuale.

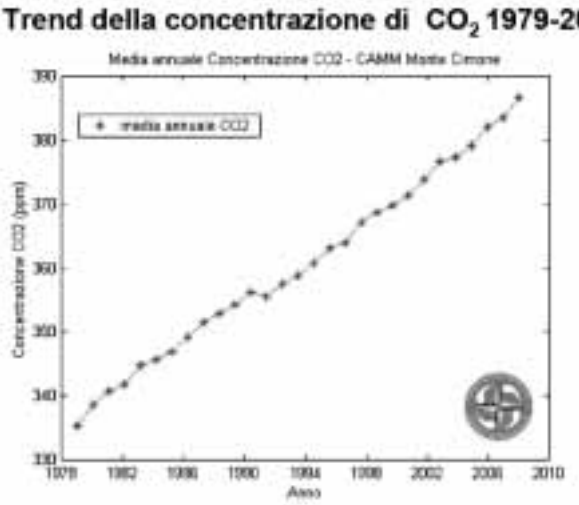



Figura 4

Nella fig. 5 vediamo il ciclo giornaliero che naturalmente risente moltissimo della vegetazione e quindi nel corso dei vari mesi dell'anno, secondo le varie ore del giorno, l'anidride carbonica ha questa fluttuazione.

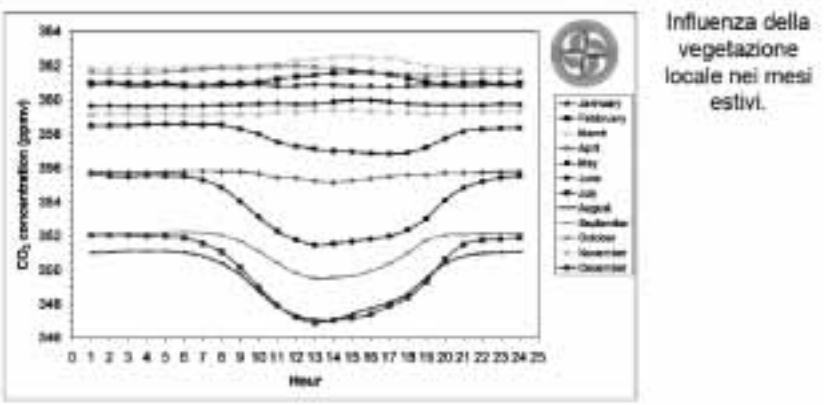



Figura 5

Parimenti, sempre nello stesso osservatorio misuriamo anche l'ozono.

Nella fig. 6 vediamo il trend di concentrazione e vediamo che per l'ozono in realtà non c'è trend, la distribuzione è mediamente causale con media stabile e per verificarne l'attendibilità (v. fig. 7), abbiamo fatto il confronto con la nostra misurata dal basso con l'altra misurata dall'alto.

Nel Monte Cimone abbiamo una rapidità di formazione di ghiaccio dell'ordine dei 10 cm l'ora. L'Osservatorio è operativo dal 1937 e, cosa interessantissima, la serie dati dal 1937 al 1943 che sembrava fosse andata perduta con gli eventi bellici, è riemersa dall'archivio del Magistrato del Po. E su questo abbiamo finito con l'anidride carbonica.

In generale come servizio meteorologico abbiamo raccolto dati ormai da quasi un secolo. Nel 2010 uno dei nostri osservatori compirà 100 anni (l'osservatorio sul Lago di Bracciano). Dal nostro archivio siamo riusciti a trarre per 98 osservatori le serie storiche almeno tren-

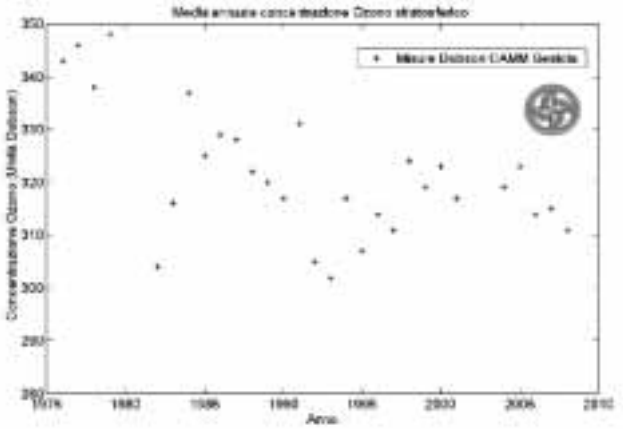



Figura 6

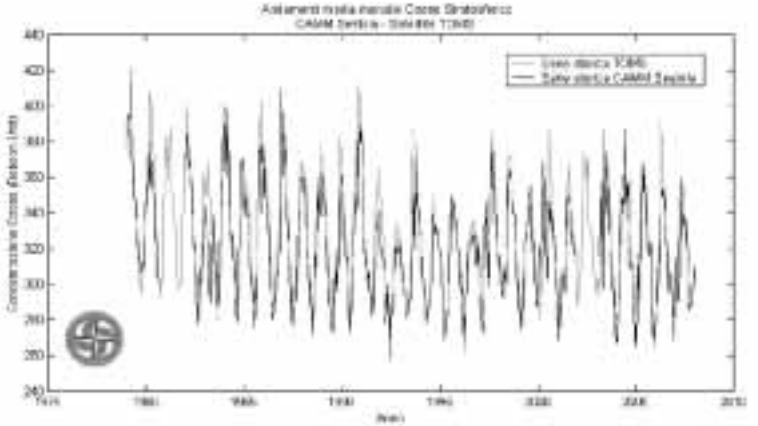


Figura 7

tennali. Perché ho deciso di fare questo passaggio che non è corretto, perché secondo l'organizzazione meteorologica mondiale il periodo di tempo su cui si definisce il clima deve essere di 30 anni disgiunti, quindi avevamo 1931-1960, 1961-1990 ma per un impiego da parte di chi deve prendere delle decisioni in realtà la variabilità climatica (non discuto se naturale o meno) mi ha portato a decidere per 98 osservato-

ri di ricalcolare tutte le variabili climatiche nel trentennio 1970-2000 spostato e l'anno prossimo lo ripubblicheremo con i 30 anni 1980-2010 perché lo vediamo come uno strumento di impiego, chiaramente i dati disaggregati sono tutti disponibili on line per cui non è un problema di perché e che cosa ci si può fare, è un problema che chiunque voglia utilizzare i dati diversamente ce li ha disponibili. Ma a chi deve prendere delle decisioni sintetiche abbiamo dato lo strumento che in questo momento è disponibile on line, per le biblioteche che ne facciano richiesta è disponibile, ovviamente anche su carta.

Nella fig. 8 vediamo gli osservatori esaminati, il colore dipende dal fatto che alcuni hanno funzionato 24 ore su 24 nel corso dei 30 anni, altri per motivi di istituto hanno funzionato soltanto per le ore del giorno.

Figura 8

Ora mostro alcune tabelle, questa (v. fig. 9) è la tabella sulle temperature massime, sugli estremi, la fig. 10 mostra alcuni dati di temperature, tutti dati sintetici e nello stesso tempo con vari parametri, nella figura successiva (fig. 11) il numero di ore giornaliere che è uno strumento per i gradi/giorno ed è uno strumento da utilizzare nella gestione degli impianti di riscaldamento per cui per ciascuno degli osservatori, si sa la zona a cui appartiene e si individuano anche il numero di ore in cui i riscaldamenti devono essere accesi secondo le norme vigenti.

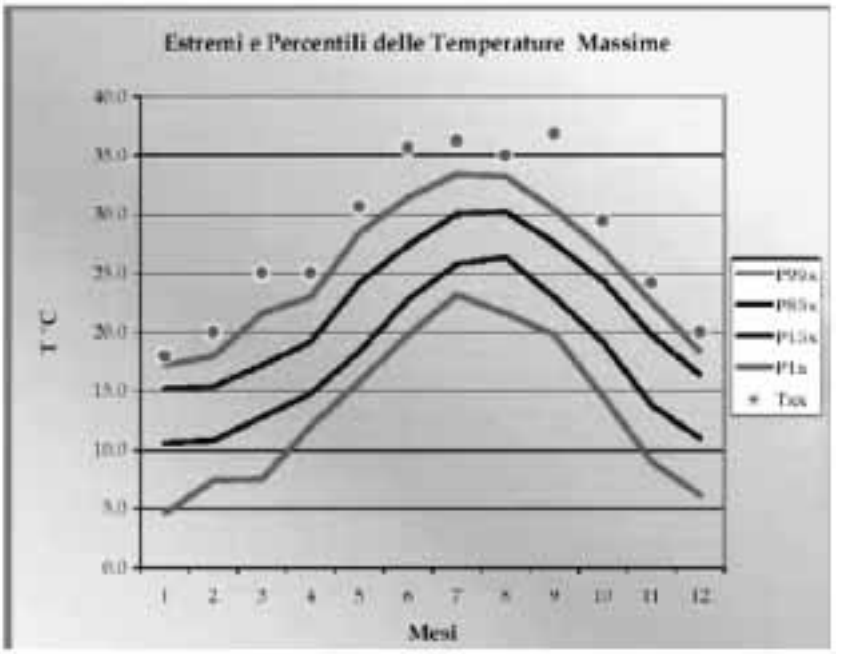



Figura 9

| PRATICA DI MARE | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TEMPERATURE | | | | | | | | | | | |
| MESI | Tm | Tx 1d | Tx 2d | Tx 3d | Txm | Tn 1d | Tn 2d | Tn 3d | Tnm | Tx P95-15 | Tn P95-15 |
| Gen | 8.6 | 12.7 | 12.8 | 13.3 | 12.9 | 4.2 | 4.2 | 4.7 | 4.4 | 4.6 | 7.4 |
| Feb | 8.9 | 13.6 | 13.1 | 13.5 | 13.4 | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 4.6 | 6.9 |
| Mar | 10.3 | 14.2 | 14.8 | 15.9 | 15.0 | 4.9 | 5.5 | 6.3 | 5.6 | 4.4 | 6.9 |
| Apr | 12.4 | 16.5 | 16.6 | 18.0 | 17.0 | 7.6 | 7.3 | 8.5 | 7.8 | 4.4 | 6.0 |
| Mag | 16.4 | 19.8 | 21.4 | 22.6 | 21.3 | 10.3 | 11.5 | 12.4 | 11.5 | 5.8 | 5.4 |
| Giu | 20.0 | 24.4 | 24.8 | 26.1 | 25.1 | 14.2 | 14.9 | 15.8 | 15.0 | 4.6 | 5.4 |
| Lug | 22.8 | 27.3 | 28.0 | 28.7 | 28.0 | 17.0 | 17.8 | 18.1 | 17.6 | 4.2 | 4.8 |
| Ago | 23.3 | 29.1 | 28.7 | 27.6 | 28.5 | 18.6 | 18.4 | 17.6 | 18.2 | 3.8 | 4.6 |
| Set | 20.7 | 26.4 | 25.6 | 24.5 | 25.5 | 16.4 | 16.8 | 15.2 | 15.8 | 4.6 | 5.4 |
| Ott | 17.1 | 23.0 | 21.9 | 20.0 | 21.6 | 14.0 | 12.9 | 11.1 | 12.6 | 5.2 | 6.7 |
| Nov | 12.6 | 18.7 | 17.0 | 15.6 | 16.9 | 10.1 | 8.4 | 6.5 | 8.3 | 6.0 | 7.8 |
| Dic | 9.7 | 14.2 | 14.0 | 13.3 | 13.8 | 6.9 | 5.8 | 5.2 | 6.6 | 5.4 | 8.0 |

Figura 10

| ZONA | Gradi giorno | Periodo di riscaldamento | Massimo numero di ore giornaliere di accensione |
|---|---|---|---|
| A | inferiore a 600 | 1 Dicembre – 15 Marzo | 6 |
| B | da 601 a 900 | 1 Dicembre – 31 Marzo | 8 |
| C | da 901 a 1400 | 15 Novembre – 31 Marzo | 10 |
| D | da 1401 a 2100 | 1 Novembre – 15 Aprile | 12 |
| E | da 2101 a 3000 | 15 Ottobre – 15 Aprile | 14 |
| F | superiore a 3000 | nessuna limitazione | nessuna limitazione |

Figura 11

La figura 12 è per le temperature minime

La fig. 13 mostra i dati giorno che possono essere utilizzati per la crescita delle piante e per il riscaldamento ambientale

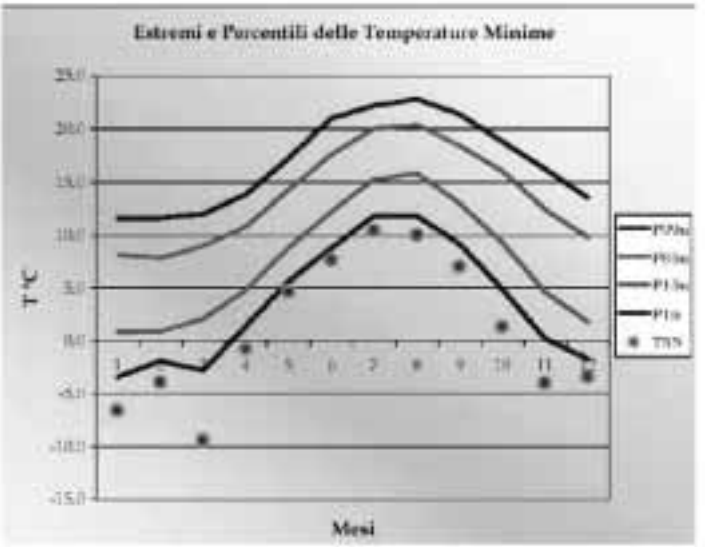



Figura 12

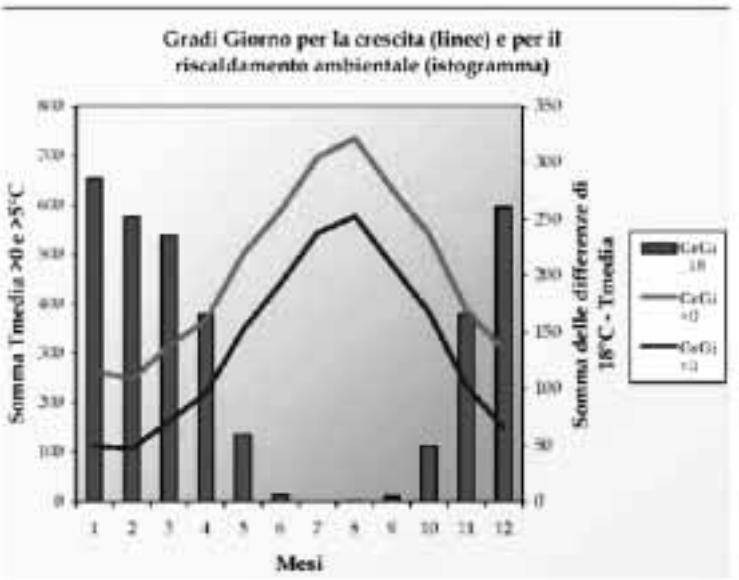



Figura 13

La Fig. 14 mostra le precipitazioni medie e massime che per molte stazioni e negli ultimi decenni è stato necessario riaggiornare. Nell'ultimo decennio ha rappresentato, seppur una deriva verso condizioni climatiche lievemente differenti, si sono accentuati i casi estremi.

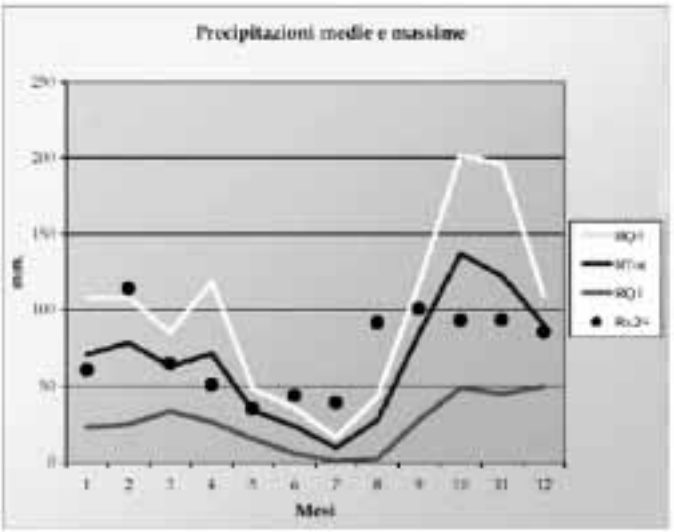



Figura 14

Nella Fig. 15 vediamo il numero di giorni con precipitazioni maggiori di 1, 10 e 50 millimetri

Tutti questi dati sono per ogni singolo osservatorio. Per ogni osservatorio ci sono 16 pagine di tabelle e dati numerici.

Nella fig. 16 è invece un'altra grandezza che ci viene richiesta molto spesso ed è una distribuzione spaziale di frequenza dell'intensità del vettore vento orizzontale. Perché negli ultimi anni, andando nel tema dell'energia, ricevo una decina di richieste alla settimana di compagnie che richiedono i valori dei parametri, per ogni singolo osservatorio, per la costruzione nella fattispecie di impianti eolici e su una sottorete di osservatori dove noi misuriamo sia la radiazione globale, sia la radiazione diretta, sia il numero di ore di sole – quindi la durata del soleggiamento – riceviamo moltissime richieste per le energie rinnovabili.

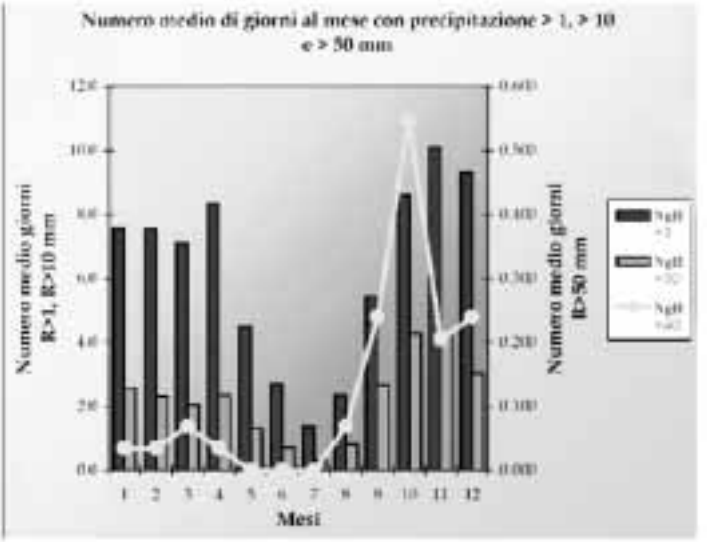



Figura 15

Quindi il patrimonio di misurazioni fatto ora per ora dal Servizio Meteorologico per i suoi compiti di istituto è divenuto con l'accumularsi di questi dati un grande patrimonio per lo studio delle condizioni energetiche per le energie rinnovabili.

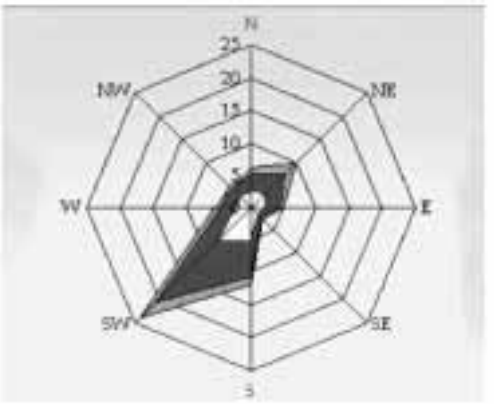



Figura 16

Nella Fig. 17 vediamo le differenze tra la temperatura misurata, quindi la temperatura effettiva, e la cosiddetta temperatura percepita, cosa di cui i media ormai si sono avventati su questo concetto perché ancorché si misurino 30 gradi, per effetto dell'umidità, si possono arrivare anche a percepire 35-36 gradi e quindi nel catastrofismo mediatico in cui ci troviamo è una grandezza particolarmente sentita e che ci viene richiesta quotidianamente.

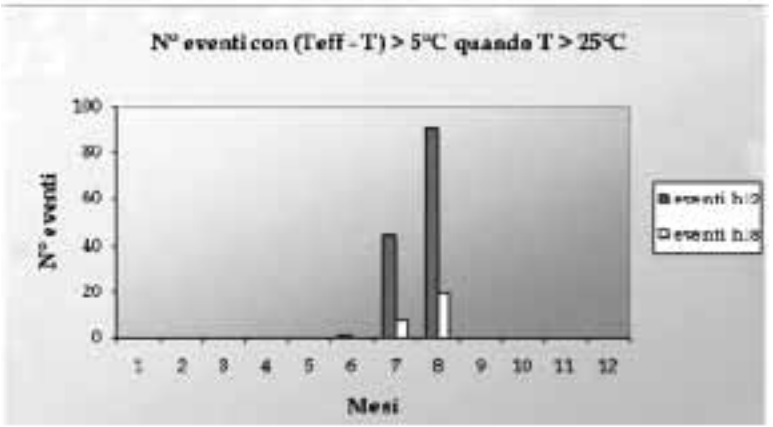



Figura 17

Nella Fig. 18 viene raffigurata la percentuale di visibilità che è uno strumento di grande uso per le funzioni aeronautiche quindi per l'apertura e chiusura degli aeroporti, ma è utilizzatissimo anche per le autostrade.

E con questo ho finito questa panoramica informatica su quelle che sono le misurazioni che fa il mio servizio. Ora possiamo entrare in un dettaglio su come si fonda e come funziona il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica abbiamo un eliofonografo che viene regolarmente sottratto, nonostante è imbullonato, ora lo stiamo sostituendo con uno strumento elettronico che è meno appetibile.

Lo strumento per la conoscenza dell'atmosfera e quindi per avere quei dati di base per la conoscenza del clima, per lo studio e per le decisioni. Noi chiamiamo "tempo" lo stato fisico dell'atmosfera in un

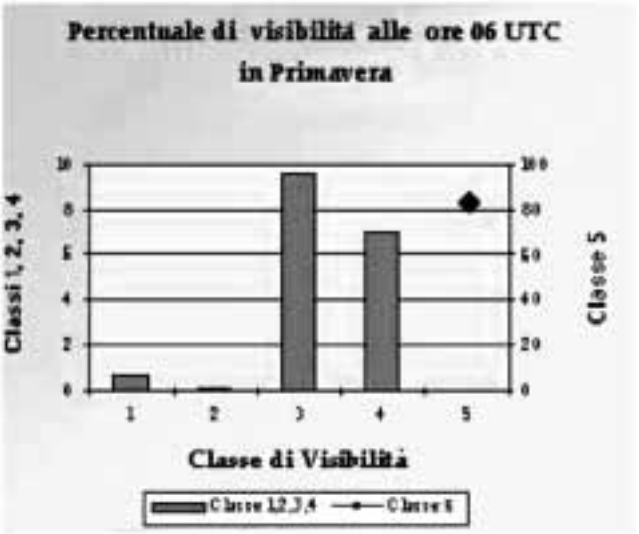



Figura 18

certo istante, in parole povere il cielo come appare, chiamiamo "clima" la funzione di distribuzione della probabilità che il tempo si attui in un punto, nello spazio o sull'intero territorio e quindi la costruzione della funzione di distribuzione della probabilità del tempo la facciamo sull'analisi statistica dei dati.

I dati che sono rilevati oggi, in passato ce ne erano 200 di osservatori ma per motivi economici sono ridotti a 83, a questi però per non perdere l'informazione, laddove non ci sono più gli osservatori, abbiamo istallato delle stazioni automatiche e in questo modo manteniamo una densità quasi costante.

A questi abbiamo aggiunto, nel corso dell'ultimo decennio, dei radar meteorologici che ci consentono di osservare in tempo reale fenomenologie molto più celeri di quelle misurate.

Contemporaneamente per conoscere lo stato dell'atmosfera nelle sue tre dimensioni 24 volte al giorno effettuiamo delle osservazioni mandando in quota fino a 30 km dei misuratori di temperatura, umidità, vento ed effettuiamo quello che comunemente viene chiamato un "radiosondaggio atmosferico".

Però ci viene richiesto dall'Organizzazione Meteorologica mondiale anche la misura su una rete ridotta per via del fatto che il valore di queste grandezze è sufficientemente significativo di aree più vaste, misure di ozono, di anidrite carbonica, della durata del soleggiamento e della radiazione solare. Questa serie di misure che ormai ha superato il trentennio è quella che viene utilizzata moltissimo da poco, cioè in passato era soltanto una funzione di appoggio. Per aumentare l'efficienza del Servizio in quella che è la previsione di ciò che sta accadendo abbiamo messo su una rete che è in grado di misurare l'accadimento di un fulmine con un errore di 500 metri e quindi questo ci permette di seguire il processo di evoluzione dei fenomeni atmosferici con effetti radioelettrici con grande efficienza e ci ha permesso, tra l'altro, di risolvere il caso di un aeroplano caduto in mare individuandone la posizione e la causa dell'evento proprio legata ad una sequenza di fulmini particolarmente intensa.

Il Servizio nasce per la previsione e fornitura del servizio alla navigazione aerea ma poi ci siamo evoluti verso diversi settori soprattutto quelli di Protezione Civile.

Nella Fig. 19 vediamo gli utenti del servizio che sono utenti nazionali ed internazionali per i quali noi facciamo i prodotti di base, ma nel caso particolare, l'elemento clima è l'elemento che siamo riusciti a raggiungere con la nostra divisione climatica perché abbiamo accumulato e reso disponibile tutti i dati climatici da circa un secolo.

Peraltro abbiamo trovato (grazie ad una ricerca fortunosa in un antico hangar) dati rilevati nelle colonie italiane che ci permettono di dare una indicazione dello stato climatico in paesi ora sovrani che un tempo erano colonie italiane, per cui abbiamo i dati di Rodi e del Dodecaneso, della Libia, della Somalia, dell'Eritrea, per fornire questi servizi abbiamo 20 uffici meteorologici sparsi sul territorio e con questi dati effettuiamo attività sperimentali.

Una delle attività sperimentali che ha avuto molto successo è stata quella di mettere 24 pluviometri di 24 fornitori mondiali, li abbiamo tenuti per un anno in un campo e ne abbiamo misurato l'efficienza e la differenza. Faremo lo stesso per tutti gli strumenti di radiazione solare. Abbiamo un piccolo laboratorio per le piogge acide, ovviamente per i casi di eventi di emergenza accorriamo. La mattina dopo del ter-

Figura 18

remoto dell'Aquila avevamo già aperto un ufficio meteorologico che ha permesso di assistere tutta l'attività di soccorso.

Per gli incendi boschivi diamo delle indicazioni, non di dove succederà l'incendio, ma indicazioni sullo stato di siccità, di periodi non piovosi, di temperature elevate.

Ovviamente facciamo una attività di addestramento, eroghiamo i servizi a tutti (compreso il turismo) e ultimamente anche l'indice di calore. Sul nostro sito sono disponibili tutte le indicazioni, appoggiamo il servizio meteomont per le valanghe che è un servizio che ha una funzione che si è sviluppata inizialmente sull'arco alpino e negli ultimi anni con il supporto del corpo forestale siamo arrivati fino al sud Italia.

Ultima novità che abbiamo effettuato utilizzando i modelli atmosferici che ci servono per le previsioni sono le stime per la propagazione delle nubi vulcaniche e la previsione dello stato del mare che sul

Mediterraneo ci ha dato degli ottimi risultati in quanto dove prima la previsione dello stato del mare e delle onde era di prevalenza di MeteoFrance adesso il nostro modello dai risultati sperimentali ha superato notevolmente la qualità dei precedenti.

Per poter funzionare dobbiamo operare in coordinamento con gli Enti internazionali del settore che sono l'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM), il Centro Europeo di Previsioni Meteorologiche dell'Unione Europea (ECMWF), EUMETSAT ente di gestione dei satelliti meteo, Eumetnet il nuovo centro costituito recentemente, una infrastruttura che ci permette di limitare i costi dello sviluppo e poi altri istituti europei; l'ultimo è l'Agenzia Internazionale per l'aviazione civile.

Abbiamo un organo di stampa e tutta l'informazione che produciamo è disponibile sul sito pubblico e anche l'Atlante è disponibile per intero sul sito.

Grazie per l'attenzione

# CLIMA E QUALITÀ DELL'ARIA: LE INTERCONNESSIONI

Mario CIRILLO
*ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale)*

**Sommario**

La qualità dell'aria ha subito in Italia profondi mutamenti dal secondo dopoguerra ad oggi. All'inquinamento prevalente di origine industriale, caratterizzato da alte concentrazioni in aria di biossido di zolfo e di particolato, si è sostituito, a partire dalla fine degli anni '70, l'inquinamento da trasporti che, come quello da usi civili, è di tipo diffuso e baricentrato nelle aree urbane. Emergono altri inquinanti, caratteristici degli autoveicoli, come monossido di carbonio e piombo, mentre la penetrazione di gas naturale (praticamente privo di zolfo) contribuisce in maniera determinante all'abbattimento delle concentrazioni di biossido di zolfo.

Nel corso degli anni successivi, con l'introduzione della marmitta catalitica che riduce tra l'altro le emissioni di monossido di carbonio e con l'introduzione della benzina senza piombo, viene alla ribalta l'inquinamento fotochimico di cui l'ozono della bassa atmosfera è il rappresentante più noto e, successivamente, la frazione del particolato inalato che penetra oltre la laringe ($PM_{10}$). Questi ultimi inquinanti hanno una caratteristica che ne rende molto più complessa la riduzione delle concentrazioni in aria: si formano in tutto (l'ozono) o in parte (il $PM_{10}$) in atmosfera a seguito di complessi processi chimici e fisici e sono chiamati per questo *inquinanti (totalmente o parzialmente) secondari*.

Ozono e particolato sono forzanti del clima: l'ozono è un gas serra; il particolato si stima abbia un effetto di raffreddamento, considerando anche le complesse interazioni che ha con la formazione e le caratteristiche delle nubi e tenuto conto che anche il vapor acqueo gioca un duplice ruolo: da una parte è un gas serra, anzi il principale gas

serra, e dall'altra sotto forma di nubi accresce l'albedo diminuendo l'energia radiante che viene assorbita.

Le variazioni climatiche che si stanno registrando in questi anni tendono dal canto loro a influenzare le caratteristiche meteodiffusive dell'atmosfera; in particolare inverni più miti portano in generale a condizioni più avverse alla dispersione degli inquinanti e all'aumento della radiazione solare al suolo: ciò favorisce alte concentrazioni di inquinanti in aria.

In questa situazione quali azioni intraprendere nel breve-medio periodo? Tutte le indicazioni, sia a livello internazionale che nazionale, individuano nell'*efficienza* e nel *risparmio energetico* la via più efficace ed efficiente dal punto di vista tecnico-economico, con positive ricadute sulle emissioni inquinanti, sulla sicurezza energetica e sulle tasche dei cittadini, oltre che sulle emissioni di gas serra. In particolare i settori su cui intervenire, che sono quelli attualmente più energivori e per i quali esistono maggiori margini di intervento, sono i *trasporti* e gli *usi civili*, localizzati peculiarmente nelle *aree urbane*.

Ne discende che il contesto su cui operare è prevalentemente quello urbano, dove attualmente vive la maggioranza della popolazione ed è caratterizzato da altre formidabili pressioni ambientali, e che il "gruppo bersaglio" su cui concentrarsi maggiormente sono i cittadini.

*Deficit di informazioni e di continuità nella politica energetica* i principali ostacoli da superare.

**Parole chiave**

Qualità dell'aria; cambiamenti climatici; efficienza energetica; aree urbane.

## Introduzione

Che clima e qualità dell'aria siano profondamente interconnessi è cosa nota ai tecnici e ricercatori del ramo. Ciò che forse ancora manca è la compiuta consapevolezza, a livello decisionale, che tale interconnessione implica un altrettanto forte collegamento tra le azioni e le politiche per la qualità dell'aria – solitamente attuate solo (sbagliando) a livello locale – e quelle per il clima.

Nel seguito si darà un breve resoconto della fenomenologia dell'influenza del clima sulla qualità dell'aria e viceversa, preceduto da una altrettanto rapida illustrazione dell'evoluzione della qualità dell'aria in Italia negli ultimi decenni.

A conclusione considerazioni a supporto delle politiche nel breve-medio periodo.

**Evoluzione della qualità dell'aria in Italia nell'ultimo mezzo secolo**

Le serie storiche di lungo periodo reperite ed elaborate durante le attività della Commissione Nazionale Emergenza Inquinamento Atmosferico (CNEIA, 2006) mostrano come in Italia a partire dagli anni '80 si sono conseguiti buoni risultati per la riduzione delle concentrazioni in aria ambiente di inquinanti quali biossido di zolfo ($SO_2$), monossido di carbonio (CO), piombo (Pb), benzene ($C_6H_6$). Questi inquinanti vengono chiamati *inquinanti primari*, perché si ritrovano in aria nella stessa forma in cui sono emessi, e il controllo dei loro livelli di concentrazione in atmosfera è diretto: basta agire sulle fonti per ridurre il rilascio in atmosfera di queste sostanze.

Nel caso del biossido di zolfo il risultato si è raggiunto utilizzando combustibili a basso e bassissimo tenore, o addirittura privi di zolfo (il gas naturale).

L'introduzione della benzina senza piombo ha ridotto le emissioni di piombo così come le marmitte catalitiche hanno ridotto le emissioni di monossido di carbonio e di benzene, e di conseguenza si è avuta una riduzione "strutturale" delle concentrazioni in aria per questi inquinanti.

Il discorso è completamente diverso per un'altra categoria di inquinanti dell'aria che comprende l'ozono ($O_3$), inquinante tuttora critico per le nostre città. In pratica non esistono sorgenti antropiche di emissione di $O_3$: questo inquinante si forma interamente in atmosfera, più precisamente nella bassa atmosfera [1] a seguito di reazioni chimiche

[1] Si parla qui dell'ozono troposferico (cioè della bassa atmosfera) che è a tutti gli effetti un inquinante, e non dell'ozono stratosferico (ovvero della alta atmosfera) che è utilissimo in quanto scherma la terra dai raggi ultravioletti e il cui assottigliamento ha dato luogo al fenomeno noto come "buco dell'ozono".

che avvengono principalmente tra gli ossidi di azoto e i composti organici volatili alla presenza di luce solare – e di conseguenza si chiamano "reazioni fotochimiche". Per questo motivo l'ozono viene denominato *inquinante secondario*, perché si forma interamente in atmosfera a partire da altre sostanze inquinanti dette *precursori* dell'ozono.

Il $PM_{10}$ [2] è in un certo senso in una situazione intermedia tra il monossido di carbonio e l'ozono, ovvero tra gli inquinanti interamente primari e quelli interamente secondari: la sua presenza in aria è infatti dovuta a una *componente primaria*, che è quella che deriva dal rilascio in atmosfera di $PM_{10}$ direttamente dalle fonti di emissione, più una *componente secondaria*, che si forma in atmosfera a seguito di processi chimici e fisici a partire dai precursori del $PM_{10}$: ossidi di azoto, biossido di zolfo, ammoniaca, composti organici volatili. Per il $PM_{10}$, che si rivela essere l'inquinante attualmente più critico in ragione degli alti livelli di concentrazione e dell'entità degli effetti negativi sulla salute, è possibile affermare che le concentrazioni in massa nell'aria si sono ridotte notevolmente tra la fine degli anni '80 e gli inizi degli anni '90 grazie all'abbattimento delle emissioni di $PM_{10}$ primario, per poi attestarsi su uno "zoccolo duro" di concentrazioni che, a quanto sembra, non si riesce a ridurre ulteriormente. Ora, questo zoccolo duro è dovuto per la maggior parte alla componente secondaria (cfr. per es. Billo, Grechi, Udisti, 2009).

Un altro inquinante attualmente critico è il biossido di azoto ($NO_2$) che si forma quasi interamente in atmosfera per ossidazione del monossido di azoto [3].

[1] Il $PM_{10}$ è il particolato (PM, *particulate matter*) di *dimensione* (più correttamente *diametro aerodinamico*) inferiore ai 10 μm (micrometri: 1 μm è pari a un milionesimo di metro), così come il $PM_{2,5}$ è di dimensione inferiore ai 2,5 μm. Esistono da tempo valori limite di concentrazione in massa in aria ambiente per il $PM_{10}$. La Direttiva 2008/50/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 21 maggio 2008, relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa, introduce soglie di concentrazione anche per il $PM_{2,5}$.

[3] I processi di combustione che generano ossidi di azoto ($NO_x$ = NO + $NO_2$) emettono generalmente per il 90-95% monossido e per la restante quota biossido di azoto

La difficoltà che attualmente si incontra nel ridurre le concentrazioni in aria di $PM_{10}$ (e $PM_{2,5}$), $O_3$ e $NO_2$ deriva dal fatto che sono inquinanti in cui la *componente secondaria* è esclusiva (ozono) o preponderante ($NO_2$ e, nelle condizioni attuali, $PM_{10}$). La conseguenza è che le concentrazioni in aria di questi inquinanti non sono legate in maniera semplice alle fonti di emissione, ma sono mediate da una serie di processi chimici e fisici *non lineari*.

Le ricadute in termini di strategie di controllo delle concentrazioni in aria sono cruciali: se si riducono del 50% le emissioni di monossido di carbonio in una certa zona, nella stessa zona si avrà una riduzione delle concentrazioni in aria di questo inquinante della medesima entità. Lo stesso discorso non si può fare per ozono e $PM_{10}$: la loro presenza in atmosfera dipende, come già detto, da una molteplicità di "ingredienti", i precursori: ossidi di azoto e composti organici volatili per l'ozono, ai quali si aggiungono gli ossidi di zolfo e l'ammoniaca per il $PM_{10}$ secondario. Non è assolutamente detto che una riduzione delle emissioni di qualche precursore comporti riduzioni delle concentrazioni di ozono o $PM_{10}$ secondario della stessa entità.

Tra l'altro, la loro formazione avviene contemporaneamente ai processi di trasporto e dispersione in atmosfera dovuti al vento e alla turbolenza, per cui una caratteristica tipica dell'inquinamento da $O_3$, $NO_2$ e $PM_{10}$ è che il territorio interessato è molto più esteso rispetto, per esempio, a quello impattato dall'inquinamento da monossido di carbonio.

Quanto detto fa capire perché provvedimenti a carattere strettamente locale, quali quelli che comunemente si prendono sul traffico in uno o più quartieri di una città, abbiano un'efficacia limitata.

Se si vuole combattere efficacemente le alte concentrazione di $PM_{10}$ e di $O_3$, occorre:

1. individuare i "fattori limitanti", ossia su quali precursori agire riducendone le emissioni per abbassare con profitto le concentrazioni di $O_3$ e di $PM_{10}$ secondario (oltre naturalmente a ridurre le emissioni di $PM_{10}$ primario che comunque sono tuttora significative);
2. agire a livello di area vasta, ad esempio l'intero bacino padano [4].

Finora, bisogna dirlo, si è andati avanti un po' "alla cieca", tentando di ridurre le emissioni ma senza sapere su quali, fra gli inquinanti

emessi dalle diverse attività (trasporti, usi civili, industria, agricoltura eccetera), sia necessario agire prioritariamente: i risultati, sotto gli occhi di tutti, sono il perdurare di concentrazioni in aria di $PM_{10}$ al di sopra delle soglie stabilite dalla normativa.

Con la Direttiva Europea 2008/50/CE sulla qualità dell'aria si sono posti valori-soglia anche al $PM_{2,5}$.

Da qualche anno crescente attenzione si sta prestando alle "particelle ultrafini" o "nanoparticelle"; con questi termini in genere si intende designare le particelle di dimensioni inferiori a 100 nm[5].

In termini di massa le particelle ultrafini contribuiscono pochissimo al $PM_{10}$ e al $PM_{2,5}$ mentre invece in termini di numero esse sopravanzano di gran lunga le particelle di dimensioni maggiori.

La considerazione delle particelle ultrafini rimette in discussione le modalità di misura del particolato in atmosfera: finora infatti la presenza delle particelle in atmosfera si misura come concentrazione in massa[6], e anche i valori limite in aria ambiente di $PM_{10}$ e $PM_{2,5}$ previsti dalla normativa sono espressi in microgrammi di particolato per metro cubo di aria. Per valutare in maniera appropriata la presenza delle particelle ultrafini è invece necessario *contare* le particelle pre-

[4] Uno studio modellistico condotto dall'Agenzia regionale prevenzione e ambiente dell'Emilia Romagna che ha considerato l'intero bacino padano stima che se si *azzerassero le emissioni inquinanti di tutta l'Emilia Romagna* sul territorio della stessa regione la media diurna estiva dell'ozono rimarrebbe sostanzialmente invariata, e la media annuale del $PM_{10}$ sempre sul territorio regionale dove, ripetiamo, le emissioni inquinanti sono azzerate, si ridurrebbe al massimo del 30-40%. Evidentemente il contributo maggiore alle concentrazioni di PM10 e ozono dell'Emilia Romagna proviene dalle aree esterne alla regione. (M. Deserti et al., 2006).

Il bacino padano costituisce indubbiamente una situazione peculiare, comunque in genere la riduzione delle emissioni per abbattere significativamente le concentrazioni di ozono e $PM_{10}$ deve essere realizzata su *aree estese* e *in via permanente*.

[5] nanometri, 1 nanometro è un miliardesimo di metro.

[6] In realtà la determinazione in massa del particolato è una misura molto grossolana per un inquinante così complesso, e peraltro non esente da notevoli complicazioni a paragone degli inquinanti gassosi – cfr. per es. Quincey and Butterfield, 2009.

senti nell'aria, per cui si parla di numero di particelle per centimetro cubo di aria.

L'interesse per le particelle ultrafini nasce dal fatto che queste, a causa delle loro ridottissime dimensioni, mostrano proprietà peculiari, radicalmente differenti dalle particelle di maggiori dimensioni, essenzialmente in virtù del *maggior rapporto superficie/volume* delle particelle ultrafini rispetto a quelle più grandi.

Se da una parte queste straordinarie peculiarità delle particelle ultrafini hanno consentito la nascita di un settore tecnologico tuttora in rapida evoluzione, quello delle cosiddette *nanotecnologie*, dall'altro ciò ha indotto a preoccuparsi anche dei possibili effetti sulla salute delle nanoparticelle in quanto si è visto che alcune possono attraversare le diverse barriere protettive degli organismi viventi.

**Quale l'influenza dei cambiamenti climatici sulla qualità dell'aria?**

È noto che la concentrazione in aria ambiente degli inquinanti *primari*, ovvero degli inquinanti presenti in aria nella stessa forma con la quale vengono emessi, dipende:

- dalla quantità di inquinanti emessi;
- dal vento e dalla turbolenza atmosferica.

In particolare la concentrazione in aria di un inquinante primario è *direttamente proporzionale alle emissioni* dello stesso inquinante e *inversamente proporzionale alla velocità del vento*.

Per gli inquinanti secondari (che si formano cioè in atmosfera a seguito di processi fisici e chimici) la situazione è sensibilmente più complicata, in quanto la concentrazione in aria ambiente degli inquinanti (totalmente o parzialmente) *secondari* dipende:

- dalle emissioni della (eventuale) componente primaria e dai precursori della componente secondaria;
- da parametri climatici come temperatura, umidità, velocità del vento e turbolenza atmosferica, oltre che dalla radiazione solare.

Dunque la formazione di ozono troposferico e altri inquinanti fotochimici, la formazione della componente secondaria del biossido di azoto e del particolato (sia organico che inorganico) dipendono oltre

che dalla radiazione solare da temperatura, umidità e altri parametri climatici (Cfr. per es. Seinfeld and Pandis, 2006; Stenby et al., 2005; Takekawa et al., 2003; Strader et al., 1999).

Inoltre, come si è già accennato, la formazione in atmosfera degli inquinanti secondari è un *processo non lineare*.

I cambiamenti climatici – indipendente dal fatto che siano originati o meno dall'intervento dell'uomo – implicano modifiche del regime dei venti, della temperatura, delle precipitazioni, della turbolenza e dell'altezza di rimescolamento, della radiazione solare, e quindi dei processi di dispersione e di trasformazione e formazione degli inquinanti nell'aria.

In Italia, analogamente con quanto avviene a livello globale (cfr. per es. Richardson et al., 2009), gli andamenti sul lungo periodo degli indicatori di temperatura indicano un aumento delle temperature dei bassi strati dell'atmosfera (Cacciamani e Deserti, 2009).

Per quanto riguarda le precipitazioni alcune analisi evidenziano una riduzione delle quantità annue di pioggia (Cacciamani e Deserti, 2009).

Un parametro particolarmente critico per la dispersione degli inquinanti in atmosfera è *l'altezza di rimescolamento*, ossia la quota dello strato di atmosfera in prossimità del suolo all'interno del quale gli inquinanti emessi in questo strato si disperdono verticalmente a causa della convezione o della turbolenza meccanica in tempi generalmente dell'ordine delle decine di minuti.

In pratica l'altezza di rimescolamento limita verticalmente la dispersione in atmosfera di quanto viene rilasciato all'interno di questo strato rimescolato, per cui di fatto la concentrazione in aria degli inquinanti è inversamente proporzionale all'altezza di rimescolamento: all'aumentare di questa diminuiscono proporzionalmente le concentrazioni.

Un'analisi condotta recentemente (Bolzacchini e Giuliacci, 2009) mostra che nell'ultimo mezzo secolo in Pianura Padana si riscontra in inverno una *diminuzione dell'altezza di rimescolamento* e un *aumento della frequenza e della persistenza* degli eventi caratterizzati da spessore ridotto dell'altezza di rimescolamento.

Sempre secondo l'analisi di cui sopra, in Pianura Padana negli ultimi trenta anni si riscontra in inverno un *aumento degli episodi di alta pressione* e un *incremento della radiazione solare* al suolo.

L'alta pressione invernale implica mediamente maggiori condizioni di stabilità ovvero bassa turbolenza, situazioni queste avverse alla dispersione e che favoriscono quindi alte concentrazioni degli inquinanti in aria.

Un aumento della radiazione solare al suolo favorisce le reazioni fotochimiche e quindi la formazione di inquinanti secondari, inclusa la componente secondaria del $PM_{10}$ che presenta le maggiori concentrazioni proprio durante la stagione fredda.

Uno studio condotto nella zona di Roma (Fiumicino) ha analizzato l'influenza sulle proprietà diffusive dell'atmosfera di un inverno particolarmente mite, quello del 2006-2007, mostrando come a temperature invernali più alte si accompagnano condizioni in media più avverse alla dispersione degli inquinanti dell'aria (Pasini and Cipolletti, 2007).

## Quale l'influenza degli inquinanti dell'aria sul clima?

Ozono troposferico e particolato (aerosol)[7] sono forzanti del clima, in quanto interagendo con la radiazione solare incidente e/o con la radiazione infrarossa emessa dai suoli e dall'oceano influenzano il bilancio radiativo del nostro pianeta.

L'ozono, che è un gas serra, ha un effetto forzante verso il riscaldamento, mentre l'aerosol si stima abbia complessivamente (considerando anche l'interazione aerosol-nubi) un effetto forzante verso il raffreddamento (IPCC AR4 WG1).

In particolare per quanto concerne l'aerosol vi è un effetto diretto di assorbimento e "sparpagliamento" (*scattering*) della radiazione incidente proveniente dal sole e di quella emessa dalla superficie terrestre, e un effetto indiretto essendo un'importante fonte di nuclei di condensazione delle nubi, oltre che influire su proprietà radiative e durata delle nubi stesse.

Ora, se da una parte il vapore acqueo è di fatto il primo gas serra

[7] Solitamente il termine *aerosol*, che indica la sospensione di particelle solide e liquide finemente disperse nell'atmosfera, si utilizza nell'ambito degli studi sull'atmosfera, mentre il termine *particolato* si usa quando ci si riferisce all'inquinamento dell'aria, in particolare quando si vuole sottolineare il contributo antropico.

in ordine di importanza, e senza la sua presenza in atmosfera la temperatura sulla terra sarebbe drammaticamente più bassa, dall'altra le nubi tendono ad aumentare l'albedo della superficie terrestre diminuendo la quantità di energia radiante che viene assorbita dalla superficie del pianeta. Si capisce quindi come l'interazione aerosol-nubi abbia importanza nel bilancio radiativo.

Di notevole interesse è a questo proposito un esempio di interazione aerosol secondario-nubi in Italia: eventi di nucleazione[8], che erano ritenuti significativi solo in aree remote e poco inquinate del pianeta, avvengono di frequente anche in Pianura Padana, un'area inquinata caratterizzata da alte concentrazioni di particelle pre-esistenti. Gli eventi di nucleazione osservati sono spesso molto intensi, e le particelle che si formano possono accrescersi nel giro di poche ore fino a dimensioni di 100–200 nm. Questi eventi costituiscono un'importante fonte di nuclei di condensazione di nubi (Laaksonen et al., 2005).

## Emissioni di inquinanti atmosferici e di gas serra in Italia

Il principale determinante delle emissioni antropiche sia degli inquinanti dell'aria che dei gas serra è *l'uso di energia*, in particolare quella che proviene da fonti fossili (petrolio, gas naturale, carbone).

Secondo le stime dell'ISPRA (ISPRA, 2009) in Italia a partire dai primi anni '90 si è consolidato il *disaccoppiamento* tra consumo di energia ed emissioni inquinanti in atmosfera: in altri termini, ad un aumento in questi ultimi anni del consumo di energia primaria nel nostro Paese fino al 20%[9] rispetto al 1990, corrisponde una diminuzione delle emissioni nazionali che per alcuni inquinanti (piombo, benzene, ossidi di zolfo) è molto rilevante superando l'80% e per altri (monossido di carbonio, ossidi di azoto, composti organici volatili) è molto significativa superando il 40%. Pure notevole è la diminuzione delle emissioni di $PM_{10}$, pari a circa il 30%. Inferiore la diminuzione del-

[8] La nucleazione è il processo attraverso il quale, tramite l'agglomerazione di molecole che si trovano nello stato di vapore, si formano nuove particelle in atmosfera.

[9] Nel 2006; negli anni successivi i consumi di energia primaria sono calati.

le emissioni di ammoniaca (intorno al 10%) legate in particolare ad agricoltura e allevamento.

I motivi di questa diminuzione generalizzata delle emissioni inquinanti in atmosfera – molto rilevante per alcuni, meno per altri – pur con un concomitante incremento dei consumi di energia, risiedono in una serie di *cambiamenti strutturali* degli usi e consumi energetici nel nostro paese, oltre che alla progressiva adozione di tecnologie per l'abbattimento delle emissioni inquinanti.

Nel 1971 in Italia il consumo di energia primaria è stato pari a 124,8 Mtep[10]; di questi, il 75% proveniva dal petrolio, il 9% dal gas naturale, l'8 % dal carbone, e un altro 8% era ripartito tra fonti rinnovabili (all'epoca fondamentalmente energia idroelettrica e geotermica) e importazione di elettricità dall'estero.

Nel 2008 – 37 anni dopo – il consumo energetico primario è salito a 192,1 Mtep (+54% rispetto al 1971), e la ripartizione in fonti primarie è profondamente modificata: 41% petrolio, 36% gas naturale, 9% carbone, 14% rinnovabili e importazione di elettricità. (ENEA, 2009)

Quello che è accaduto di veramente importante in quasi otto lustri è che la quota percentuale di gas naturale è quadruplicata, quella del petrolio si è quasi dimezzata.

Queste dinamiche energetiche da sole spiegano gran parte del rilevante abbattimento delle emissioni di $SO_2$, in quanto il gas naturale, come detto, è un combustibile praticamente privo di zolfo. Normative che prescrivono tenori di zolfo progressivamente più bassi nei combustibili e nei carburanti liquidi hanno ulteriormente favorito questa dinamica virtuosa.

Un altro intervento importante sulla qualità dei carburanti è stata l'introduzione nel 2002 della benzina senza piombo, che ha comportato una drastica diminuzione delle emissioni atmosferiche per questo inquinante.

L'adozione delle marmitte catalitiche nel parco veicolare, i miglioramenti dei processi di combustione nelle caldaie domestiche e industriali, i miglioramenti dei processi produttivi insieme all'introduzione di sistemi di abbattimento degli inquinanti atmosferici nel settore in-

[10] Mtep: milioni di tonnellate equivalenti di petrolio.

dustriale e di produzione dell'energia elettrica ha comportato il decremento delle emissioni di monossido di carbonio, ossidi di azoto, composti organici volatili incluso il benzene, nonché di particolato [11] e microinquinanti suoi costituenti quali metalli pesanti e composti organici persistenti.

L'unico inquinante per il quale i successi non sono così rilevanti è l'ammoniaca, in quanto emessa prevalentemente dal settore agricolo e degli allevamenti, e quindi poco correlata con i consumi energetici in senso stretto [12].

In definitiva il maggior uso di una fonte primaria "più pulita" – il gas naturale – unita alla progressiva adozione di combustibili e carburanti di migliore qualità, e di sistemi sempre più efficaci ed efficienti (in termini tecnici ed economici) di abbattimento delle emissioni inquinanti ha comportato per l'Italia il già menzionato disaccoppiamento tra consumi energetici ed emissioni inquinanti.

La stessa cosa non si può dire per i gas serra [13] che invece di disaccoppiarsi dal consumo di energia ne seguono nel tempo l'incremento.

Il motivo è che la grande maggioranza dell'energia in Italia proviene da fonti fossili: nel 2008 l'86%, di cui 41% dal petrolio, 36% dal gas naturale e 9% dal carbone [14]. È chiaro quindi che non può non esserci una alta correlazione tra consumi energetici ed emissioni di gas serra, per quanto il maggior uso di gas naturale, che a parità di conte-

[11] Alla riduzione delle emissioni di particolato ha contribuito in maniera rilevante la penetrazione del gas naturale, essendo le emissioni di particolato correlate in qualche misura col tenore di zolfo nei combustibili.

[12] Per quanto una fonte di emissioni crescenti di ammoniaca è quella dovuta al cattivo funzionamento delle marmitte catalitiche degli autoveicoli, e queste emissioni sono concentrate soprattutto nei centri urbani.

[13] Il principale gas a effetto serra di origine antropica è il biossido di carbonio ($CO_2$) detto pure anidride carbonica, a cui si aggiungono il metano ($CH_4$), il protossido di azoto ($N_2O$) e una quantità di altre sostanze che includono gli idrofluorocarburi (HFCs, *hydrofluorocarbons*), i perfluorocarburi (PFCs, *perfluorocarbons*) e l'esafluoruro di zolfo ($SF_6$).

[14] Il contributo dei combustibili fossili sui consumi energetici primari in Italia è complessivamente pari al 92% nel 1971, 90% nel 1981, 89% nel 1991, 87% nel 2001, 86% nel 2008: un lento ma costante decremento.

nuto energetico emette meno $CO_2$ rispetto al petrolio e ancor meno rispetto al carbone, ha comportato una crescita percentuale delle emissioni di gas serra di entità progressivamente minore della concomitante crescita dei consumi energetici.

## Qualche considerazione a supporto delle politiche di breve-medio periodo

In Italia la tendenza delle emissioni di gas serra almeno fino al 2006 è in crescita rispetto al 1990[15], e comunque si è notevolmente distanti dagli impegni di riduzione previsti per il nostro Paese. Per capire dove andare ad agire per favorire una *inversione strutturale* della tendenza delle emissioni di gas serra, che non sia legata cioè a eventi congiunturali quali la recente crisi economica, è utile considerare la dinamica di lungo periodo degli *usi finali dell'energia*.

In quasi otto lustri, dal 1971 al 2008, la struttura degli usi finali di energia in Italia è mutata profondamente: mentre nel 1971 era l'industria il settore maggiormente energivoro con una quota pari al 37% degli usi finali di energia, seguito dagli usi civili con il 28%, e i trasporti si collocavano all'ultimo posto con il 16% (la quota degli altri settori ammontava complessivamente al 19%), nel 2008 i settori più energivori sono trasporti e usi civili praticamente a pari merito con una quota del 31%, mentre la quota degli usi energetici finali nell'industria scende al 27% (quota complessiva degli altri settori: 11%).

Dunque trasporti e usi civili sono attualmente i settori dove si consuma più energia. Per di più questi consumi sono baricentrati prevalentemente nelle aree urbane, dove tende a concentrarsi la maggior parte della popolazione[16] con conseguente forte presenza di rilevanti pressioni e di impatti sull'ambiente[17] .

[15] Nel 2007 e 2008 vi è una contrazione delle emissioni di gas serra legata al concomitante decremento dei consumi energetici.

[16] Il fenomeno non è solo italiano: a livello europeo quasi i tre quarti della popolazione vive oggi in aree urbane, e saranno l'80% entro il 2020. Inoltre le città d'Europa consumano il 69% del fabbisogno energetico del continente (EEA, 2009).

[17] Le aree urbane sono i luoghi dove più critici sono i problemi di qualità

I cambiamenti che dagli anni '70 ad oggi hanno interessato il *mix* delle fonti energetiche primarie (con la forte penetrazione del gas naturale) e gli usi finali di energia (con il settore industria che da maggiore consumatore di energia negli anni '70 si trova oggi alle spalle di trasporti e usi civili) implicano un cambiamento nell'individuazione dei "gruppi bersaglio" su cui agire per ridurre le pressioni sull'ambiente atmosferico.

Dal secondo dopoguerra fino agli anni '70 è l'industria, e in particolare le grandi installazioni chimiche, siderurgiche e per la produzione dell'energia elettrica ad essere responsabili delle maggiori pressioni ambientali. È logico quindi che i grandi impianti e i poli industriali siano stati storicamente il principale "gruppo bersaglio", peraltro molto visibile e nettamente distinto dai soggetti che le pressioni ambientali le subiscono.

Già negli anni '80, e in maniera progressivamente più rilevante nei decenni successivi, sono i trasporti e gli usi civili che di fatto acquisi-

dell'aria. Inoltre vi è un'alterazione del microclima a causa dell'elevata densità di popolazione e conseguente eccesso di rilascio di calore rispetto alle zone rurali circostanti per le attività metaboliche, il riscaldamento/raffrescamento degli ambienti e i trasporti, cui si aggiunge una modificazione dell'albedo a causa della cementificazione/impermeabilizzazione di ampie porzioni del territorio urbano (*isola di calore urbana*).

Ancora, le nostre città sono caratterizzate da una congerie di altre formidabili pressioni ambientali quali congestione da traffico, elevata occupazione di suolo da parte di autoveicoli, presenza di grandi attrattori di traffico privato come centri commerciali e centri di svago, elevata contaminazione dei suoli, elevati consumi di acqua e produzione di rifiuti, inquinamento acustico ed elettromagnetico (ISPRA, 2009a).

A tutto questo si aggiunge il fenomeno espansivo dell'urbanizzazione diffusa conosciuto come *sprawl* urbano. Le implicazioni di queste dinamiche espansive sono molto pesanti in termini di consumi di suoli agricoli e aree boschive, e di mobilità; per quanto riguarda quest'ultimo aspetto una indagine sul fenomeno del pendolarismo registra che i pendolari italiani sono più di 13 milioni, cresciuti fra il 2001 e il 2007 del 36%. Predominante è il ruolo dell'auto privata, usata da più del 70% dei pendolari, prevalentemente da sola e marginalmente in combinazione con altri mezzi di trasporto (Ministero dei Trasporti-CENSIS, 2007).

scono peso crescente in termini di pressioni ambientali soprattutto nelle aree urbane (anche grazie ai processi di delocalizzazione delle attività industriali). Questi "gruppi bersaglio" sono radicalmente differenti dai grandi complessi industriali, trattandosi in ultima analisi dei cittadini che si trovano ad essere al tempo stesso inquinatori e inquinati: dunque un gruppo bersaglio estremamente frammentato, eterogeneo e molto più difficile da raggiungere [18].

Quanto detto sopra porta a concludere che:

- i *settori su cui intervenire* prioritariamente sono *trasporti* e *usi civili*;
- il *contesto* su cui operare prioritariamente è quello *urbano*.

Resta da chiedersi quale tipo di intervento su trasporti e usi civili sia consigliabile nel breve-medio periodo. La risposta è data in maniera chiara e coerente sia a livello internazionale (IEA 2008 che nazionale (ENEA, 2009): considerando le tecnologie e tecniche immediatamente disponibili l'analisi dei costi indica che nel breve periodo la prima priorità va data a *efficienza e risparmio energetico*.

Secondo il Rapporto Energia Ambiente 2008 (ENEA, 2009):

"*Il miglioramento dell'efficienza energetica costituisce quindi in certa misura non solo il fattore potenzialmente più rilevante ma anche quello più immediato e disponibile*

…

*L'efficienza energetica è senz'altro l'area più complessa da trattare non solo per la varietà di tecnologie che ad essa afferiscono ma anche per le sue implicazioni sociali, comportamentali (usi finali) e commerciali. In tutte le analisi e gli orizzonti temporali da qui al 2050 l'efficienza energetica risulta essere la risorsa più importante non solo ai fini della riduzione delle emissioni ma anche per il contenimento della domanda*

[18] Nella percezione diffusa si associa ancor oggi all'industria la principale responsabilità delle pressioni sull'ambiente, tanto che tuttora è il temuto impatto degli impianti industriali, degli inceneritori, delle centrali elettriche a suscitare spesso i maggiori timori nell'opinione pubblica. Le esalazioni da traffico in cui ci si trova immersi quotidianamente nelle città preoccupano in genere di meno.

*di fossili e il miglioramento della sicurezza energetica. La sua primaria rilevanza commerciale e industriale deriva dal fatto che essa investe non solo il settore dell'offerta ma anche e prevalentemente il settore della domanda di tecnologie energetiche.*

*…*

*La riduzione dei consumi energetici potenziale corrisponde a un mondo "ideale", nel quale produttori e consumatori agiscono in modo perfettamente razionale, adottando le tecnologie energetiche più efficienti non appena queste divengono "cost-effective". Nella realtà, però, queste decisioni risentono di una serie di fattori quali: l'uso di tassi di sconto distorti (in quanto sulle decisioni incidono fattori diversi dai soli costi economici); l'esistenza di deficit informativi e/o asimmetrie informative (le informazioni su costi e performance degli investimenti in efficienza energetica sono difficili da acquisire); la scarsità di incentivi per i finanziatori degli investimenti (anche quando i costi dell'efficienza energetica sono nettamente inferiori a quelli dell'acquisto di energia, gli investimenti necessari sono spesso difficili da finanziare); la maggiore importanza che i consumatori danno alle caratteristiche dei prodotti non riconducibili ad aspetti di efficienza energetica. La conseguenza di questa caratteristiche del sistema è che gli investimenti in efficienza energetica sono spesso considerati meno convenienti di altri tipi di investimento, per cui sono effettuati solo se il loro costo può essere recuperato in tempi molto brevi. L'investimento nelle tecnologie efficienti risulta dunque inferiore a quello ottimale, ed il sistema è caratterizzato dalla presenza di un c.d. "energy-efficiency gap" o "energy-efficiency paradox". Per superare queste barriere, che non sono di carattere economico, molto spesso è quindi necessario affrontare dei costi, come ad esempio quelli delle campagne informative o della fornitura di finanziamenti agevolati."*

Dunque molti punti di forza ma anche molti ostacoli che devono essere superati se si vuole che il vantaggio competitivo dell'efficienza e del risparmio energetico si dispieghi pienamente in una strategia per ridurre le emissioni inquinanti assicurando – laddove praticabile – gli stessi servizi con minore energia. Si otterrebbe in tal modo una riduzione delle emissioni di gas serra e di inquinanti atmosferici e una riduzione dei costi con ricadute dirette anche per i cittadini.

## Conclusioni

Le considerazioni svolte sopra suggeriscono che nel breve-medio periodo efficienza e risparmio energetico costituiscono l'opzione privilegiata dal punto di vista tecnico-economico con numerosi *punti di forza*. Questi punti di forza vanno oltre la dialettica tuttora in corso sulle cause all'origine degli attuali cambiamenti climatici, in quanto non si limitano alla riduzione delle emissioni di gas serra: vi è la *riduzione delle emissioni inquinanti*, il contenimento della domanda di fonti fossili con conseguenze positive sulla *sicurezza energetica*, la *riduzione della bolletta energetica* con positive ricadute economiche sulla collettività e direttamente sulle tasche dei singoli consumatori.

Non a caso l'Italia, dovendo importare la maggior parte dell'energia che utilizza, è stata da sempre uno dei paesi tra i più virtuosi e sfrutta ancora oggi una notevole rendita di posizione per quanto riguarda l'intensità energetica [19] e le emissioni pro capite di gas serra. A questo si aggiungono delle eccellenze ad esempio nel rendimento delle centrali termoelettriche (si pensi in particolare alle centrali a ciclo combinato gas-vapore).

Complessivamente però il vantaggio si è andato progressivamente erodendo [20], e sui settori dove ci sono ancora grossi margini di miglioramento – edilizia e trasporti – non si interviene come meriterebbero.

È vero che non vanno nascoste le *barriere* legate soprattutto alla difficoltà di coinvolgere i cittadini (il "gruppo bersaglio" più difficile in assoluto!) e a finanziare gli investimenti, prerequisiti indispensabili per il successo di una politica di risparmio energetico. Ambedue le barriere sono legate a deficit e asimmetrie informative da una parte, e alla percezione della mancanza di un orizzonte stabile di decisioni in campo energetico dall'altro.

Peraltro si colgono segnali sul fatto che la consapevolezza sta crescendo in ambiti che non sono esclusivamente quelli scientifici e tecnici.

[19] Energia per unità di Prodotto Interno Lordo.

[20] L'intensità energetica, che aveva registrato dei grossi miglioramenti immediatamente a valle della crisi petrolifera del 1973, non registra progressi praticamente dalla metà degli anni '80.

**Due esempi tra i tanti possibili:**

il politologo Giovanni Sartori pubblica un editoriale sul Corriere della Sera del 24 aprile 2009 dal titolo (per lui inusuale) "Una terra verde produce meglio" dove parla di *"riconversione in un'economia "verde" di risparmio energetico"*;

al Convegno *Green Italy* organizzato dalle fondazioni *Fare Futuro* e *Symbola* e tenutosi a Roma il 17 novembre 2009, il Presidente della Camera dei Deputati On.le Fini ha sostenuto tra l'altro che bisogna dare *continuità alla politica ambientale* e farne un *perno della politica estera* per poter *affrontare adeguatamente le sfide globali*, e che occorre *ripensare le politiche urbanistiche, abitative e dei trasporti*.

Segnali incoraggianti.

**Ringraziamenti**

Si ringraziano Silvia Brini, Patrizia Fiorletti e Luisiana Zega di ISPRA per i commenti e i suggerimenti.

**Riferimenti**

Billo, Grechi, Udisti, 2009. *PASF – 2, Particolato Atmosferico a Sesto F.no, $PM_{10}$ e $PM_{2.5}$, Luglio 2005 – Marzo 2007.* Relazione Finale Marzo 2009, Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Chimica

Bolzacchini e Giuliacci, 2009. *Comunicazione personale su uno studio condotto congiuntamente da "Environmental Chemistry, Particulate Matter Research Group, Department of Environmental Sciences, University of Milano - Bicocca" e da "Centro Epson Meteo"*. In corso di pubblicazione.

Cacciamani C. e Deserti M., 2009. *Cambiamenti climatici e connessioni con la qualità dell'aria*, presentato al Convegno "Qualità Ambientale", Imola, 24-25 giugno 2009.

CNEIA, 2006. Ministero dell'Ambiente, *Atti della CNEIA (Commissione Nazionale Emergenza Inquinamento Atmosferico)*.

M. Deserti, E. Minguzzi, M. Stortini, G. Bonafè, 2006. *Scenari futuri nel bacino padano.* In ARPA Rivista Luglio-Agosto 2006, pag. 24-25

EEA, 2009. *Ensuring quality of life in Europe's cities and towns*, EEA (European Environment Agency) report 5/2009

ENEA, 2009. *Rapporto Energia e Ambiente 2008.* Luglio 2009

IEA, 2008. *Energy Technology Perspectives 2008*

IPCC AR4 WG1, 2007. *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.

ISPRA, 2009. *Inventario nazionale delle emissioni in atmosfera*, disponibile in www.sinanet.apat.it/it/sinanet/sstoriche

ISPRA, 2009a. *Qualità dell'ambiente urbano*, V Rapporto ISPRA 2008, marzo 2009

Laaksonen, Hamed, Joutsensaari, Hiltunen, Cavalli, Junkermann, Asmi, Fuzzi, and Facchini, 2005. *Cloud condensation nucleus production from nucleation events at a highly polluted region*, Geophys. Res. Lett., 32, L06812, doi:10.1029/2004GL022092

Ministero dei Trasporti - CENSIS, 2007. *Indagine sul fenomeno del pendolarismo: gli scenari e le strategie*.

Pasini A. and F. Cipolletti, 2007. *Evidence of changes in diffusive properties over Italy during the period Novembre 2006-April 2007: a case study*. Il Nuovo Cimento, Note Brevi, Vol. 30 C, N.4, doi: 10.1393/ucc/i2007-10247-5

Quincey and Butterfield, 2009. *Ambient air particulate matter $PM_{10}$ and PM2.5: developments in European measurement methods and legislation.* Biomarkers, 2009; 14(S1): 34–38

Richardson C. et al., 2009. *Climate Change. Global Risks, Challenges & Decisions.* Copenhagen 2009, 10-12 March, Synthesis Report.

Seinfeld and Pandis, 2006. *Atmospheric chemistry and physics*, Wiley.

Stenby, Winterhalter, Nielsen, Moortgat, 2005. *Ozonolysis of monoterpenes: Temperature dependence of SOA yields*, poster presented at European Geoscience Union, General Assembly 2005.

Strader, Lurmann and Pandis, 1999. *Evaluation of secondary organic aerosol formation in winter*, Atmospheric Environment volume 33, issue 19, December 1999, Pages 4849-4863.

Takekawa, Minoura and Yamazaki, 2003. *Temperature dependence of secondary organic aerosol formation by photo-oxidation of hydrocarbons*, Atmospheric Environment volume 37, issue 24, August 2003, Pages 3413-3424.

# TEMA E VARIAZIONI

Frank RAES
*Centro Comune di Ricerca – Commissione Europea*

Un ringraziamento per l'invito molto gradito ed apprezzato all'Associazione Galileo 2001 da parte della Commissione Europea.

Sono Frank Raes, sono belga e lavoro ad Ispra, che è un piccolo paese sulle sponde del Lago Maggiore, al Centro Comune di Ricerca della Commissione Europea. Per prima cosa vorrei dire qualche parola su questo Centro di Ricerca.

Non è un centro molto centralizzato, ma consiste di 7 istituti sparsi in Europa su diversi siti Il sito più grande è quello italiano dove ci sono 3 istituti ed io lavoro all'Istituto per l'Ambiente e Sostenibilità, poi abbiamo il sito di energia a Petten in Olanda e l'Istituto a Siviglia dove lavorano i nostri economisti che fanno scenari economici.

Il nostro compito è fare ricerca applicata alle esigenze dello sviluppo delle politiche europee. Lavoriamo per i nostri colleghi "policy makers" a Bruxelles nei diversi gruppi come ambiente, agricoltura, trasporti, energia, ecc.

Facciamo da interfaccia tra la ricerca e lo sviluppo delle politiche che è una cosa non facile perché non c'è un manuale che ci dice come fare queste interfacce, come far conoscere le conoscenze scientifiche a coloro che devono sviluppare le politiche. Credo che il compito, non solo del CCR ma di tutti noi, è di far sì che le politiche si sviluppino con una base scientifica basata sulle conoscenze, ma anche fare sì che la ricerca non si sviluppi in una direzione che sia del tutto inutile alla società.

Ho pensato di darvi un esempio del nostro lavoro e come proviamo a fare da interfaccia fra la ricerca e la politica. Ripeterò molte cose che sono state già dette, ma quello che farò è di integrarle. Perché il

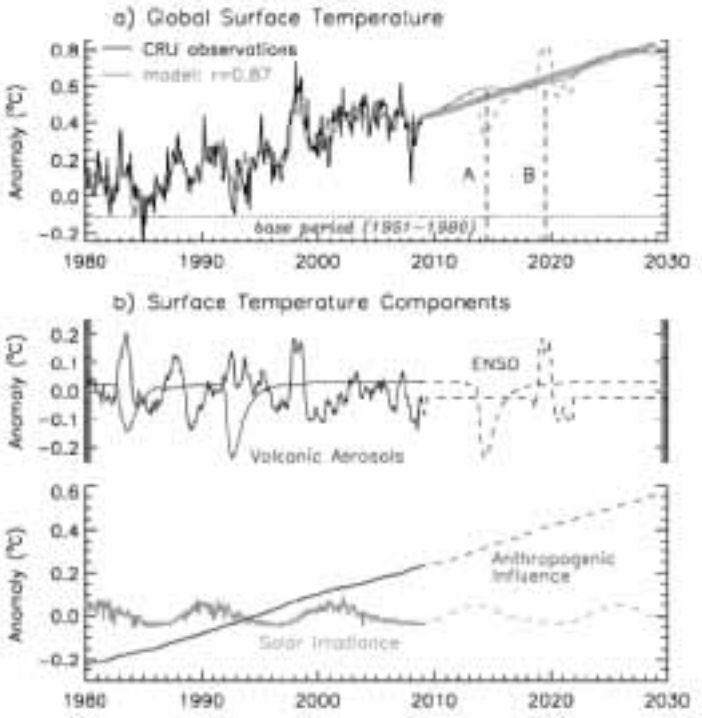



Figura 1

trucco è di integrare tutte queste conoscenze per dare una risposta al politico o a chi farà le politiche. Il politico quando dice che il clima sta cambiando si chiede cosa deve fare, e bisogna integrare tante conoscenze per dare una risposta.

Il titolo della mia relazione mi è venuto in mente quando ho letto le prime bozze di programma di questo convegno, dove si parlava quasi soltanto di "variazioni climatiche" e non di "cambiamento climatico". È chiaro che non si tratta solo di variazioni climatiche ma è il "tema" stesso, cioè, la temperatura media della Terra che sta cambiando.

Qualche mese fa c'è stato un bell'articolo su *Geophysical Research Letters*, che fa vedere benissimo la differenza tra variazione climatica e cambiamento climatico. In alto alla Fig. 1 vediamo la temperatura globale misurata negli ultimi 30 anni e sotto c'è la spiegazione di questo

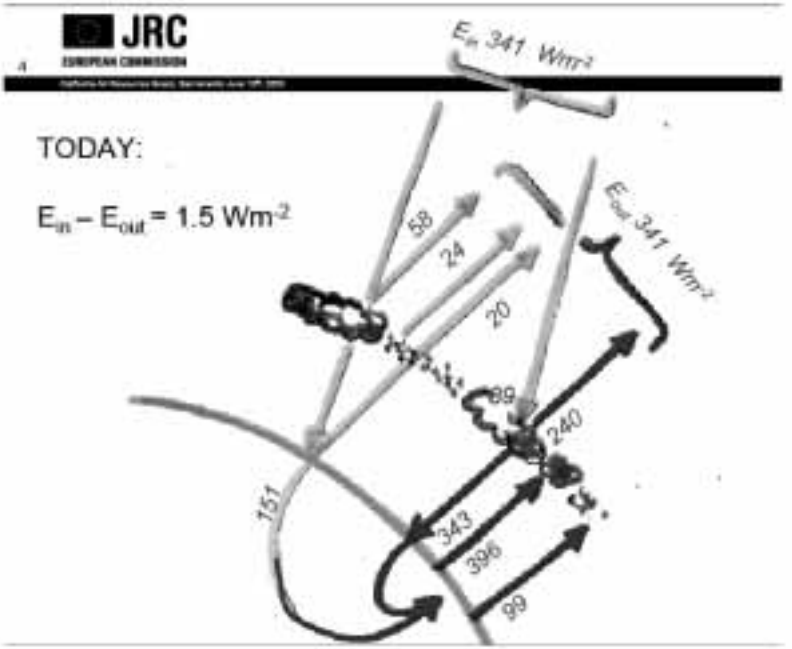



Figura 2

andamento. L'articolo fa vedere benissimo che tutte le variazioni climatiche possono essere spiegate da fluttuazioni naturali. Soprattutto fluttuazioni nella circolazione dell'Oceano, il fatto che ci sono stati dei vulcani negli ultimi 10 anni e perfino il ciclo regolare undecennale della luminosità del sole. Quindi tutte e tre le fluttuazioni riportate in fig. 1 riescono a spiegare le fluttuazioni che si vedono nella temperatura misurata.

L'aumento del "tema" (fig. 1 in basso), del valore medio della temperatura globale, può soltanto essere spiegato dall'azione dell'uomo. E cosa ha fatto l'uomo? L'uomo ha praticamente cambiato il bilancio energetico le nosto pianeta. Negli ultimi 10mila anni (v. fig. 2) e fino a 200 anni fa, l'energia assorbita dalla terra era uguale all'energia emessa dalla terra, ma negli ultimi 200 anni l'uomo ha cambiato soprattutto la composizione chimica dell'atmosfera ed oggi c'è uno sbilanciamento di questo bilancio energetico che corrisponde a 1,5 $Wm^{-2}$.

Quindi è un valore molto piccolo paragonato ai flussi assoluti di 340 $Wm^{-2}$: 1,5 è quasi immisurabile. Infatti fino a poco tempo fa era immisurabile, abbiamo saputo che c'era uno sbilanciamento perché stava cambiando la temperatura quindi abbiamo calcolato, basato su conoscenze più fondamentali – che ci deve essere uno sbilanciamento.

Recentemente siamo anche capaci di misurare questo sbilanciamento. È positivo, quindi la temperatura sulla terra "deve" aumentare.

Uno dei risultati più eclatanti (v. Fig. 3) della ricerca della chimica sull'atmosfera è che siamo riusciti a spiegare questo valore di 1.5 $Wm^{-2}$ perché effettivamente è la somma di diversi contributi che possono essere positivi (in grigio medio) e che possono anche essere negativi (in grigio scuro).

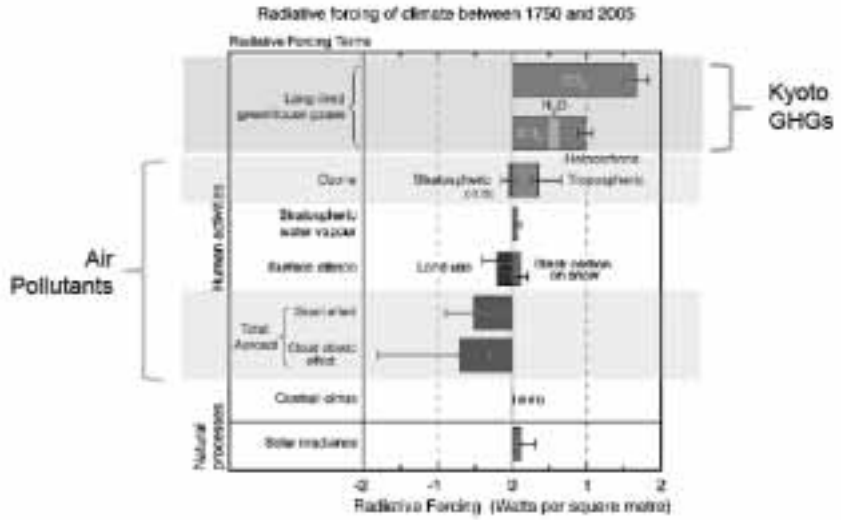



Figura 3

Quindi i gas serra che vogliamo controllare con il Protocollo di Kyoto, $CO_2$, metano, ecc, danno un forte contributo positivo, l'ozono troposferico è un inquinante atmosferico ma anche un gas serra, quindi contribuisce positivamente a riscaldare, e poi ci sono gli aerosol (o il particolato fine) che danno un contributo negativo e quindi tendono a raffreddare il pianeta.

Mi soffermo sulla fig. 3 perché fa vedere un po' le difficoltà per i policy makers. Da una parte lui o lei deve continuare a ridurre l'inquinamento atmosferico, quindi devono ridurre gli aerosol, perché l'inquinamento atmosferico fa male alla salute umana e agli ecosistemi. Però, riducendo l'inquinamento atmosferico porterà ad un aumento della temperatura. D'altra parte il policy maker deve ridurre i gas serra e deve farlo subito perché il tempo di residenza di questi gas è molto lungo, decine di anni per la $CO_2$, ad esempio, e quindi anche se riduce tutte le emissioni di $CO_2$ domani le molecole che sono già nell'atmosfera rimarranno ancora lì per decine di anni ed avranno ancora il loro effetto riscaldante. Gli inquinanti atmosferici, come l'ozono e gli aerosol, hanno un vita media nell'atmosfera di qualche settimana solo. Quindi, la riduzione della loro emissione, ha un effetto immediato sulle loro concentrazioni nell'atmosfera.

Ridurre le emissioni di gas serra vuol dire ridurre l'uso dei combustibili fossili. Ridurre i combustibili fossili vuole anche dire ridurre l'inquinamento atmosferico. Questo va bene perché è un importante compito, solo che l'effetto climatico di questa riduzione è immediato mentre la riduzione della $CO_2$ la vedremo soltanto fra qualche decennio.

Per aiutare il policy maker è chiaro che non serve solo un modello climatico, ma che bisogna mettere insieme tutta una catena di modelli. Il primo modello è un modello economico del mercato di energia globale che dice quanta energia verrà richiesta nel futuro (fossili, nucleari, ecc.). Questi (v. Fig. 4) sono scenari che vengono fatti dai nostri colleghi a Siviglia. Con questi modelli possiamo costruire degli scenari di emissioni di $CO_2$ e altri inquinanti, che poi alimentano i nostri modelli climatici o dell'atmosfera con cui calcoliamo l'impatto sul clima, sulla salute, sugli ecosistemi, ecc.

Al CCR abbiamo messo insieme questa catena di modelli che ci consente di partire da uno scenario prefiggendoci di ridurre la $CO_2$ nei prossimi 30 anni e di calcolare cosa vuol dire per il clima, per la salute umana, etc. Non ho tempo di andare nel dettaglio di ogni modello, voglio solo far vedere un risultato del modello economico dei miei colleghi a Siviglia. (fig. 5). Senza politiche, l'emissione globale di $CO_2$ continuerà ad aumentare e a raddoppiarsi in 50 anni. Per raggiungere l'obiettivo di 2 gradi dobbiamo seguire la traiettoria inferiore della fig. 5, quindi fra 10 anni, globalmente, dobbiamo cominciare a

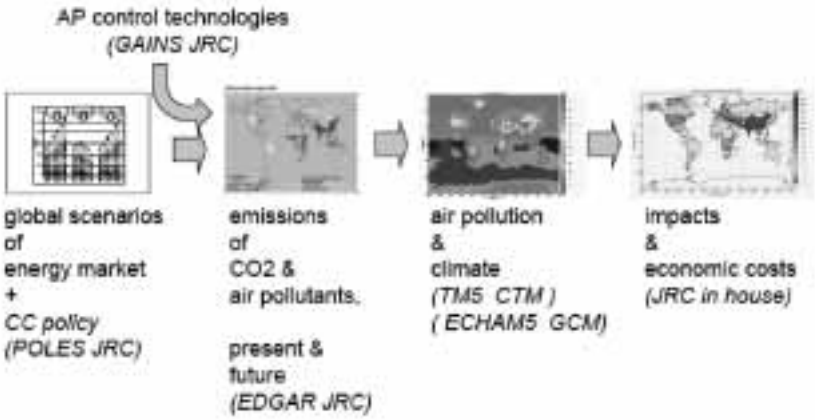



Figura 4

ridurre le emissioni. Secondo il modello di Siviglia questo si può fare in un modo più efficace e a buon mercato tramite l'efficienza energetica, poi cambiando dal carbone e metano, energia rinnovabile, energia nucleare e poi il stoccaggio del carbone. Queste sono le 5 grandi misure.

Questi scenari vengono usati dai nostri modelli climatici e atmosferici (vedi Fig. 4) per calcolare l'effetto sulla riduzione dei gas serra e dell'inquinamento atmosferico e finalmente il loro effetto sul clima. Il risultato complessivo è mostrato nella fig. 6.

Immaginiamo che ci sia solo la $CO_2$ in atmosfera; siccome la $CO_2$ aumenta nell'atmosfera la temperatura globale cresce. Con politiche per il clima che tendono a ridurre le emissioni di $CO_2$ possiamo stabilizzare il clima e la temperatura globale. Comunque, in realta, non c'è solo $CO_2$ nel sistema, ci sono anche gli inquinanti atmosferici, aerosol, ecc., e questi hanno mascherato l'effetto serra negli ultimi decenni. Dagli anni '80 in poi, in Europa e in America, abbiamo cominciato a pulire l'aria e quindi vediamo una accelerazione dell'aumento della temperatura. La riduzione di $CO_2$, necessaria per salvaguardare il clima, porterà un'ulteriore riduzione dell'inquinamento atmosferico, che, in se, è cosa buona, ma che potrà peggiorare la situazione climatica nei prossimi 10-20 anni, prima di arrivare alla stabilizzazione del

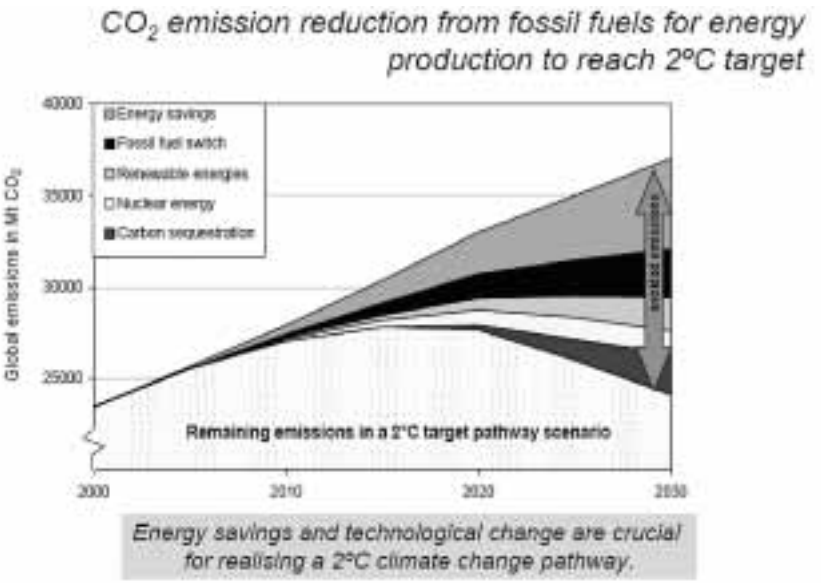



Figura 5

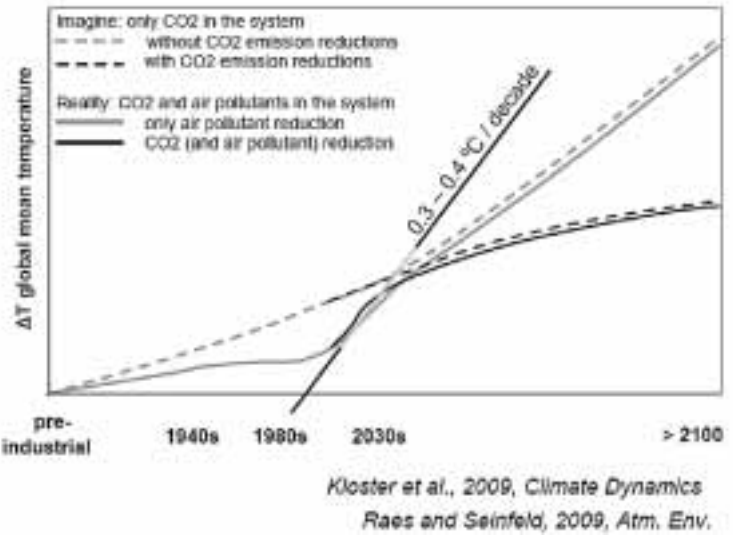



Figura 6

clima nel lungo termine. Questo può porre un problema all'ecosistema ma è anche un problema di comunicazione, perché adesso chiediamo al cittadino e alle industrie di ridurre le loro emissioni, e dobbiamo farlo (!), però il vero beneficio per il clima lo vedremo soltanto fra 50 anni, mentre nei prossimi 10-20 anni la situazione tenderà a peggiorare.

Come conclusione direi che 200 anni di uso di combustibili fossili hanno portato il mondo in una situazione (cambiamento climatico e inquinamento atmosferico) da cui sarà difficile uscire senza problemi, avendo introdotto in atmosfera qualche cosa farà male anche nei prossimi anni. Le riduzioni di gas serra sono necessarie per stabilizzare il clima nel lungo termine (>50 anni) e dobbiamo cominciare adesso. Soprattutto il mondo sviluppato deve ridurre le sue emissioni di gas serra. Nel breve termine (<30 anni) queste riduzioni risulteranno in co-beneficio come una qualità dell'aria migliore, una sicurezza energetica maggiore, nuovi posti di lavoro, ma porteranno anche un più rapido aumento della temperatura, con possibili problemi di adattamento ma anche con la necessità di comunicare bene quello che stiamo chiedendo al cittadino; servono politiche sofisticate, che puntano su inquinanti specifici (metano, ozono atmosferico…) per alleviare l'accelerazione dell'aumento della temperatura.

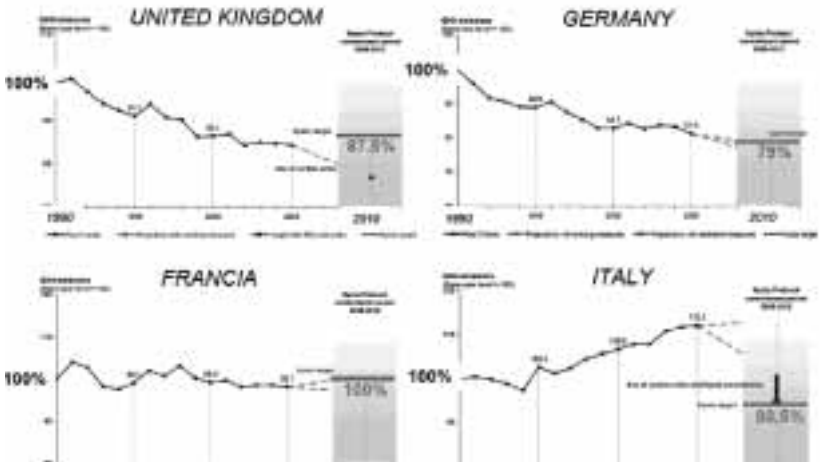



Figura 7

Il mondo sviluppato deve ridurre le sue emissioni di gas serra adesso, e poiché sono della Commissione Europeaa posso permettermi di farvi vedere questo grafico (fig. 7).

Vediamo che 3 dei 4 paesi europei del G8 dimostrano che non è impossibile ridurre i gas serra. Germania, Inghilterra hanno ridotto drasticamente le loro emissioni negli ultimi 10 anni senza diventare poveri. È ora che anche l'Italia inizi a fare qualcosa.

Grazie.

# PRIMA TAVOLA ROTONDA

Carlo BERNARDINI

Permettetemi di dire due brevissime parole, nel venire qua mi sono ricordato che tanti anni fa (quasi 30 anni fa) avevo fatto pubblicare la traduzione di un libro di un sociologo inglese che si chiamava David Collingridge; il libro si intitolava "il controllo sociale delle tecnologie" e c'era un capitolo che oggi sarebbe stato intitolato: "decisioni in condizioni di ignoranza". Adesso vorrei porre a tutti i partecipanti una domanda che trasferisce un po' il problema su un piano squisitamente epistemologico perché sappiamo che ci sono delle cose che sono intrinsecamente impredicibili e delle cose che non si riesce a predire perché mancano i dati; e difatti una delle risposte dell'autore del libro diceva che quelli che si trovano sempre in condizioni di decidere in stato di ignoranza sono i politici. E allora cosa bisogna fare? Bisogna dirgli di "sganciare" i denari necessari per fare la ricerca che vi permette di decidere in condizioni di conoscenza invece che di ignoranza. Gli scienziati dovrebbero soddisfare questa esigenza. Oggi mi sono un po' meravigliato perché l'unico che ha parlato di Lorenz mi pare sia stato Castellari, il problema di avere a che fare con sistemi violentemente non lineari, che hanno una estrema sensibilità alle condizioni iniziali mi sembra che abbia a che fare con tutto quello che è stato raccontato.

Quindi per quanto si facciano calcolatori precisi e rilievi quasi continui delle condizioni iniziali, se ci sono degli "esponenti di Liapunov" di quelli terribili, qui non si prevede nulla. È inutile parlare di previsioni se la cosa è intrinsecamente indecidibile. Adesso io vorrei sapere la vostra impressione: se siamo in una situazione intrinsecamente indecidibile oppure se il problema sia quello di produrre dati sufficientemente ricchi per poter utilizzare modelli, anche non lineari, di una certa efficienza.

Comincio ad avere dei forti dubbi da quello che ho sentito, però questa mattina ho visto che anche Clini sembrava avesse le idee chiare, cioè ha presentato dei dati, degli elementi per cui sembra che la condizione di "ignoranza" riguardi, almeno stavolta, più gli scienziati che non i politici.

Uberto CRESCENTI

Ho ascoltato con evidente interesse la relazione da poco conclusa di Frak Raes dell'JRC-Ispra-Euratom. Dico subito che non concordo affatto con quanto riferito. Si tratta, a mio modesto avviso, di una relazione "politica" e non scientifica, che parte dalla certezza che l'Uomo è il responsabile del Riscaldamento Globale del nostro Pianeta (AGW, antropogenic global warming) attraverso le emissioni di gas serra, $CO_2$ in particolare. Su questa certezza si basano come noto il Protocollo di Kyoto e le iniziative dei Governi tese alla riduzione della $CO_2$ in atmosfera. Sono invece fermamente convinto che in fatto di clima non esistono certezze, tantomeno quelle sbandierate come risultato di sofisticati modelli matematici che non possono tenere conto di tutte le complesse variabili che controllano e determinano il clima. Manca a queste previsioni la storia climatica del passato, che testimonia come il nostro Pianeta si è comportato in fatto di clima a suo piacimento, in maniera non codificabile, e soprattutto condizionato da fattori astronomici e dall'attività del sole, nei confronti dei quali l'Uomo non ha possibilità di intervenire. Le Scienze della Terra, e non solo, come ad esempio la dendrocronologia, consentono di andare a ritroso nel passato per ricostruire le variazioni climatiche che hanno caratterizzato il nostro Pianeta; lo studio del passato può essere utilizzato per tentare di fare previsioni future.

Come noto l'evoluzione climatica degli ultimi 400 mila anni ricostruita attraverso le perforazioni del ghiacciaio di Vostok in Antartide mostra che circa ogni 100 mila anni si sono succedute fasi fredde della durata di circa 90 mila anni e fasi calde di circa 10 mila anni; all'interno di ogni fase ci sono state comunque oscillazioni cicliche di temperatura anche consistenti. Circa 12 mila anni fa siamo entrati nella fase calda nota come Olocene, che ha fatto seguito ai 90 mila anni di freddo. Se la Terra dovesse comportarsi come nel passato, dovremmo andare verso i 90 mila anni di freddo. D'altro canto, se approfondiamo le variazioni cicliche all'interno dei nostri ultimi millenni, rileviamo

che dopo l'optimum climatico medioevale (1100-1400 circa), attraverso un periodo di transizione siamo entrati nella piccola età glaciale che si è conclusa dopo il 1850. Successivamente, attraverso una fase di transizione dovremmo entrare in una fase calda. Che è quella che stiamo vivendo. Il riscaldamento globale è allora un evento naturale e non può attribuirsi all'Uomo. Da quanto riferito risulta che, se facciamo previsioni su un arco di tempo millenario, dovremmo andare verso una fase fredda, se invece limitiamo le nostre previsioni su un arco di tempo centenario, si dovrebbe andare verso una fase calda. Ma è d'obbligo chiedersi: la natura si comporterà come nel passato? E qui non abbiamo risposte. Da qui discende il mio convincimento che in fatto di clima la Scienza non ha certezze.

L'IPCC non utilizza per le sue previsioni le conoscenze del passato, ma concentra la sua attenzione soprattutto sugli ultimi 1000 anni. E qui si colgono inoltre incongruenze che fanno sospettare sulla correttezza dei dati riferiti, come quelli relativi alla famosa mazza da hockey di Mann e collaboratori, in cui viene cancellato l'Optimum climatico medioevale. Eppure, questa fase calda è ampiamente dimostrata dalla storia e rappresenta una certezza nel mare dei dubbi che si hanno in fatto di clima. Questa fase calda che certamente non può essere attribuita alle attività antropiche, che si è realizzata con temperature superiori di 1-2 gradi C° rispetto ad oggi, crea fastidio all'IPCC per sostenere le proprie tesi catastrofiste, anche perché durante il Medioevo non sono note catastrofi ambientali come quelle annunciate se non si attuerà il Protocollo di Kyoto. Di recente l'IPCC ha definito "heterogeneus" e limitato all'Europa l'Optimum caldo medioevale, di fronte alle evidenze ed i numerosi articoli che dimostrano tale fase calda. Si legga per confermare questa fase calde medioevale, l'interessante pubblicazione di Umberto Monterin, fornitami dal collega Luigi Mariani, non frutto di modellazioni matematiche ma di dati validi con assoluta certezza. Ed in questo caso la parola certezza è del tutto appropriata essendo riferita a dati ricavati sperimentalmente e controllabili.

Concludo dicendo che l'applicazione del Protocollo di Kyoto, che si basa su una affermazione che non è certa, ossia l'attribuzione all'Uomo del riscaldamento globale, appare del tutto inopportuna e troppo costosa alla comunità.

Guido FANO

Non ho abbastanza conoscenze nel campo per poter rispondere in modo esauriente alla domanda di Carlo Bernardini riguardante il fatto se i fenomeni climatici sono impredicibili o meno a causa delle non linearità. Comunque credo che mentre una predizione accurata è impossibile, alcuni risultati "medi" si possono prevedere almeno come ordine di grandezza.

Io mi sono occupato (e da non molto tempo) di un piccolo campo che è quello del ciclo del carbonio. Colgo l'occasione per rispondere a Ricci che questa mattina ha menzionato i tempi di residenza della $CO_2$ nell'atmosfera come un qualche cosa su cui ci sono molte valutazioni discordi.

Io penso che le stime della comunità scientifica su questi temi non siano tanto discordi come sembra, e questo per due motivi: il primo che esistono nella letteratura scientifica diverse definizioni e quindi occorre far attenzione a non confonderle; il secondo motivo è che trattandosi di argomenti di vitale importanza un gran numero di "semi-esperti" si sentono autorizzati ad intervenire aumentando la confusione.

È chiaro che il problema è importante, perché se il tempo di residenza della $CO_2$ nell'atmosfera fosse di pochi anni (5 o 10) non saremmo troppo preoccupati del riscaldamento globale, ma se invece fosse di 30-50 o più anni le cose cambiano.

Ora la questione non è semplice perché l'assorbimento della $CO_2$ nell'acqua del mare dà luogo a complicate reazioni chimiche che comunque sono ben conosciute; inoltre, come ho appena detto, il concetto di tempo di residenza si presta a diverse interpretazioni; ricordo che Rubbia disse una volta in una audizione al Senato, che nell'atmosfera c'è ancora metà della $CO_2$ prodotta dall'incendio di Roma di Nerone. Le cose non stanno esattamente così: la frazione o meglio l'accrescimento (stabile, anche dopo 2000 anni) della $CO_2$ nell'atmosfera è di circa il 20 %. Invece se si suppone che l'immissione antro-

pogenica continui col ritmo esponenziale attuale, allora è vero che la frazione che rimane, cioè la "airborne fraction" è di circa il 50 %. Io ho scritto una piccola nota didattica (*) in cui viene calcolato il tempo di residenza usando dei modelli compartimentali (i compartimenti sono l'oceano, l'atmosfera, la vegetazione, ecc.)

Questi modelli sono certamente semplificati ma abbastanza ben fondati. Infatti per i calcoli è sufficiente assumere che la probabilità che una molecola in un anno passi da un compartimento A ad un compartimento B sia uguale al flusso globale annuale da A a B diviso il valore della quantità di $CO_2$ in A. L'inverso di questa probabilità si chiama turnover time che, per esempio, per l'atmosfera è molto piccolo perché 100 petagrammi di carbonio passano in un anno, ad esempio, dall'atmosfera al mare o alla vegetazione e 6-700 sono i petagrammi dell'atmosfera, quindi è dell'ordine di circa 6 anni, ma questo è appena il turnover time. Il turnover time dell'oceano è invece circa 50 volte più grande, e questo è abbastanza intuitivo data la grande massa dell'oceano. Invece il tempo di equilibrio (equilibration time) lo si ottiene prendendo la miglior stima possibile della quantità nell'atmosfera in funzione del tempo dopo l'immissione di un impulso in atmosfera (come l'incendio di Roma) e facendo un best-fit (ossia la miglior approssimazione) con un esponenziale decrescente. Allora se si fanno queste distinzioni viene fuori che il tempo di equilibrio della $CO_2$ è dell'ordine di qualche decina di anni (20-30 anni); inoltre c'è una parte che rimane in eterno perché questi modelli danno anche un esponenziale con esponente uguale a zero e quindi c'è una porzione (circa il 20%) che rimane per sempre per cui Rubbia aveva in parte ragione.

Una piccola osservazione sulle questioni della non linearità: di queste questioni ce ne sono che sono risolvibili facilmente, c'è una prima non linearità che è quella che riguarda il flusso dall'oceano all'atmosfera dove il flusso non è proporzionale alla quantità di $CO_2$ dell'oceano superficiale ma ad una sua potenza e questa potenza è il fattore di Revelle. Questo fatto è assai importante perché il fattore di Revelle vale circa 10 per la $CO_2$ normale ed è invece uguale a 1 per l'isotopo 14.

(*) G.Fano, "A primer on the carbon cycle", *American Journal of Physics* 78, 367 (2010)

Il risultato sembra stranissimo perché gli isotopi hanno le stesse proprietà chimiche, ma lo si può provare con matematica rigorosa ed è dovuto alla scarsissima quantità di $14CO_2$ nell'oceano. Mi spiace per Lintzen che in una sua lettera disse ironicamente che bisognava dare il premio Nobel a chi ha detto questo, mentre la cosa è vera. Io ho scritto a un esperto, il Dr. Joos che mi ha confermato che il fattore di Revelle è uguale a 1 per 14 $CO_2$. E questo è un effetto della non linearità.

Poi vi è una seconda non linearità, che riguarda l'assorbimento per fotosintesi da parte delle piante. Bene, per farla breve dirò che queste formule non lineari nella quantità di $CO_2$ in un dato compartimento ci sono, e quando si va a seguire quello che succede alla $CO_2$ di origine fossile e alla $CO_2$ non fossile, si vede che la non linearità dà origine ad un mix delle due anidridi carboniche, mix che non ci sarebbe se i modelli fossero lineari.

In conclusione la mia tesi è: non tutte le non linearità sono impossibili da trattare e danno luogo a fenomeni caotici e non tutti i calcoli che riguardano le previsioni sul ciclo del carbonio e sul riscaldamento globale – soprattutto quelli relativamente semplici – sono da considerarsi poco affidabili.

Giovanni Vittorio PALLOTTINO

Intanto voglio prendere atto del rigore scientifico e dell'onestà intellettuale con cui in questo convegno, come abbiamo ascoltato, è stato affrontato il difficile e controverso problema del riscaldamento globale: entità effettiva, cause e conseguenze. Manifestando, come è corretto in ambito scientifico su temi aperti, diversi punti di vista, alcuni anche largamente antitetici. E sollecitando dunque un maggiore impegno di ricerca, che possa condurre a conclusioni maggiormente condivise. Ma comunque dobbiamo rilevare che, in particolare, non vi è affatto consenso sulle linee catastrofiste che i media stanno trasmettendo alla pubblica opinione. Come abbiamo sentito qui da Alfonso Sutera e da Franco Prodi, e come avevo sentito tempo fa da Guido Visconti ai Lincei.

Per quanto mi sembra di aver capito, non è affatto chiaro che il riscaldamento terrestre degli ultimi decenni (con qualche incertezza riguardante gli ultimi anni) sia stato effettivamente causato dalla crescita del contenuto di $CO_2$ nell'atmosfera, che invece è un fatto indiscutibile. A meno che non si voglia commettere l'errore filosofico di confondere il *post hoc* con il *propter hoc*. E allora si pone un quesito assai delicato: una eventuale riduzione delle emissioni antropiche di $CO_2$ quanto si rifletterebbe effettivamente nel contenuto totale di $CO_2$ nell'atmosfera? In effetti la riduzione delle emissioni verificatasi nei primi anni '80, a seguito della diminuzione dei consumi mondiali di energia dovuta alle crisi petrolifere degli anni '70, non condusse a modificare la curva di crescita della $CO_2$. Sicché sarà interessante, a breve, vedere se la crisi economica attualmente in corso condurrà a qualche modifica sull'andamento dei dati sulla $CO_2$.

Vi è poi il problema dell'accettazione delle tecnologie energetiche, come in generale di tutte le nuove tecnologie, da parte della generalità della popolazione. Questo processo si articola generalmente in tre fasi, che spesso però collassano nella seconda:

- curiosità positiva

- avversione
- accettazione/assuefazione

e che comunque sono fortemente condizionate, oggi in particolare, dall'azione dei media.

Di esempi al riguardo è ricca la storia. Un caso di avversione iniziale riguarda la legge britannica del primo '800 che per fare accettare le ferrovie imponeva che i treni fossero sempre preceduti da un un uomo a cavallo con bandiera per avvisare uomini e animali del pericolo incombente. Un esempio di avversione dopo una iniziale curiosità positiva è dato dai movimenti ecologisti contro l'installazione delle turbine eoliche. Al quale si contrappone un esempio di accettazione storica: ci è assai gradita, oggi, la vista dei mulini a vento, ma cosa pensavano gli ecologisti dei secoli scorsi dell'alterazione del paesaggio creata da queste torri mostruose, brutalmente inserite nel bucolico panorama dei bassopiani olandesi?

E allora il problema centrale, in questo momento, consiste proprio nell'attuazione di una sana, semplice e corretta divulgazione delle reali caratteristiche delle diverse tecnologie energetiche che si propongono oggi, per favorirne l'accettazione superando preconcetti e balle metropolitane.

Ma attenzione anche all'azione degli enti locali. Proprio il 25 settembre scorso la regione Lazio ha varato una delibera per impugnare davanti alla Corte Costituzionale la legge 99 del 23 luglio (sviluppo in materia di energia, cioè avvio del nucleare). Altre regioni non saranno da meno!

Antonio SPERANZA

Su questo problema del Cambiamento Climatico, che seguo fin dagli anni 70, si sono continuamente sovrapposte tante problematiche diverse: tra queste la problematica strettamente scientifica ha svolto un ruolo sempre più ridotto.

Una prima problematica che ha giocato un ruolo assai rilevante è quella della determinazione della "verità scientifica": non dimentichiamo che il meccanismo di "assessment" riguardante il riscaldamento globale è forse il più grande esempio di "consensus science" di cui storicamente disponiamo. Dato che le conclusioni scientifiche e le metodologie adottate per determinarle sono cose diverse, si potrebbe essere d'accordo con le conclusioni ma non con le modalità. Di fatto più di uno scienziato pensa qualche cosa del tipo "si, forse le valutazioni sono corrette ma non sono d'accordo con il metodo perché in futuro determinando la verità scientifica su altri meccanismi con queste modalità potremmo avere risultati sbagliati supportati da grande consenso e, conseguentemente, decisioni drammaticamente sbagliate e portatrici di conseguenze assai negative.

Un'altra problematica, non meno rilevante come ruolo, è quella che Corrado Clini ha portato in chiaro questa mattina: quale è e quale deve essere il ruolo della Politica nella pianificazione scientifica? A titolo di esempio in materia posso riportare una mia personale esperienza come delegato nazionale nel Settimo Programma Quadro per la Ricerca nel sesto settore "Environment (including Global Change)". Noi delegati effettuiamo la programmazione europea partendo da quelli che sono esplicitamente chiamati i "forzanti politici" (political drivers). Questi a volte sono costituiti da temi rilevanti, ma a volte da temi davvero di breve termine e ridotto momento! Si tratta, ripeto, di un meccanismo già operante: posso anticipare, ad esempio, che nei nuovi bandi europei non ci sarà il tema studio del clima in sé ma ci sa-

ranno gli altri temi che il Dr. Clini stesso ha menzionato: impatto, strategie di adattamento, ecc. ecc.

Questo meccanismo è operante anche in altre discipline, ci si deve rendere conto che non riguarda soltanto l'ambiente perché le problematiche ambientali toccano ormai i beni culturali, la sanità ed infinite altre cose.

In conclusione, questa questione del rapporto con la politica andrebbe vista con estrema attenzione….

Per completare il ragionamento, una mia preoccupazione come docente e come formatore è quella che molto spesso adattando la formazione ai bandi scientifici, anche le carriere scientifiche di standard europeo che ne derivano vedono i giovani "lanciati" su problemi non maturi. A volte le nuove generazioni vengono mandate, con questo tipo di programmazione, al massacro: magari produrranno decine e decine di lavori ma poi, quando il fuoco politico si sposta da un'altra parte, buona parte di quanto prodotto rimarrà indietro, generando un senso di disaffezione.

Termino con una considerazione sulla citata "impredicibilità" che nella formulazione canonica è deterministica: riguarda una misura dell'errore di previsione con modelli deterministici, errore che diventa "totale" (vale a dire confrontabile con la varianza del processo) dopo un tempo finito. Una stima, abbastanza condivisa, per la componente atmosferica del sistema climatico è tra 5 e 10 giorni. Questo riguarda la componente atmosferica in operazioni di tipo previsionistico meteorologico e come impredicibilità deterministica. È ovvio che quando si esce dalle operazioni tipo "forecast" meteo e si muove verso previsioni di tipo climatico ci si accontenta di molto meno: l'idea è di riuscire a prevedere qualche momento della distribuzione statistica o, se vogliamo andare sul raffinato, una misura sull'attrattore del sistema. Ma nessuno è riuscito ad ottenere nulla di questo genere. Sulle previsioni stagionali, ad esempio, ci sono delle sperimentazioni in cui ci si accontenta di cercare di prevedere delle medie, con la probabilità di questa media di essere al terzo superiore o basso della varianza. Ma, ripeto, al momento non ci sono risultati probanti.

Grazie.

Francesco TAMPIERI

Due parole a commento di questo dibattito complicatissimo. Dal mio punto di vista, cioè di persona che lavora direttamente su alcune di questi argomenti, è interessante ed anche buffo osservare come da dati che sostanzialmente presuppongo siano stati raccolti onestamente si possa giungere a dibattiti così accesi ed a posizioni così divergenti. Dunque è evidente, e vale la pena di ricordarlo in questo momento, che il dato da solo non basta per capire cosa accade e prevedere cosa avverrà al sistema climatico, e che occorre avere un modello nella testa per organizzare questi dati e comprenderne le implicazioni.

Evidentemente abbiamo a disposizione una pluralità di modelli e non siamo in grado a tutt'oggi di capire quale sia il migliore.

Questo ragionamento si lega in qualche modo alla questione che poneva Carlo Bernardini prima: un modello, semplice o complicato che sia, di un processo con una forte componente stocastica, del quale noi osserviamo una realizzazione, ci racconta qualcosa sulle proprietà statistiche del processo, ma non ci fornisce ovviamente una descrizione deterministica del processo stesso. A maggior ragione in questo caso, dove noi osserviamo una realizzazione in cui il rumore è veramente importante e di grande ampiezza. Dunque ci troviamo in difficoltà nella stessa fase di verifica dei modelli, per scegliere quello che meglio approssima la realtà, al fine di ottenerne poi previsioni.

Se tutto questo giustifica un dibattito così acceso, non aiuta direttamente la società nel prendere delle decisioni. Piuttosto, mette in evidenza l'importanza di quanto diceva prima Antonio Speranza, che cioè bisogna approfondire le conoscenze e formare le persone. Questo significa anche che alla società, che chiede alla scienza delle risposte, occorre trasmettere un messaggio fondamentale, che cioè non si possono affrontare questi argomenti sfidandosi con le alabarde e cercando di ottenere il consenso sull'una o sull'altra posizione, ma si de-

ve favorire e sostenere la ricerca per ottenere le risposte, dovendo peraltro ammettere la nostra attuale ignoranza su molti aspetti cruciali.

Per finire vorrei raccontare in modo sommario (e personale) un passaggio chiave nella storia dello studio della turbolenza (turbolenza che costituisce un paradigma chiave per affrontare il problema della modellistica del clima).

Lo studio della turbolenza nei fluidi risale assai indietro nel tempo (a Leonardo per lo meno) e gli strumenti matematici necessari sono stati sviluppati a partire dall'Ottocento. A metà del secolo scorso si arrivò ad un punto di svolta, quando G. K. Batchelor, che aveva dato notevolissimi contributi analitici, dichiarò la sua insoddisfazione nello studio matematico della turbolenza e cominciò ad occuparsi del movimento di microorganismi nei fluidi, e A. N. Kolmogorov fece osservare che per capire qualcosa di questi problemi bisognava essere in grado di trovare una sintesi tra le osservazioni e la teoria. Le prime erano necessariamente incomplete, la seconda presentava ostacoli matematici insormontabili, mettendo insieme i due aspetti si sarebbe potuto sviluppare un modello soddisfacente della realtà.

Di fronte al problema clima siamo in condizioni di questo genere, se ci focalizziamo esclusivamente su un aspetto o su un altro con tutta onestà dico che difficilmente si faranno dei passi avanti. Sappiamo che l'ignoranza si colma con la ricerca, ecco cosa dobbiamo fare.

Luciano LEPORI

Vorrei fare un breve intervento sull'ipotesi fondamentale della teoria sul riscaldamento globale... Secondo me questa teoria è tutta basata su un'ipotesi di partenza sbagliata e cercherò di dimostrarlo. L'argomento è un po' difficile ma cercherò di essere breve e chiaro.

Nella fig. 1 vediamo il grafico che viene comunemente presentato per dimostrare che l'aumento eccezionale di $CO_2$ che abbiamo avuto negli ultimi 100 anni è la causa del riscaldamento globale.

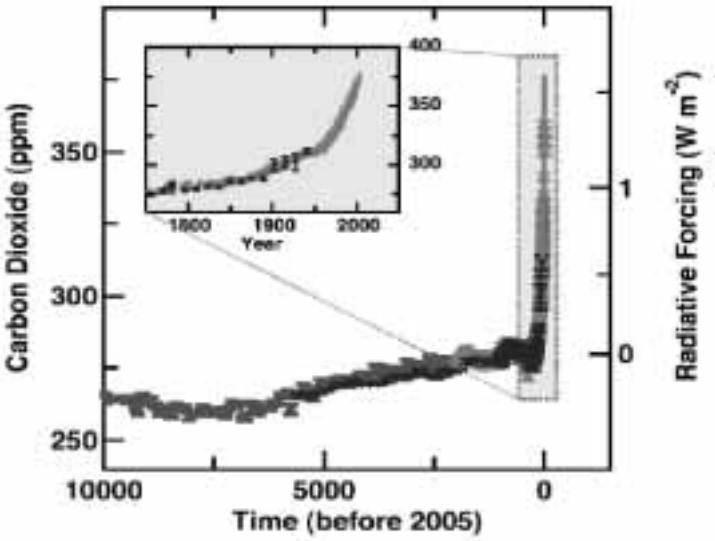



Figura 1

Si dice semplicemente, senza dimostrarlo, che è causato dall'uomo; io mi sono chiesto: guardiamo quali sono le ragioni scientifiche per dimostrare che sia causato dall'uomo.

Ho raccolto i dati sul ciclo del carbonio (v. fig. 2) e mi sono fatto uno schema molto riassuntivo e semplificato dove però si vede chiaramente che lo scambio terra-atmosfera e oceano-atmosfera è molto forte e molto grande rispetto alla quantità totale di $CO_2$ in atmosfera.

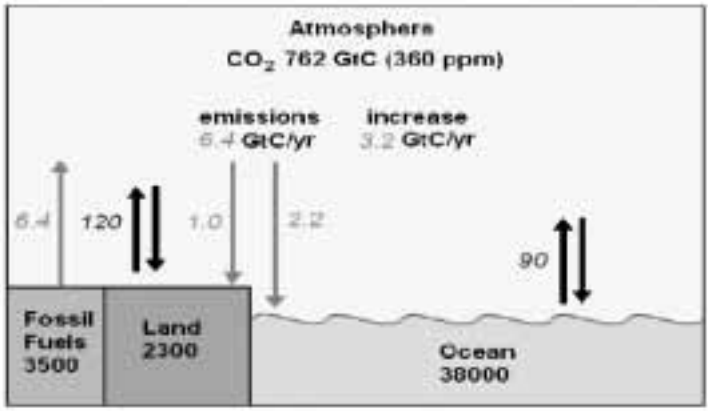



Figura 2

Ho raccolto tutti i dati disponibili (v. fig. 3) sulle emissioni di $CO_2$ in atmosfera che sono noti dal 1750 e vediamo qui i valori annuali (in milioni di tonnellate di carbonio per anno).

Ne ho fatto l'integrale e vediamo nella fig. 4 la quantità totale di $CO_2$ immessa in atmosfera dal 1750 ad oggi. Il valore attuale è circa 300 giga tonnellate di carbonio che corrisponde a 150 ppm come concentrazione di $CO_2$.

A questo punto mi sono chiesto se le emissioni di $CO_2$ durante l'era industriale sono rimaste in atmosfera o no. Una risposta immediata si ha confrontando la velocità di accrescimento delle emissioni con la velocità di crescita della $CO_2$ in atmosfera. Come vediamo qui di seguito, la seconda è la metà della prima, quindi almeno la metà delle emissioni vengono assorbite dall'oceano o dal terreno.

| | |
|---|---|
| fossil fuel emissions | 6.4 GtC/yr |
| growth rate of atm. $CO_2$ | 3.2 GtC/yr |

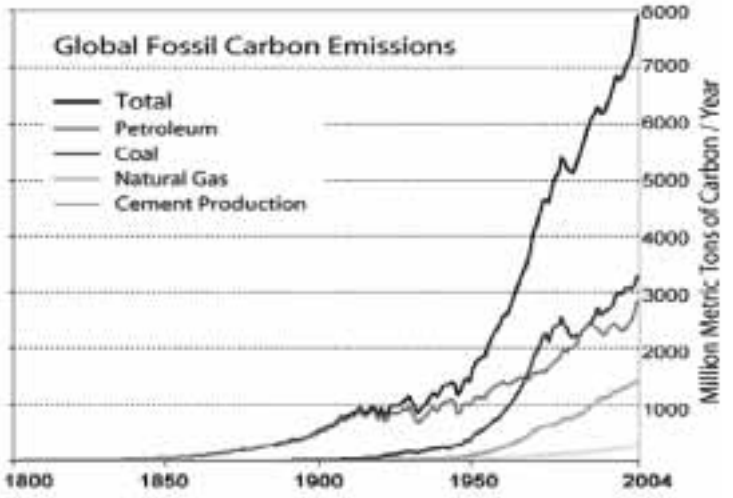



Figura 3

Questo è un dato incontrovertibile e riconosciuto da tutti.

Ma qual è esattamente la quantità di $CO_2$ fossile che rimane in atmosfera? Una risposta a questa domanda si ha da dati sperimentali noti, raccolti in diverse stazioni oceanografiche, relativi all'abbondanza isotopica del carbonio 13 in atmosfera. L'anidride carbonica fossile

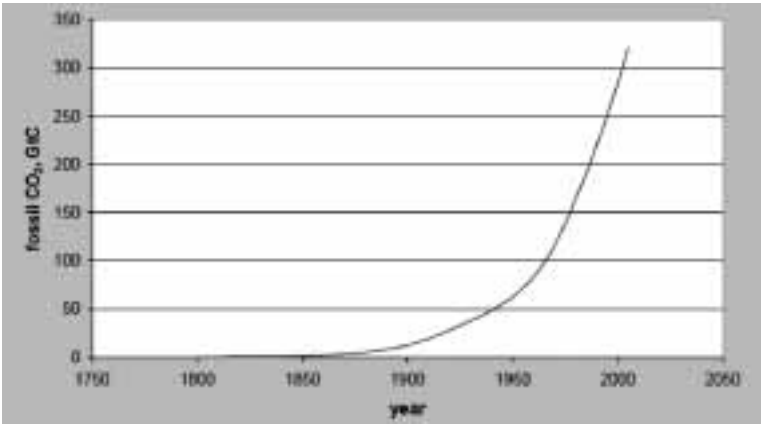



Figura 4

prodotta da combustibili fossili (petrolio, carbone, gas naturale) ha una abbondanza isotopica diversa dalla $CO_2$ naturale, imperturbata o preindustriale.

Questi sono i valori accettati: delta C13 = -6.44 per mille per la $CO_2$ naturale (il delta C13 è una misura dell'abbondanza isotopica del carbonio 13); -26 per quella fossile e -8.1 per quella atmosferica recente (2002).

Già da questi numeri si vede che il delta C13 della $CO_2$ atmosferica è più vicino a quello naturale che a quello fossile, e questo significa che di $CO_2$ fossile in atmosfera ce n'è poca.

La frazione di $CO_2$ fossile in atmosfera si può calcolare con la formula riportata qui di seguito basata sul bilancio isotopico del carbonio.

$$\text{Fossil}CO_2\ \text{fraction} = \frac{\delta^{13}C_{\text{atmosphere}} - \delta^{13}C_{\text{natural}}}{\delta^{13}C_{\text{fossil}} - \delta^{13}C_{\text{natural}}}$$

Questo si può considerare un dato sperimentale diretto.

Nella fig. 5 vediamo l'andamento del delta C13 dal 1981 al 2002.

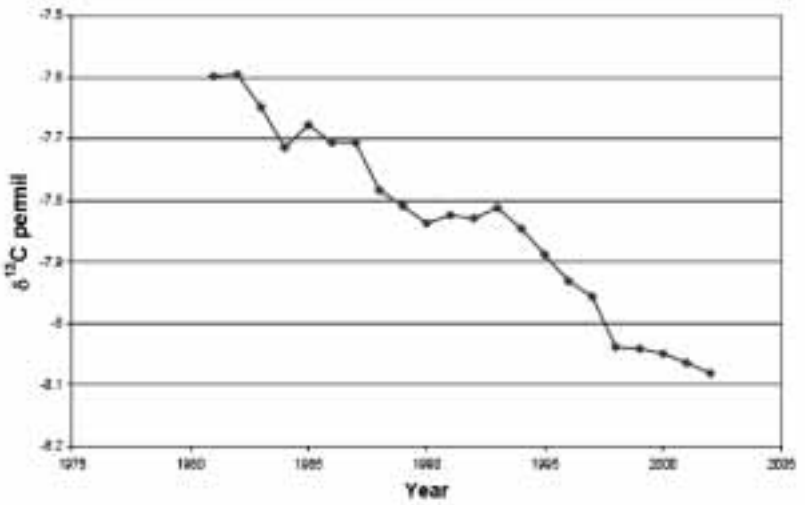



Figura 5

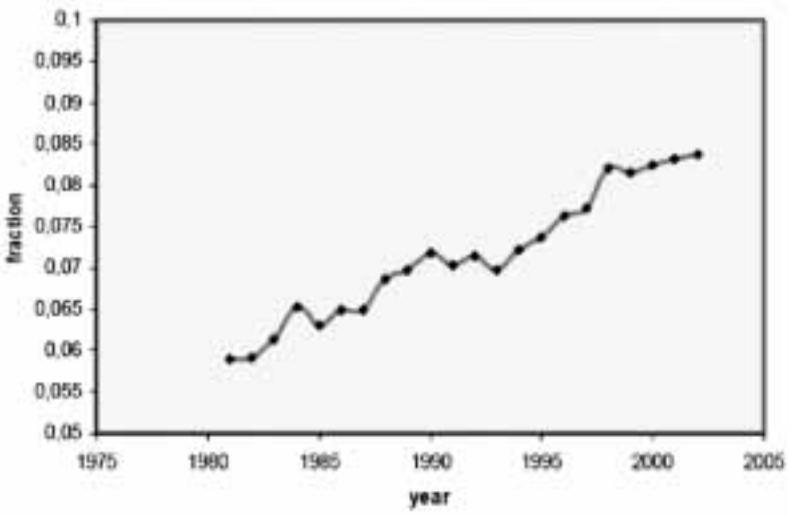



Figura 6

Nella fig. 6 è riportata la frazione di anidride carbonica fossile in atmosfera che varia dal 6 all'8% nello stesso periodo di tempo.

Nella fig. 7 sono riassunti i risultati.

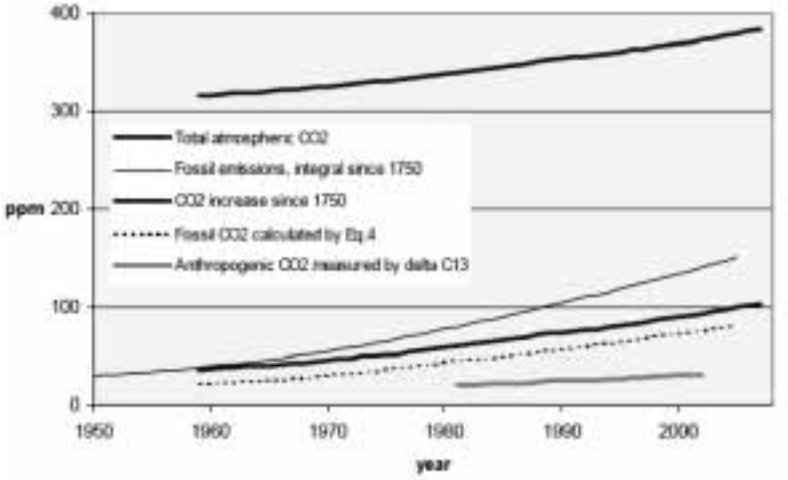



Figura 7

La curva rossa in fondo è la concentrazione di anidride carbonica fossile in atmosfera calcolata dal delta C13, diciamo misurata più che calcolata; la curva blu in alto è la concentrazione totale di anidride carbonica in atmosfera (quella reale) e quella blu in basso è l'aumento rispetto al valore pre-industriale (280 ppm). Come si vede, la quantità di anidride carbonica fossile in atmosfera è circa 1/3 di quella che viene comunemente ipotizzata dalla commissione dell'ONU come $CO_2$ fossile e circa 1/5 della $CO_2$ immessa (curva nera).

Quindi la $CO_2$ fossile che rimane in atmosfera è circa 30 parti per milione, quella invece che viene assunta rimanere in atmosfera dall'IPCC è 90 ppm, cioè 1/3. Pertanto, l'aumento di $CO_2$ è solo per 1/3 causato dall'uomo. Il principale contributo a questo aumento, e conseguentemente al riscaldamento globale, non è antropogenico ed ha un'origine naturale. Probabilmente emissioni dall'oceano, dal terreno, dai vulcani e da fratture profonde.

Stefano TIBALDI

Comincio con la considerazione banale che è sempre difficile fare previsioni, soprattutto sul futuro, e che mi sembra assai adatta alla giornata di oggi visto che è stata più volte implicitamente citata.

Ora rispondo alle domanda di Carlo Bernardini: io ritengo (opinione difficilmente sostanziabile in questa sede) che la parziale criticità del sistema climatico dovrebbe presentarsi solo su scale di tempo più lunghe di quelle che ci interessano per previsioni climatiche, diciamo, a fine secolo attuale. Sicuramente il sistema climatico è caotico ma su scale molto lunghe, cosa da tutti risaputa a partire da Milankovitch in poi, però a noi interessa una scala temporale sulla quale – e mi riferisco anche alle osservazioni appena fatte da Guido Fano – è vero che il sistema è non lineare e che ci sono tanti feed-back, ma non è affatto detto che sia fortemente caotico su una scala temporale di qualche decennio. Questo per rispondere alla prima domanda.

La seconda domanda chiede: di quale ignoranza allora si tratta?

Da modellista ormai in pensione, direi che si tratta dell'ignoranza di un effetto cumulativo di quelle dinamiche del sistema climatico che la modellistica non riesce a rappresentare compiutamente, molte delle quali originano dai feed-back, ma non necessariamente questa ignoranza produce impredicibilità di origine caotica, e, pur sapendo che ci sono ancora punti incompresi, in realtà si sa modellare abbastanza bene il clima attuale.

Gli scettici affermano che ciò avviene, perché i modellisti sono disonesti e fanno dei cloni dei modelli fino a che non riescono a predire il clima attuale, ma non riescono assolutamente a garantire che, se cambia qualcosa, la risposta sia giusta oppure sia *determinata/frutto* del clone precedente.

I modellisti giurano che non è vero perché loro sono delle anime pure, e allora ci ritroviamo il problema di come conciliare queste due opposte opinioni e di decidere in merito. Presupponiamo di essere un

politico o un giornalista, che in ogni caso sulla base di questa lite demenziale deve decidere se il cambiamento climatico esiste davvero, e, se esiste (supponiamo che esista), sia colpa o no dell'uomo. Ma non esistono forse anche interessi economici, e non solo, interessi politici, scientifici, ideologici in gioco? o potenziali preconcetti che giustifichino il timore che molte delle opinioni che si sentono, si leggono o si vedano non siano del tutto disinteressate o anche aprioristicamente schierate? La mia risposta a questa domanda è : "SÌ!" Un'ulteriore domanda a corollario: con tutti questi interessi in giro come si fa a farsi una opinione ragionevole del problema senza diventare specialisti del settore, investendo 15-20 anni per studiare il problema, infischiarsene di quello che dicono gli altri, farsi la propria opinione e non dipendere dal giudizio di nessuno?

Questo è un vero problema, e tra l'altro è un aspetto di particolare interesse per le politiche economiche, per i decisori in genere, di professionisti dei media, che non hanno 20 anni per approfondire il problema. Io mi ricordo il Prof. Zichichi che nel 1968 affermava una sua opinione, che io già allora trovavo abbastanza condivisibile e oggi trovo "assolutamente" condivisibile, cioè che non si dovrebbe mai lasciar decidere a una maggioranza assembleare se una legge di fisica sia giusta o sbagliata. Sfortunatamente si possono immaginare molto facilmente delle situazioni in cui non è possibile far di meglio, malgrado l'opinione sia condivisibile. Di qui la *Consent Science*, citata prima dal Prof. Antonio Speranza, che ha prodotto gli IPCC Reports, sulla base dei quali si cerca di prendere delle decisioni.

La *bottom line* o conclusione di questo mio primo intervento è: se qualcuno ha un'idea migliore si faccia avanti e la proponga. Questo non toglie nulla al fatto che si debba fare più ricerca, investigare ognuno dei problemi qui descritti, ma ci vorrebbero risorse 10 volte maggiori, per cercare di ridurre le incertezze su un problema così importante. Però in questo momento, data la domanda e dato quello che si sa, dati i due contrapposti punti di vista, io credo che se uno ha un'idea migliore della *Consent Science* dovrebbe dirlo e dovrebbe cercare di convincere la politica che ha deciso di basare le proprie decisioni sulla *Consent Science* a farlo su una base migliore. Io personalmente ci ho pensato, non sono un esperto di queste cose, quindi può darsi che non sia riuscito a trovare una risposta soddisfacente.

Roberto VACCA

L'epistemologia non si può applicare al Protocollo di Kyoto perché contiene soltanto un postulato, nessun dato e nessuna indicazione di possibili meccanismi per cui si verifichi un riscaldamento globale. L'importante invece è capire i meccanismi.

Luigi Mariani mi ha segnalato una tesi di laurea in Linguistica (col Prof. A. Marcaccio sessione 2008-09) di Enrico Sabatini che ha fatto un'analisi epistemologica del libraccio di Gore ed ha tirato fuori tutte le incongruenze, illogicità, paralogismi, petizioni di principio che contiene. Sarebbe interessante fare la stessa operazione non soltanto sul libro di Gore ma anche su altri. Quando non capiamo i meccanismi siamo messi male; Galileo anche lui non aveva capito i meccanismi e diceva "chi crede che le maree dipendano dalla luna crede una fanciullaggine", ma Newton ha spiegato molto bene che non era una fanciullaggine – Galileo sbagliava.

Dal 1938 Milankovic con la sua calcolatrice da tavolo analizzò gli effetti dell'inclinazione dell'asse terrestre e delle variazioni nell'eccentricità dell'orbita terrestre e tirò fuori le sue curve – non certo caotiche – che sono state confermate dai carotaggi.

Svensmark ha spiegato (stanno facendo ora un esperimento al CERN) come i raggi cosmici influiscano sulla condensazione del vapore acqueo e sulla nuvolosità e di quanto questo influisca sul clima

Mi ha fatto un'impressione molto strana sentire degli illustri cattedratici che parlavano delle correnti dell'aria, delle correnti marine, dell'atmosfera, della criosfera, della litosfera e non nominavano gli effetti astronomici né quelli dei dei raggi cosmici.

Andando per questa strada si va a finire a parlare del principio di precauzione che io chiamo sempre "lo stolido principio di precauzione" il quale afferma che in caso di incertezza bisogna prendere la decisione più prudente. Ma se uno ha l'incertezza non sa qual'è quella più prudente, d'altra parte anche pezzi molto grossi hanno commesso gravi errori per ignoranza, taluni sostenendo che non sappiamo fare le

previsioni sul clima perché abbiamo computer troppo lenti e se li avessimo avuti capaci di fare 300 milioni di operazioni al secondo avremmo potuto prevedere il clima per decine o centinaia di anni. Bene, ora abbiamo computer che fanno molte decine di miliardi di operazioni al secondo e non siamo ancora in grado di prevedere il clima. C'è ancora molto da studiare prima di poter asserire che abbiamo capito i meccanismi.

## Gino MONCADA LO GIUDICE

Mi trovo un po' a disagio perché il Presidente ha voluto mettermi in questa interessantissima tavola rotonda dove ci sono degli esperti a livello internazionale, mentre, per la mia particolare formazione culturale forse sarei stato più utile nella tavola rotonda "clima energia".

Qui nel programma vedo Gino Moncada Senatore, però devo chiarire che sono stato senatore per 5 anni, mentre ne ho speso 42 all'università.

Spero che tutti voi vi rendiate conto che il problema finale è di sapere quale sarà l'exit strategy del Governo, perché si può discutere se c'è o non c'è il cambiamento climatico, se dobbiamo fare o non fare il nucleare, ma il vero problema è capire se e come e fino a qual punto possiamo intervenire sulle decisioni politiche.

Ebbene, voi pensate che ci siano molti politici in condizioni oggi di comprendere uno solo dei discorsi di questo tavolo assolutamente tecnico? Guido Possa naturalmente è un'eccezione.

Io non essendo un climatologo esperto mi sono chiesto quale possa essere l'unico modo per dialogare con i politici. È provare a orientarli sulla destinazione dei fondi e sulle possibilità di intervento offerto dalle varie alternative tecnologiche. Due esempi: io ho avuto l'altro ieri l'estratto di una relazione del 2009, il quale prevede, ad esempio, un investimento di 10,5 miliardi di dollari dei quali il 72% destinati alle rinnovabili. Qualcuno di voi l'ha già accennato, ed io ribadisco il dubbio che quei soldi possano essere utilmente spesi per abbattere efficacemente l'emissione dell'anidride carbonica. Ho sentito parlare del loro impiego in 3 settori: il settore edilizio, quello dell'auto e quello dell'industria. Il rinnovo del parco edilizio italiano è quasi inesistente, 0,5% l'anno, allora dobbiamo giocare soltanto sul retrofitting. Voi credete che si possa guardare con fiducia a questa ipotesi, con le norme e le normative timide esistenti? Pensate che ho fatto una conferenza sulla certificazione energetica nel 1985 e oggi essa non è ancora

completata perché manca il secondo documento per i calcoli estivi! E voi credete che la popolazione saprà approfittare in modo deciso e universale di queste indicazioni? Dovrebbe essere compreso da tutti questo retrofitting "ecologico" per avere un senso e incidere veramente su quel 25/30% dei consumi attribuiti all'edilizia. Altro settore le macchine: sono tutte elettrificate? Sono tutte ad idrogeno? Si sta lavorando in questo senso ma giorni fà il Corriere della Sera ha pubblicato due pagine intere dove si dice che la Lotus emette solo 206 grammi di $CO_2$ per km, mentre invece la Mercedes ne emette 260 e la BMW 280. Qui stiamo parlando di quasi un raddoppio di emissione di gas rispetto alle normative europee.(120 gr/km nel 2012).

Il terzo settore è l'industria. Chi di voi ha avuto mai a che fare con l'industria? Sapete quanto è complicato e difficile cercare di migliorare il rendimento di mezzo punto, di un punto, è una cosa difficilissima. Peraltro noi abbiamo anche la fortuna (o la disgrazia) di avere le centrali termoelettriche, i cementifici e le acciaierie, che sono quelle che consumano una quantità immensa di $CO_2$, che sono le più moderne del mondo. Ormai abbiamo delle centrali a ciclo combinato che hanno rendimenti del 55-60%.

Una cosa è chiara: è già stato deciso dai politici che c'è il cambiamento climatico, è mi sembra assai difficile cambiare un'idea così radicata. L'affare dell'IPCC di 2 gradi è scontato, e poi c'è la "green policy" di Obama (e la capisco anche perché ha 7/10 milioni di disoccupati da sistemare).

Ma la soluzione non è facile anche per le enormi somme in gioco in un momento di crisi economica. Tenete presente che si parla di 10,5 miliardi di dollari l'anno e come ciò non bastasse i Paesi poveri e anche quelli in via di sviluppo chiedono altre centinaia di dollari, ritenendo che l'inquinamento che li ha colpiti sia frutto della politica dissennata dei Paesi ricchi.

Io vi chiedo scusa perché mi accorgo di aver parlato più da Senatore che da Professore, ma purtroppo temo che questi nostri convegni abbiano il grande merito di mettere a confronto delle idee intelligenti ed interessanti e di far incontrare colleghi che si vedono con estremo piacere, ma hanno un riflesso esterno piuttosto modesto. Io mi auguro che questo cambi.

# DISCUSSIONE PRIMA TAVOLA ROTONDA

**Renato Angelo RICCI**

Ho chiesto la parola per fare alcune osservazioni e precisazioni. L'aver fatto precedere le varie relazioni dall'intervento, sostanzialmente introduttorio, del Dr. Clini aveva ovviamente lo scopo di fornire indicazioni e informazioni su quanto sta accadendo in campo politico-istituzionale anche in vista della conferenza di Copenaghen. Clini, molto onestamente e molto chiaramente, ci ha presentato la situazione illustrando in particolare due aspetti: il primo è che, in ogni caso, al punto in cui siamo, la tendenza politica sia ormai abbastanza assodata e vada nella direzione di dare per scontate certe decisioni ancorché discutibili, seguendo in generale le tesi catastrofiste e interventiste, anche se non è detto che debbano essere accettabili. Il secondo, chiaramente espresso, è che ciò implica necessariamente una domanda: "come facciamo?" perché l'obiettivo di un limite minimo di 2°C per la diminuzione di temperatura (ammesso che abbia un significato) pone la questione della effettiva possibilità di raggiungerlo. Esiste poi la contestualizzazione di questo aspetto nell'ambito delle varie ipotesi del riscaldamento globale. Ciò è stato evidenziato dalle varie relazioni che si sono susseguite e che hanno avuto il pregio di dare una visione delle ricerche attuali e dei risultati inseriti in tale contesto. E, in effetti, la domanda sul che fare dipende da una constatazione che, a mio parere, è stata bene riassunta da Franco Prodi e cioè che "noi oggi, con tutto quello che abbiamo fatto e lodevolmente dimostrato, non siamo ancora in grado nè di dare spiegazioni nè di fare previsioni". Credo che questa sia una eccellente dimostrazione di onestà intellettuale di matrice scientifica e su questo noi dobbiamo riflettere comunque e basa-

re le ulteriori discussioni. Perché ciò che sta accadendo è che venga giustificato un metodo per niente scientifico che sarebbe quello di assumere conclusioni e decisioni basate su previsioni che non esistono o su spiegazioni che la scienza non è ancora in grado di fornire, esagerando la portata di modelli tutt'altro che validati. Ciò che occorre è una responsabilizzazione a tutti i livelli per il potenziamento delle ricerche e il miglioramento delle conoscenze scientifiche.

**Ernesto PEDROCCHI**

Farò delle domande telegrafiche: al Dr. Castellari che ha parlato di modelli mi piacerebbe che uno dei suoi 36 o 37 modelli che ha citato lo applicasse dopo che Galileo era morto da poco e, senza sapere come si comportò il sole nè i vulcani, ci dica cosa sarebbe successo nel 1750.

Al Prof. Prodi, in relazione a quello che ha anche detto Ricci, che ha fatto una relazione molto bella segnalando bene quante incertezze ci sono, ma poi conclude tranquillamente "cambiamo stile di vita, facciamo il risparmio energetico" come se fosse una cosa facile, semplice, conseguibile in poco tempo e a costo zero. Ma provi ad andare a dirlo ai paesi sottosviluppati o in via di sviluppo di ridurre il fabbisogno energetico. Non c'è speranza di sviluppo se non c'è certezza di soddisfare tutto il fabbisogno energetico con energia a costi ragionevoli.

Infine al Prof. Raes, vorrei chiedere se sa che dal 1973 al 1985 l'emissione di $CO_2$ antropica nell'atmosfera rimase stazionaria, una specie di Kyoto ante litteram, perché entrarono in funzione quasi 200 nuove centrali nucleari per produrre energia elettrica, perché entrarono in funzione i primi sistemi di risparmio energetico con buoni risultati e perché negli anni '78-'80 ci fu una grossa crisi economica mondiale. Ma se non ci fu crescita delle emissioni antropiche di $CO_2$, non si vide, nè allora, nè ora, nessun segno di riduzione della crescita della concentrazione di $CO_2$ nell'atmosfera.

Adesso rifacciamo Kyoto? Clini ha detto con chiarezza che Kyoto non serve a niente.

Infine vorrei segnalare che forse non tutti sanno che fra il 22mo e il 24mo ciclo solare in atto adesso ci si aspettava nel 2013 il massimo di macchie solari. Da 3 anni a questa parte le macchie solari sono quasi

sparite ed è una situazione che non si verifica più da più di 100 anni, quindi forse nel 2013 avremo meno di 70 macchie solari che è un valore nettamente inferiore alla media che c'è stata nell'ultimo secolo.

**Umberto TIRELLI**

Io sono un medico e questa storia mi ricorda la storia del catastrofismo dell'AIDS. Quando comparve l'AIDS (agli inizi degli anni '80) praticamente cominciarono tutti a dire che era un disastro, che sarebbero morti tutti. Tutti i ricercatori che erano coinvolti in quel business, non avendo delle conoscenze, dicevano delle cose assurde, non sapevano come si trasmetteva il virus e secondo le percentuali che ognuno pensava, i dati erano completamente diversi, tutti si sarebbero infettati o non si sarebbe infettato nessuno.

Per un po' di tempo tutti furono catastrofisti, tutti i paesi del mondo ebbero immediatamente degli abbondanti finanziamenti per la ricerca ma alla fine si capì (effettivamente con la ricerca) che questo virus si trasmetteva soltanto per via sessuale attraverso il sangue e non si trasmetteva parlando normalmente, e, comunque, anche lì ci furono tante coppie che pur usando le loro precauzioni trasmettevano l'infezione.

La differenza è che lì c'erano dei malati, quindi in qualche maniera i politici erano coinvolti perché non si sapeva se erano gli unici o erano i primi di una lunga serie. In questo contesto mi sembra accada una cosa abbastanza simile cioè che si fa tanto catastrofismo, ma alla fine non ci sono grossi problemi e credo che il discorso del geologo è importante anche se va preso cautamente per ciò che cambia nel tempo rispetto al passato. Comunque quello che è importante da tener presente, con un parametro che è sempre superiore a tutti, è la sopravvivenza della specie umana in questo contesto, noi stiamo vedendo che quelli che nascono oggi hanno il 50% di possibilità di vivere 100 anni, quelli che nascevano un secolo fa ne avevano 1/3 di questa probabilità. Tutto questo miglioramento è avvenuto con l'inquinamento. Oggi paradossalmente possiamo dire che le persone che vivono nell'inquinamento stanno molto meglio di quelle che stanno senza inquinamento, questa è la verità nel senso proprio obiettivo.

In Africa, dove non c'è l'inquinamento, la gente muore molto prima.

**Guido FANO**

Le conclusioni alle quali è giunto Lepori, sono secondo me sbagliate. Perché egli dice sostanzialmente che la $CO_2$ fossile (ossia originata da combustibili fossili) che si misura è molto di meno (credo 1/3) di quello che si ottiene calcolando tutta la $CO_2$ che è stata emessa dall'uomo.

Quello che succede nei modelli matematici elementari del ciclo del carbonio è che i modelli lineari e quelli non lineari sono completamente diversi. La parte di $CO_2$ non fossile, in un modello lineare, stava in una situazione stazionaria prima dell'industrializzazione (naturalmente trascurando un po' di carbone che veniva bruciato anche prima). Ora questa parte gira, va giù nell'Oceano, viene assorbita dalle piante, torna indietro ecc., ma le molecole di $CO_2$ di origine naturale (non antropica) sono completamente disaccoppiate dalle molecole che abbiamo cominciato ad immettere noi (quella che io chiamo $CO_2$ fossile). In altre parole in un modello matematico lineare non vi è alcuna interazione "quantitativa" tra i due tipi di molecole, naturale e fossile. Cosa succede invece in un modello realistico, ossia non lineare? Succede che il flusso di anidride carbonica dall'oceano superficiale all'atmosfera non è proporzionale alla quantità di $CO_2$ del mare ma ad una sua potenza.

Ad es. se A denota la $CO_2$ naturale e B quella fossile, ogni potenza non banale di A+B contiene termini in cui compaiono sia A che B e che corrispondono ad una "interazione" tra A e B. Nel caso dell'oceano questa potenza si chiama "fattore di Revelle", vale circa 9 ed è dovuta a complicate reazioni chimiche che si producono quando la $CO_2$ entra nel mare. Supponiamo ora di immettere un impulso di $CO_2$ fossile nell'atmosfera. Parte di questa $CO_2$ fossile entra nel mare e per tornare a un nuovo equilibrio, della $CO_2$ "naturale" fa il cammino all'indietro, passa cioè dal mare all'atmosfera rendendo più lungo il decadimento dell'impulso. Così misurando il tempo di decadimento di questo impulso "fossile" si trova un valore di 4 o 5 anni, mentre se si potesse misurare altrettanto facilmente il decadimento della $CO_2$ totale (fossile + naturale) si troverebbe un valore 3 o 4 volte maggiore (ricordo che la $CO_2$ di origine fossile e quella naturale si distinguono per la diversa percentuale dell'isotopo $13CO_2$ e quindi è relativamente

semplice seguire il decadimento dell'impulso "fossile" ). Quindi il fatto che Lepori trovi che l'accrescimento di $CO_2$ è solo 1/3 è semplicemente perché sta misurando solo la parte fossile e non la $CO_2$ totale. Questo è un esempio di come bisogna stare molto attenti quando si dice che i modelli e i calcoli sono sbagliati, e quello che ho descritto sommariamente è un errore tipico in cui sono caduti molti "scettici" del riscaldamento globale.

**Sandro FUZZI**

Un brevissimo intervento puntuale visto che prima si è parlato dei raggi cosmici, e l'effetto che hanno sulle nubi che non è stato menzionato per il semplice fatto che secondo tutti i dati che abbiamo oggi è assolutamente irrilevante, compresi i primi dati dell'esperimento Cloud che è in corso al CERN. Questo è l'unico motivo per il quale non è stato presentato questo fenomeno.

Io volevo brevemente ritornare sulla questione del "consenso della scienza". È inutile dire che sono d'accordo con quello che diceva Stefano, è il sistema peggiore ma visto che non ne abbiamo altri forse ci conviene tenerlo.

Mi sembra che da alcuni interventi che ho sentito questo consenso venga un po' interpretato come il metodo "porta a porta" dove ci sono due parti l`una contro l'altra armata e quella che urla più forte vince. Questa cosa è un po' irrispettosa verso i circa 4.000 scienziati, a cui mi onoro di appartenere anche per il piccolissimo contributo che ho potuto dare alla formulazione del IV rapporto IPCC. Allora o si immagina che siano tutti criminali o che abbiano tutti degli interessi di vario tipo oppure io esorterei ad avere un po' di cautela in queste affermazioni anche se hanno libertà di cittadinanza. Però io non posso accettare che qualcuno mi dica "io credo", se tu credi non mi importa, io sono stato abituato che il dibattito scientifico si fa sulla letteratura scientifica. Allora quando mi dici "io credo questo" voglio sapere dove lo hai scritto, quale validazione ha avuto dai tuoi pari. Non credo che sia cambiato questo concetto da quando me lo hanno insegnato quando ho iniziato a fare questo lavoro. Quindi, vorrei che ci fosse un po' più di cautela quando si parla di queste cose.

**Luciano LEPORI**

Rispondendo a Fano penso che l'obiezione non regge perché lui sta contestando un dato sperimentale. Io non ho fatto nessuna ipotesi, sono i modelli che devono riprodurre questo dato sperimentale. La $CO_2$ fossile è come se fosse tinta di rosso, io conto le molecole rosse e dico che ce n'è 30 ppm, siccome l'IPCC invece sostiene che di molecole rosse ce ne siano 90 io dico che l'IPCC sbaglia.

L'IPCC dice che l'aumento di $CO_2$ negli ultimi 100 anni è completamente fossile.

**Alfonso SUTERA**

Sono preoccupato dal tenore di questo dibattito. Qui il problema non è essere da una parte o dall'altra. Innanzitutto consideriamo il tema del consenso. Noi siamo una Associazione che si ispira a Galileo. Ai tempi di Galileo il consenso era che la Terra non ruotasse e c'erano un numero infinito di persone che aderivano al pregiudizio con argomenti solidi e convincenti. A chi faceva notare delle anomalie nei moti dei pianeti si rispondeva con un opportuno epiciclo che ne spiegava l'origine. L'origine del pregiudizio era il consenso sul modello e non sul fenomeno per cui l'anomalia veniva interpetrata come una manifestazione dell'incompletezza del modello e non come la sua fallacità.

Io non ce l'ho con il consenso, ce l'ho con la mancata pratica del metodo galileiano, cioè che si presenti la prova, la controprova e si tolgano tutti gli impedimenti. Qui il problema reale è se quel riscaldamento di 7 decimi di grado in 100 anni è dovuto al fatto che l'uomo con il suo progresso industriale ne sia responsabile oppure no. Se il sillogismo $CO_2$ aumenta, temperatura aumenta funziona. Da quello che mi risulta, consenso oppure no, purtroppo la segnatura della causa (aumento di $CO_2$) che affermerebbe il sillogismo in maniera positiva soffre di questo terribile deficit, perché non lascia il segnale giusto, che dovrebbe essere: massimo di riscaldamento in quota e minimo riscaldamento al suolo. Questo non è un dettaglio bensì una prova contro. Ignorarla è come ribadire un pregiudizio e quindi metodologicamente sbagliato.

Che ci possiamo fare se è così? È un problema di consenso oppure

no? È un problema oggettivo perché a tutti è ovvio che se aumenta la $CO_2$ diminuiscono le energie uscenti. Non è ovvia tuttavia la ragione per cui se c'è stato un aumento di 0.7 gradi esso è dovuto alla $CO_2$. Quindi il consenso è un consenso a che?

Il punto reale è questo: se io devo convincervi che la $CO_2$ emessa dall'uomo è la causa dei 7 decimi di grado io voglio vedere un segnale che lo dimostri ossia se non è così violiamo le leggi fondamentali della fisica. Qualunque altra strada non appartiene al metodo scientifico.

**Antonio SPERANZA**

Vi volevo tranquillizzare sul fatto che noi i modelli li verifichiamo, Sandro Calmanti ha presentato solo una slide che è relativa ad una serie di lavori di confronto ai modelli IPCC e di confronto con quello che noi abbiamo in termini di osservazioni. Qui c'è una giusta osservazione di Sutera riguardo la rianalisi ma non entriamo nei dettagli tecnici, però volevo tranquillizzare tutti nel senso che la nostra comunità è diffusa, viva, vitale, lavora e fa le varie cose che deve fare. E se posso essere doroteo vorrei dire innanzitutto non bisogna fare caricature delle due parti, noi siamo oggetto spesso di caricature ma facciamo lavori con passione anche se questo è visto dall'esterno come tutta una bolla di confusione perché i problemi sono difficili e poi abbiamo le risorse che abbiamo, ricordiamoci anche questo.

Dall'altro lato, però, oggettivamente discutere il consenso non ha mai adombrato congiure, è molto più serio il discorso critico sul consenso, ci vuole un po' di rispetto dalle due parti.

Ultimissima cosa. un suggerimento pratico, incontrarsi nella comunità italiana – cosa che io con enorme sforzo ho tentato di fare – perché accade anche che i giovani vanno alle conferenze internazionali ma snobbano quelle nazionali. Io mi sono sentito dire tante volte che ci si incontra alla European Geophisical Society, sono tra i fondatori dell'EGS, e poi capita che la comunità italiana non riesca a dare un'immagine dell'Italia più autorevole perché certi fatti non sono avvenuti all'interno. Sono convinto che dobbiamo promuovere workshop su problemi puntuali e non solo conferenze generali.

# DINAMICA E CONTROLLO DEL SISTEMA CLIMA-ENERGIA

Agostino MATHIS
*ENEA*

**Sommario**

Vengono introdotti i concetti che stanno alla base della analisi dinamica dei sistemi, ed in particolare del clima, tenendo conto dei più recenti studi sulla storia del clima (paleoclimatologia). Negli ultimi anni molti studi e rilevazioni sperimentali hanno confermato il ruolo cruciale svolto dai gas ad effetto-serra, ed in particolare dalla anidride carbonica ($CO_2$), nel determinare l'evoluzione delle variabili climatiche, ivi comprese possibili destabilizzazioni rapide verso nuovi stati di equilibrio. Appare poi chiaro che da almeno un secolo, ma probabilmente già da qualche millennio, l'Uomo ha cominciato a condizionare in misura sensibile l'evoluzione del clima del Pianeta Terra: alcuni climatologi propongono allora di denominare "Antropocene" l'attuale periodo della storia geologica del Pianeta Terra. Per il XXI secolo appena iniziato, viene poi delineato lo scenario delle possibili alternative di sviluppo tecnologico dell'umanità e dei conseguenti impatti sulle risorse e sul clima del Pianeta Terra. Tenuto conto delle più recenti ipotesi sull'effetto-serra, si individuano le sfide globali che l'umanità, e soprattutto i paesi più sviluppati, dovranno affrontare nei prossimi decenni: in particolare, la probabile inevitabilità di interventi diretti sul clima (Climate Engineering).

## Introduzione

Premetto di non essere un climatologo, ma un ingegnere (elettrotecnico, poi anche nucleare). In seguito ho conseguito la libera docenza in Controlli Automatici, ed ho tenuto corsi di modellistica, simula-

zione, e sistemi di regolazione e sicurezza, in particolare per ingegneri nucleari. Il mio interesse per i modelli climatologici nasce circa 15 anni fa, quando con Nicola Cabibbo, allora Presidente dell'ENEA, ci siamo impegnati ad allargare l'ambito di applicazione del supercalcolatore APE, anche nel campo della dinamica del clima.

La mia visione sull'argomento in oggetto è quindi essenzialmente quella di un ingegnere: come è noto, un ingegnere spesso è costretto ad affrontare (e possibilmente risolvere) complessi problemi fisici anche se privi di una completa e rigorosa formulazione matematica (ad esempio, problemi di questo tipo, molto comuni, riguardano la termofluidodinamica di un motore a combustione interna, o i processi chimico-fisici di un altoforno).

Il Sistema Clima rientra senz'altro in questa categoria di fenomeni tuttora non descrivibili da una adeguata formulazione matematica, ma è tuttavia indispensabile procedere al più presto ad una sua soddisfacente modellizzazione e simulazione. La disponibilità di adeguati strumenti di simulazione infatti dovrà permettere, in primo luogo, di prevedere le possibili tendenze evolutive del clima tenendo conto degli effetti antropici, ma poi anche di procedere, nel prossimo futuro, allo studio ed alla sperimentazione di tutti i mezzi in grado di fronteggiare le conseguenze dell'effetto-serra. Queste problematiche si possono ritenere oggetto di una disciplina denominata *Geoengineering* (un capitolo della quale è la *Climate Engineering*). In sostanza, si tratta di considerare il "globo terracqueo", costituente il Pianeta Terra, come un "ambiente" da "climatizzare" con le più evolute ed efficienti tecnologie dell'ingegneria termofluidodinamica.

**L'analisi dinamica di un sistema**

L'analisi quantitativa del comportamento dinamico di un sistema complesso richiede di norma la formulazione di un adeguato modello matematico.

Un modello matematico è una descrizione della struttura e del comportamento di un sistema, nello spazio e nel tempo, che fa uso solo di simboli matematici. Le grandezze caratteristiche di un modello si distinguono nelle seguenti classi:

# *variabili,* che descrivono il comportamento, nello spazio e nel tempo, delle grandezze fisiche che caratterizzano il sistema;

# *parametri,* che descrivono la struttura fisica del sistema (anch'essi, di norma, possono essere variati).

Secondo la definizione di P. Eykhoff, uno dei padri della modellistica, ai nostri fini un modello consiste in "una rappresentazione degli aspetti essenziali di un sistema esistente o in progetto, che provveda l'informazione riguardo a quel sistema in una forma usabile".
Il modello matematico di un sistema può servire ai seguenti scopi:

- trasmettere ad altri le informazioni acquisite sulla struttura e sul comportamento del sistema;
- formulare e risolvere problemi, ed in particolare:
  - capire il sistema (scopo *euristico*);
  - ottimizzare il sistema (scopo *progettuale*);
  - regolare il sistema (scopo *controllistico*).

Almeno per ora, nel caso del clima lo scopo è essenzialmente quello *euristico*: capire come funziona il sistema.

Qualunque sia la natura del modello, la sua struttura può rispecchiare o meno i meccanismi secondo cui opera il sistema:

- nel secondo caso, il modello è tenuto soltanto a fornire un comportamento verso l'esterno equivalente a quello del sistema (per quanto riguarda la finalità del lavoro), mentre la sua struttura può essere quella più confacente alle tecniche realizzative disponibili *(identificazione dall'esterno);*
- nel primo caso, invece, si presuppone una conoscenza teorica o sperimentale, almeno parziale, dei fenomeni che si svolgono nel sistema: la scelta dei fenomeni da tenere in conto, ed il grado di dettaglio nella loro descrizione, dipendono dai fini del modello e dalle tecniche disponibili per la loro realizzazione *(identificazione dall'interno).*

L'identificazione dall'interno è la più opportuna se lo scopo del

modello è euristico, come in questo caso riguardante il clima. Essa può procedere secondo lo schema riportato in fig. 1, dove per ogni variabile viene anche fornito il significato per lo specifico caso del clima.

Se il sistema da studiare fosse "maneggiabile" dal ricercatore, le va-

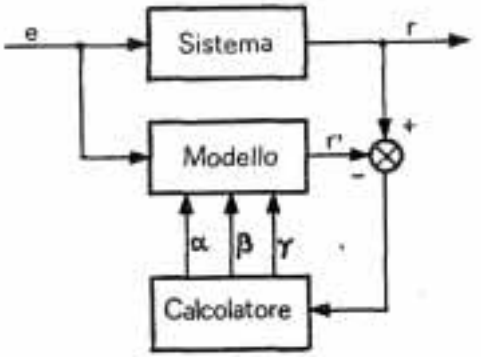



Fig. 2. – Schema a blocchi per l'identificazione dall'interno: *e*, eccitazione nota; *r*, risposta del sistema; *r'*, risposta del modello; $\alpha\beta\gamma$, parametri (variabili) del modello.

**Figura 1** - Identificazione dall'interno per il Sistema Clima:
**e**, forzanti note (es., forzanti sull'insolazione dovute ad assetto e orbita della Terra);
**r**, risposta del sistema (es., storia del clima desunta da sedimenti marini e glaciali);
**r'**, risposta del modello (es., variabili climatologiche fornite dal modello);
**alfa, beta, gamma**, parametri del modello da ottimizzare.

riabili forzanti potrebbero essere scelte tra quelle più efficienti per mettere in luce le proprietà dinamiche dello stesso, ad es. impulsi, gradini, sinusoidi di varia frequenza. Ciò può valere ad es. per un processo industriale, ma non certo per il clima della Terra. In questo caso, tuttavia, si può fare riferimento alla "cronistoria" del passato, divenuta sempre più raffinata grazie ai progressi della geologia, della paleontologia, ed in particolare della paleoclimatologia.

La identificazione procede per iterazioni, cercando i valori dei parametri che minimizzano la differenza tra la risposta del sistema e quella del modello. Il risultato sarà un "modello", costituito da correlazioni matematiche tra variabili e parametri, e realizzato su un calco-

latore di adeguata potenza. In generale, il modello potrà contenere relazioni non-lineari e catene di retroazione, di estrema importanza nella simulazione del clima.

In qualche caso, tuttavia, alcuni comportamenti del sistema possono essere anche studiati, in ambiti di comportamento lineare, descrivendo le correlazioni tra le variabili significative mediante "funzioni di trasferimento", cioè funzioni analitiche nella frequenza complessa che definiscono i "guadagni" e le "costanti di tempo" che caratterizzano la risposta delle variabili in uscita del sistema ad una data eccitazione nelle variabili di ingresso. Mediante le funzioni di trasferimento diviene allora molto più agevole valutare i campi di stabilità ed i tipi di risposta di un sistema dinamico, ed eventualmente anche definirne opportune strategie di controllo.

L'introduzione di questi metodi di analisi dinamica dei sistemi appare di particolare utilità ed urgenza per migliorare l'affidabilità degli studi sui cambiamenti climatici e delle politiche per fronteggiarli, in quanto spesso quegli studi non tengono adeguatamente conto della "dinamicità" dei sistemi in esame, e tendono a fare riferimento a correlazioni "statiche" tra variabili (caso tipico: il rapporto tra l'aumento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera e l'aumento della temperatura media superficiale del Pianeta).

## La "cronistoria" del clima della Terra

Dallo studio accurato di antichissimi reperti geologici, appare probabile che la Terra abbia attraversato lunghe fasi di glaciazione completa o quasi (*snowball Earth* o *slushball Earth*), in particolare all'inizio ed alla fine dell'Era Proterozoica (che va da 2200 a 600 milioni di anni fa) (Allen, 2006; Fairchild and Kennedy, 2007; Chumakov, 2008). In fig. 2, tratta dal sito "Snowball Earth" (http://www.snowballearth.org/), sono riportate queste fasi, durate anche più di 10 milioni di anni ciascuna, oltre a numerose altre glaciazioni, più brevi e probabilmente di carattere regionale (come quella in cui attualmente viviamo).

Le cause delle situazioni di glaciazione completa o quasi non sono assodate, anche se si fanno ipotesi quali lunghi periodi di ridotta attività vulcanica e conseguente forte riduzione della concentrazione di

anidride carbonica ($CO_2$), assorbita per corrosione dei silicati, e del conseguente effetto-serra, oppure l'attraversamento di zone ad alta luminosità della nostra galassia, la Via Lattea, da parte del Sistema Solare, e conseguente alto flusso di raggi cosmici nell'atmosfera terrestre, i quali favoriscono la formazione di nubi basse che aumentano l'albedo del Pianeta (v. anche più avanti).

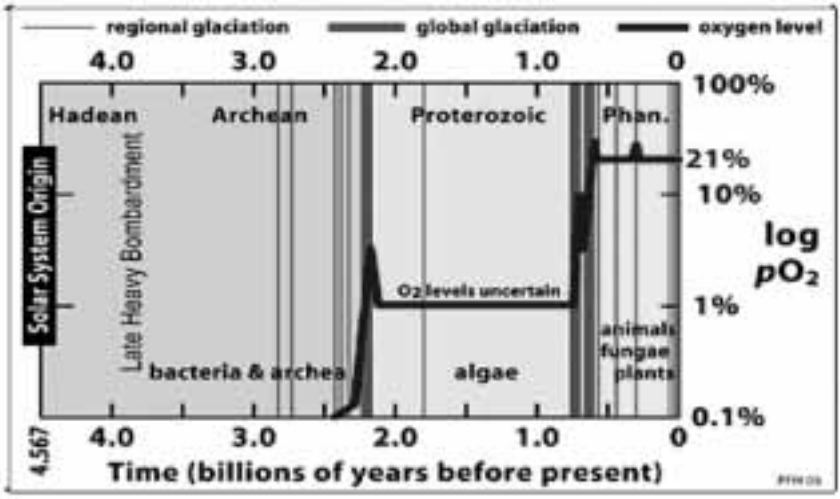



**Figura 2** – Cronistoria delle glaciazioni dalle origini del Pianeta Terra (oltre 4500 milioni di anni fa). (Dal sito "Snowball Earth": http://www.snowballearth.org/).

In ogni caso, una situazione di glaciazione completa sarebbe estremamente stabile, a causa della altissima albedo delle superfici coperte da ghiaccio o neve (dove oltre il 50% della radiazione solare incidente viene riflessa nello spazio) e temperature superficiali tra -20°C e -50°C: si pone allora il problema di come il Pianeta abbia potuto ritornare a condizioni "normali". Le ipotesi per ora più convincenti riguardano la crescita ad altissimi livelli delle concentrazioni di gas ad effetto-serra, come la $CO_2$, emessa dai vulcani e non assorbita a causa della quasi completa assenza di fotosintesi o di corrosione dei silicati, o il metano, liberato in enormi quantità per decomposizione dei clatrati sottomarini (Kennedy et al., 2008).

A queste fasi di glaciazione (*icehouse*), come si vede dalla fig. 2, si sono alternate lunghe fasi di *hothouse,* o *greenhouse*, durante le quali il Pianeta è stato praticamente privo di ghiacci anche ai poli, e gli oceani erano tiepidi anche in profondità.

Esaminiamo allora la cronistoria del clima a partire dall'ultima fase di *greenhouse*: come si vede dalla fig. 3, dopo il *Climatic Optimum* del primo Eocene circa 50 milioni di anni fa (forse dovuto, come il *Late Paleocene Thermal Maximum*, alla immissione in atmosfera di enormi quantità di metano per decomposizione dei clatrati sottomarini), la tendenza è stata quella di un sostanziale raffreddamento, che si è fortemente aggravato negli ultimi pochi milioni di anni, con un comportamento che appare sempre più instabile (Zachos et al., 2001).

Dalle barre verticali della figura, che indicano la presenza di ghiacci permanenti ai poli, si può anche desumere che un così profondo cambiamento climatico del Pianeta, dopo decine di milioni di anni di clima subtropicale (e oceani tiepidi anche in profondità), sia stato innescato dalla deriva dei continenti con l'arrivo al Polo Sud del continente antartico, che gradualmente si coprì di ghiaccio e raffreddò tutte le profondità oceaniche.

Tuttavia, si può anche citare l'ipotesi avanzata negli ultimi anni dal Center for Sun-Climate Research presso il Danish National Space Center, e cioè la connessione tra le variazioni nell'intensità dei raggi cosmici ed i cambiamenti climatici: il nuovo campo di ricerca è stato chiamato "cosmoclimatologia" (Svensmark, 2007; Carlslaw, 2009). I raggi cosmici, infatti, ionizzano l'atmosfera e possono favorire la produzione di aerosol che a loro volta fanno da precursori nella formazione delle nuvole, in particolare di quelle a bassa quota che raffreddano il clima per riflessione della radiazione solare incidente.

Su scale dei tempi molto lunghe, l'intensità dei raggi cosmici varia anche di molto a causa delle diverse zone di Galassia in cui si viene a trovare il Sistema Solare. Come già fatto cenno, durante la sua storia la Terra ha attraversato diverse fasi di *hothouse* ed altre di *icehouse* (come quella in cui ora ci troviamo). Le fasi di *icehouse* si verificherebbero allora quando il Sistema Solare incontra bracci di spirale molto luminosi, dove i raggi cosmici sono più intensi. In particolare, eventi di netto raffreddamento si verificherebbero quando, ogni 30-40 milioni di anni, il Sistema Solare attraversa il piano intermedio della Galas-

sia, come è avvenuto ad es. nella transizione tra Eocene e Oligocene. L'attività solare, poi, con i cicli delle "macchie solari", potrebbe influenzare l'effetto dei raggi cosmici: un suo aumento, infatti, come avvenuto nel corso del XX secolo, aumenta il campo magnetico solare che scherma la Terra dai raggi cosmici, riducendo quindi anche la formazione di nubi a bassa quota.

L'attenzione dei climatologi e dei politici, tuttavia, si rivolge ora al futuro del clima nel corso del secolo attuale e dei pochi successivi. In questa prospettiva, quindi, si possono non considerare da un lato gli effetti di forzanti di lunghissimo periodo come la deriva dei continenti e la localizzazione del Sistema Solare nella Galassia, mentre d'altro lato l'effetto dell'attività solare, che comunque appare limitato, ha un andamento difficilmente prevedibile e deve quindi essere considerato come un "disturbo" sovraimposto all'andamento a lungo termine. Per arrivare a modelli dinamici del clima utili ai nostri fini, si tratta allora di approfondire la "cronistoria" più vicina a noi, su periodi più brevi rispetto a quelli prima citati.

Venendo allora al nostro ultimo milione di anni (l'ultimo breve tratto in alto di fig. 3, corrispondente all'Olocene ed a parte del Pleistocene), la conoscenza della storia del clima si fa molto più raffinata, grazie soprattutto ai carotaggi di ghiaccio effettuati negli ultimi anni in Groenlandia ed in Antartide (EPICA community members, 2004). Dalla fig. 4, tratta dal 4° Rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2007a), risulta evidente che il clima ha assunto un comportamento oscillatorio persistente fortemente non-lineare, ben noto agli ingegneri dei controlli automatici (che lo chiamano "ciclo-limite", e tendono comunque ad eliminarlo, in quanto grave causa di usura dei sistemi di regolazione e di degrado delle prestazioni).

L'analisi in frequenza di questo comportamento oscillatorio dimostra una chiara correlazione tra le forzanti astronomiche (che determinano l'insolazione) e la dinamica della criosfera (cioè delle calotte glaciali e dei ghiacci marini), mentre altre possibili forzanti appaiono secondarie su questa scala temporale. I ritmi di fondo di questo comportamento del clima, specie nell'ultimo mezzo milione di anni, appaiono infatti chiaramente correlati alle forzanti astronomiche conseguenti ai movimenti del Pianeta Terra rispetto al Sole (con periodi di circa 100.000 anni per l'eccentricità dell'orbita terrestre, 40.000 anni

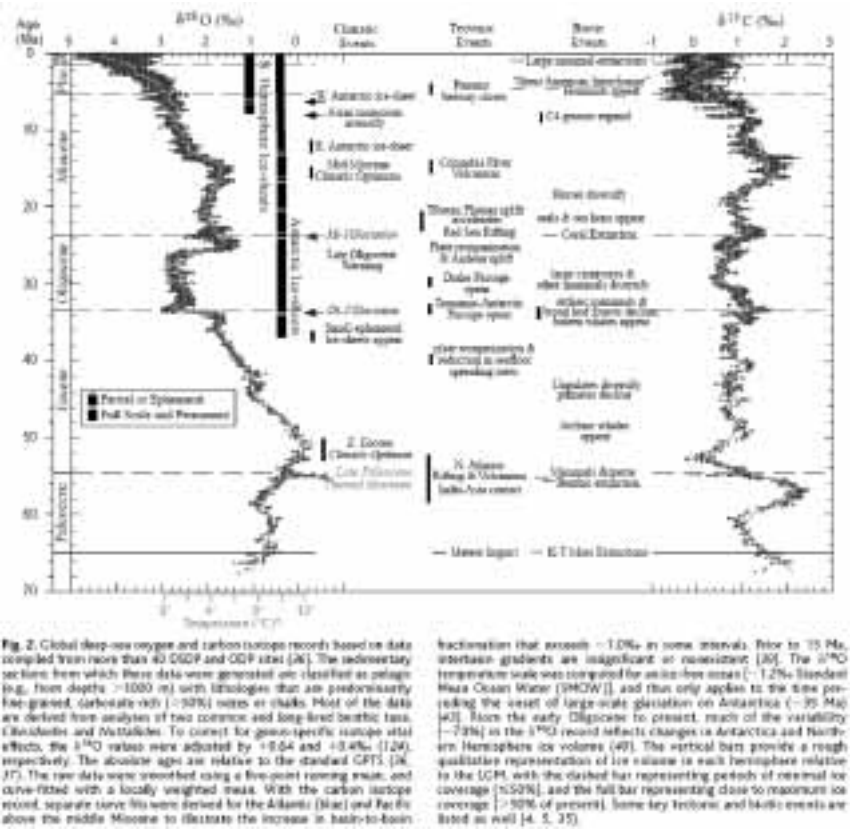


**Figura 3** – Cronistoria del clima per gli ultimi 60 milioni di anni ricavata da analisi isotopiche di sedimenti marini. (Da: J. Zachos et al. "Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present" *Science,* Vol. 292, pp. 686-693 - 27 April 2001).

per l'obliquità dell'asse terrestre rispetto al piano dell'eclittica, e 20.000 anni per la precessione degli equinozi), confermando così la teoria esposta dal matematico serbo Milutin Milankovitch fin dal 1941 (peraltro sulla base di ipotesi già avanzate da Adhemar nel1842 e da Croll nel 1875).

Tuttavia, sull'andamento "di fondo" è sovrapposto un forte "rumore", dovuto ad un gran numero di effetti secondari non necessariamente casuali, ma caratterizzati da "caos deterministico", e quindi

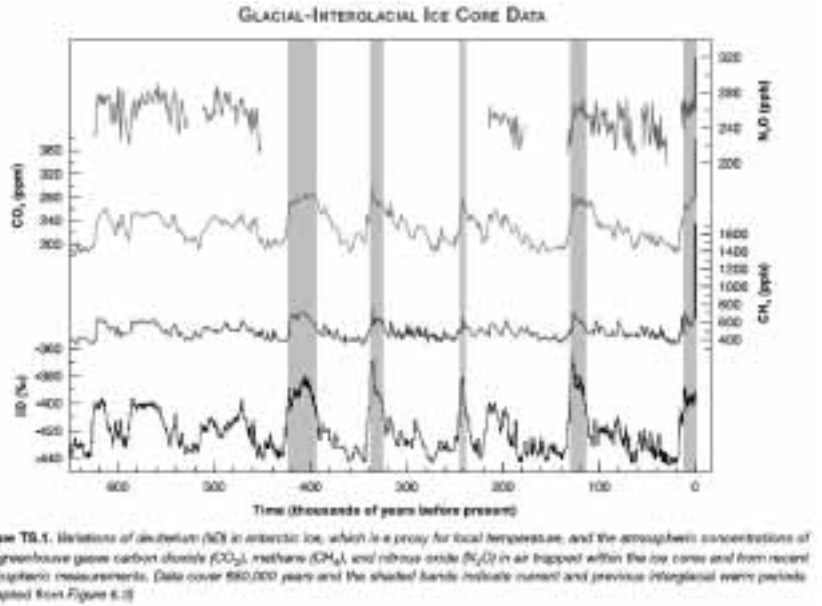



**Figure TS.1.** *Variations of deuterium (δD in antarctic ice, which is a proxy for local temperature, and the atmospheric concentrations of the greenhouse gases carbon dioxide ($CO_2$), methane ($CH_4$), and nitrous oxide ($N_2O$) in air trapped within the ice cores and from recent atmospheric measurements. Data cover 650,000 years and the shaded bands indicate current and previous interglacial warm periods. (Adapted from Figure 6.3)*

**Figura 4** – Alternanza di periodi glaciali ed interglaciali durante l'ultimo milione di anni. (Da: IPCC "Climate Change 2007 – The Physical Science Basis - Technical Summary – TS.2 Changes in Human and Natural Drivers of Climate – TS.2.1 Greenhouse Gases - TS.2.1.1 Changes in Atmospheric Carbon Dioxide, Methane and Nitrous Oxide" http://www.ipcc.ch/).

praticamente imprevedibili (oscillazioni di Dansgaard-Oeschger, in controfase tra Artide ed Antartide, dovute alla riorganizzazione delle correnti oceaniche; eventi di Heinrich, dovuti allo sfaldamento periodico delle imponenti calotte glaciali del Nord America e del Nord Europa; attività solare; eruzioni vulcaniche, che possono ridurre la temperatura in misura sensibile anche per diversi anni, come è avvenuto dopo l'eruzione del Pinatubo nel 1991).

Nella fig. 4 sono poi da notare, all'estrema destra dei diagrammi, gli incrementi delle concentrazioni dei gas ad effetto-serra (anidride carbonica: $CO_2$; metano: $CH_4$; ossido di azoto: $N_2O$), verificatisi negli ultimi decenni, che appaiono del tutto eccezionali per entità e rapidità rispetto alla storia del clima negli ultimi milioni di anni.

**L'identificazione di un modello del clima per l'ultimo milione di anni**

Nella fig. 4 con banda grigia sono indicati gli ultimi cinque periodi interglaciali, tra cui quello in cui stiamo vivendo: come si vede, il nostro non è il più caldo, ma è forse il più regolare, anche se con una lieve tendenza verso il raffreddamento (e si può ritenere che questo comportamento abbia favorito negli ultimi 10.000 anni lo sviluppo delle civiltà umane agricole e stanziali).

Tipicamente, un interglaciale inizia con un rapidissimo aumento di temperatura, seguito da un graduale, anche se irregolare, raffreddamento fino ad un nuovo minimo al termine del successivo periodo glaciale. Anche le notevoli oscillazioni presenti durante i periodi glaciali (oscillazioni di Dansgaard-Oeschger, eventi di Heinrich) presentano un analogo andamento, benché su scale di tempo più brevi. Si tratta, come si vede, di caratteristici "denti di sega" (lento accumulo di ghiacci, seguito da rapide deglaciazioni). Questo comportamento può essere attribuito alla peculiare non-linearità della criosfera: *le calotte glaciali, infatti, non possono crescere più rapidamente di quanto permesso dal regime delle precipitazioni, mentre possono sparire anche molto velocemente quando ricevano un adeguato flusso di entalpia.*

Se si applicano ad un tradizionale modello climatologico le sole, ben note, forzanti astronomiche, si ottengono andamenti con le stesse, corrette, frequenze di base, ma di forma molto più arrotondata rispetto alle registrazioni sperimentali riportate in fig. 4. È quindi essenziale che il modello tenga conto correttamente, oltre che delle forzanti astronomiche, anche della dinamica della criosfera e della relativa albedo, delle concentrazioni dei gas ad effetto-serra (gas-serra: naturali, e poi antropici) e delle correnti marine.

Da qualche anno, il Prof. William F. Ruddiman, della Virginia University, introducendo nei modelli anche gli effetti-serra naturali (essenzialmente anidride carbonica e metano, emessi o assorbiti da litosfera, oceani e biosfera), ha ottenuto andamenti molto più simili a quelli sperimentali, ed in particolare può spiegare l'innesco della deglaciazione con una causa prima di tipo astronomico (forte radiazione solare ad inizio estate alle alte latitudini), a cui consegue una emissione di gas-serra che in retroazione positiva accelerano il riscaldamento e la deglaciazione (Ruddiman, 2008). Questo spiega il fatto che nelle regi-

strazioni paleoclimatiche l'anidride carbonica "segue" la temperatura, ma ovviamente non esclude, anzi presuppone, che l'anidride carbonica a sua volta sia causa di un rilevante effetto-serra.

Come noto, anche il vapor d'acqua rappresenta un importantissimo gas ad effetto-serra; occorre tuttavia osservare che, essendo il vapor d'acqua condensabile in relazione alla temperatura atmosferica, esso non è una variabile indipendente, ma costituisce una retroazione positiva (destabilizzante) per aumenti di temperatura di qualunque origine. Anche qui, può essere utile leggere quanto afferma in merito il 4° Rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change del 2007 (IPCC, 2007b).

Il Prof. Ruddiman avanza anche l'ipotesi che già a partire da almeno ottomila anni or sono, sia pure inconsciamente, l'*Homo sapiens* abbia influito sul clima, al punto da averne finora ritardato la "naturale" tendenza verso una nuova era glaciale (e permettendo così lo sviluppo delle civiltà "storiche") (Ruddiman, 2005). Le cause poterono essere la deforestazione (mediante incendi, anche se la $CO_2$ così prodotta non sembrerebbe molto rilevante), e l'agricoltura e l'allevamento (in particolare, risaie e bovini, che producono molto metano, anch'esso potente gas-serra).

Da due secoli, poi, è esploso l'utilizzo dei combustibili fossili, ed anche nella fig. 4 se ne vedono gli effetti: nell'aria intrappolata negli strati di ghiaccio antartico le concentrazioni di anidride carbonica, di metano e di ossido di azoto hanno raggiunto livelli mai visti da molti milioni di anni. Si tratta quindi ora di evitare che gli effetti antropici eccedano al di là della stabilizzazione del clima, e cioè provochino un riscaldamento incontrollato dell'atmosfera e degli oceani, ed una ulteriore rilevante deglaciazione dopo quella che ha posto fine all'ultima era glaciale.

**La criticità dei gas ad effetto-serra per l'evoluzione del clima**

Oltre all'analisi di Ruddiman, molti altri studi e rilevazioni sperimentali hanno confermato negli ultimi anni il ruolo cruciale svolto dai gas ad effetto-serra, ed in particolare dalla $CO_2$, nel determinare l'evoluzione delle variabili climatiche, ivi comprese possibili destabilizzazioni rapide verso nuovi stati di equilibrio.

Una recente analisi dinamica è stata condotta per gli ultimi tre milioni di anni con un modello incentrato sulle masse glaciali, e sottoposto alle forzanti astronomiche (ben note sia per il passato che per il futuro) ed alle variazioni dei gas-serra ("storiche" per il passato, ed ipotizzate per il futuro) (Crowley and Hyde, 2008). Da tale analisi sembrerebbe che le forti instabilità climatiche verificatesi negli ultimi 400.000 anni, se fosse proseguita la "naturale" tendenza alla riduzione dei gas-serra senza l'intervento antropico, avrebbero potuto condurre in tempi geologicamente brevi ad una "biforcazione" verso un nuovo regime climatico stabile caratterizzato da una ampia calotta glaciale anche sull'emisfero Nord fino alle medie latitudini, in particolare sull'Eurasia. Sarebbe così venuto a concludersi un processo durato 50 milioni di anni, da un Pianeta privo di calotte glaciali, ad uno con calotte di dimensioni comparabili e stabili su ambedue gli emisferi.

Una bella conferma della analisi di Ruddiman si trova poi in un altro recente lavoro, dove si paragona l'attuale minimo dell'insolazione di metà giugno a 60° di latitudine Nord, a quello del tutto simile verificatosi 397.000 anni fa, e che determinò la fine di un periodo interglaciale (Mueller and Pross, 2007). Come dimostrato da una accurata analisi palinologica, a quel tempo era già avvenuta una netta riduzione di numerose specie di piante termofile anche alle nostre latitudini: se attualmente ciò non si è verificato, il motivo potrebbe proprio risiedere negli effetti-serra antropici considerati da Ruddiman.

Un'altra conferma dell'importanza cruciale dei gas-serra, ed in particolare della $CO_2$, si può trovare in due altri recenti articoli, dove da una ampia mole di dati sperimentali si comincia a spiegare l'interazione tra i diversi fenomeni che hanno causato l'ultima deglaciazione (Barker et al., 2009; Severinghaus, 2009):

- le forzanti astronomiche, in particolare la obliquità dell'asse terrestre;
- le masse d'acqua dolce di fusione che causano l'interruzione dell'Atlantic Conveyor Circulation;
- il conseguente riscaldamento dell'Antartide e dell'oceano circostante che provoca un netto aumento della $CO_2$ su tutto il Pianeta.

Come si osserva dagli andamenti riportati nella fig. 5, a partire da 25 mila anni fa la obliquità dell'asse terrestre comincia a provocare

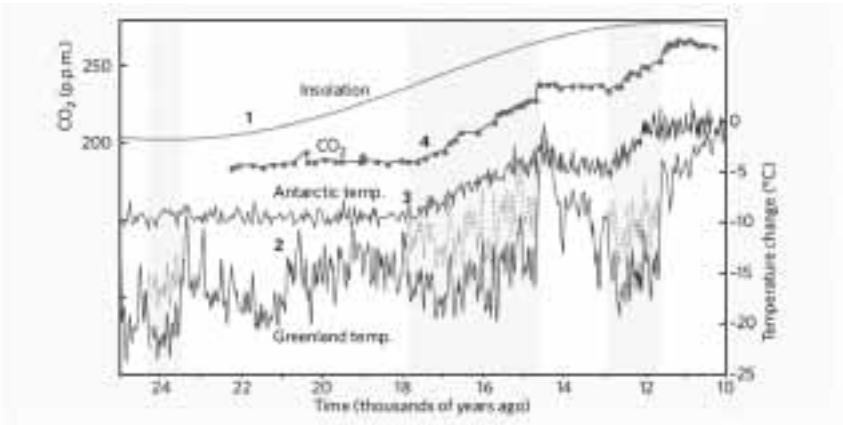



**Figure 1 | Possible chain of events during the last deglaciation. 1**, Starting about 24,000 years ago, a gradual change in Earth's spin-axis produced an increase in June insolation (sunshine) at 60° N. The northern ice sheets began to retreat, decreasing the planet's reflectivity and leading to warming (as recorded in Greenland; **2**) around 21,000–19,000 years ago. The resulting meltwater caused the North Atlantic conveyor to shut off around 18,000 years ago, switching the bipolar see-saw into its 'warm south' mode (shading) and producing abrupt warming of Antarctica (**3**) and the surrounding ocean. The consequent release of $CO_2$ from the deep ocean led to a rise in atmospheric $CO_2$ that began several hundred years later (**4**) — so warming the whole planet, keeping the meltwater coming, maintaining the 'warm south' mode, and increasing $CO_2$ even further in a positive feedback loop[5,9]. The upshot was destruction of the ice sheets. The Greenland temperature record is heavily influenced by winter temperature changes[24], so summer temperature is shown by adding 5 °C to the record during the 'see-saw south' intervals. (Data from refs 6, 8, 16 and 17.)

**Figura 5** – Possibile catena di eventi durante l'ultima deglaciazione. (Da: J. P. Severinghaus "Southern see-saw seen" *Nature*, Vol. 457, pp. 1093-1094 - 26 February 2009).

una crescente insolazione in Giugno a 60° N; l'emisfero Nord si decongela rapidamente, anche per albedo decrescente, tra 21 e 19 mila anni fa, provocando franamenti delle calotte glaciali in mare (Heinrich events); le masse d'acqua dolce di fusione causano l'interruzione dell'Atlantic Conveyor Circulation a 18 mila anni fa; il conseguente riscaldamento dell'Antartide e dell'oceano circostante provoca un netto aumento della $CO_2$ su tutto il Pianeta, che continua a riscaldare l'emisfero Nord fino al caldo periodo Boelling-Allerod (iniziato circa 15 mila anni fa); a questo punto, un nuovo, potente, scarico di acque di fusione nel Nord Atlantico arresta di nuovo l'Atlantic Conveyor Circulation, e ripiomba l'emisfero Nord in un periodo glaciale di quasi un millennio (Younger Dryas, intorno a 12 mila anni fa).

In seguito, smantellate ormai intorno a 10 mila anni fa le calotte glaciali su terraferma dell'emisfero Nord, le grandi pendolazioni tra emisferi non hanno più potuto ripetersi, anche se da quasi 10 mila anni le forzanti astronomiche hanno ripreso un andamento che porta verso un nuovo raffreddamento. Questo esito finale delle oscillazioni che hanno portato all'attuale interglaciale sembra quindi derivare dal sensibile incremento della concentrazione di $CO_2$ proseguito per l'intera vicenda, da 180 a 250 parti per milione (in volume) (ppm). Ora però in un centinaio di anni l'Uomo ha già portato tale concentrazione a 390 ppm, valore mai raggiunto da forse 20 milioni di anni.

**L'Antropocene e la sua evoluzione futura**

Dalla analisi precedente appare chiaro che da almeno un secolo, ma probabilmente già da qualche millennio, l'Uomo ha cominciato a condizionare in misura sensibile l'evoluzione del clima della Terra: alcuni climatologi propongono allora di denominare "Antropocene" l'attuale periodo della storia geologica del Pianeta Terra.

Nel corso del XX secolo, in particolare, la popolazione mondiale è quadruplicata e la potenza primaria da essa utilizzata si è moltiplicata per 16. In massima parte questa potenza proviene dal bruciamento di combustibili fossili, con la conseguente immissione nell'atmosfera di un crescente flusso di anidride carbonica ($CO_2$). La teoria dell'effetto-serra, che sarebbe provocato da questa anidride carbonica e da altri gas diffusi dall'attività umana, tra cui in particolare il metano, appare sempre più credibile via via che si vanno accumulando le osservazioni sul clima e sui biosistemi. Dall'era pre-industriale al 2008 la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera è passata da circa 275 a circa 385 ppm (fig. 6). Attualmente, essa sta crescendo di oltre 2 ppm/anno, e si avvicina alle 390 ppm.

Senza interventi, essa potrà superare largamente le 500 ppm entro questo secolo: a questi livelli, i modelli climatologici prevedono riscaldamenti globali paragonabili a quello che ha posto termine all'ultimo massimo glaciale, ma che si sommerebbero a quest'ultimo, portando il globo terracqueo in una situazione non più verificatasi da molti milioni di anni.

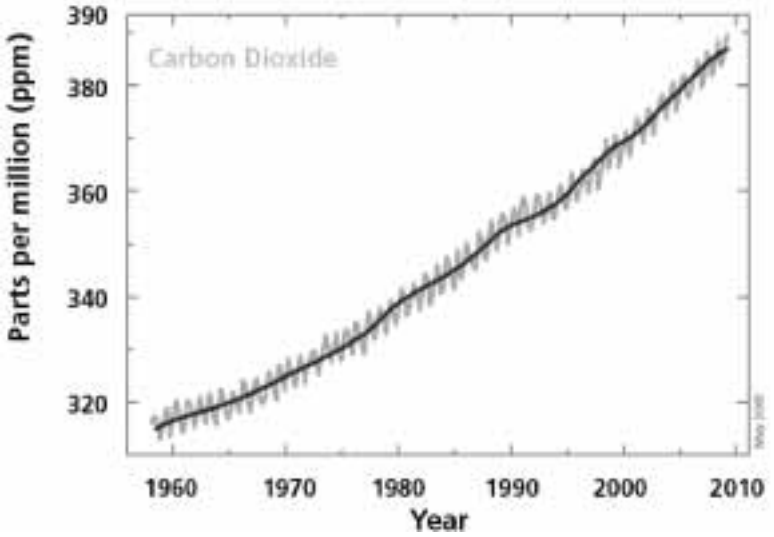



**Figura 6** – Andamento della concentrazione di anidride carbonica ($CO_2$) nell'atmosfera nell'ultimo cinquantennio; la netta ondulazione di periodo annuale è dovuta al ciclo stagionale dell'emisfero Nord, ricco di terre emerse e vegetazione, che assorbe la $CO_2$. (Da: ENEA "Rapporto Energia e Ambiente 2008" Luglio 2009).

Per afferrare pienamente le implicazioni di una tendenza come quella riportata in fig. 6, è necessario avere presenti le correlazioni dinamiche tra le principali variabili climatologiche, così come schematizzate in fig. 7 (IPCC, 2007c). Come si vede, si tratta di correlazioni essenzialmente di tipo integrale, cioè la variabile a valle è l'integrale di quella a monte, salvo la presenza di retroazioni stabilizzanti con costanti di tempo più o meno lunghe.

Per piccole perturbazioni, l'equazione che fornisce la frazione $f(t\text{-}t_0)$ al tempo $t$ (in anni) di una perturbazione nella concentrazione di $CO_2$ inserita al tempo $t_0$ è la seguente (Joos et al., 1996; Lenton and Vaughan, 2009):

$$f(t\text{-}t_0) = 0{,}18 + 0{,}14\, e^{-(t-t_0)/420} + 0{,}18\, e^{-(t-t_0)/70} + 0{,}24\, e^{-(t-t_0)/21} + 0{,}26\, e^{-(t-t_0)/34}$$

In base a questa equazione, per una istantanea immissione (o sottrazione) di $CO_2$ nell'atmosfera, il 92% è ancora presente (o rimosso)

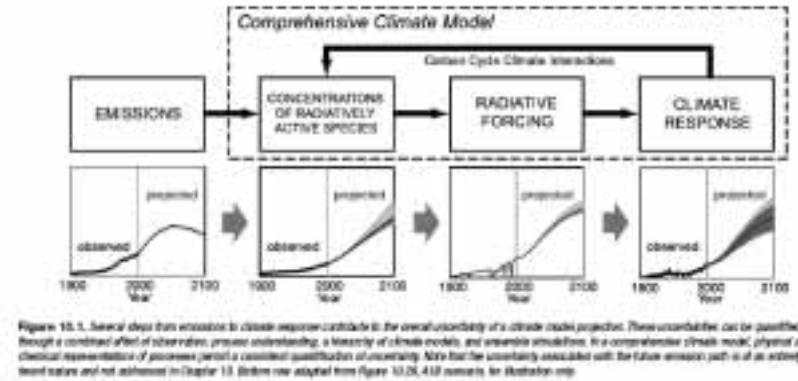



**Figura 7** – Schema con le correlazioni dinamiche tra le principali variabili climatologiche. (Da: IPCC "Climate Change 2007 - The Physical Science Basis - 10 Global Climate Projections - 10.1 Introduction" http://www.ipcc.ch/).

dopo un anno, il 64% dopo 10 anni, il 34% dopo 100 anni, ed il 19% dopo 1000 anni.

Appare quindi evidente come l'effetto-serra, se veramente esiste, sia già "decollato" con un andamento che è correlato all'"integrale" dell'incremento di concentrazioni di gas-serra già avvenuto rispetto ai tempi preindustriali. Questo incremento è già molto notevole (per l'anidride carbonica, da circa 275 a circa 390 ppm: oltre il 40%), e persisterà comunque in larga misura per molti secoli.

Tale incremento provocherà un aumento della temperatura dell'atmosfera non solo finché venisse bloccato, ma finché non fosse del tutto eliminato con il ritorno alle concentrazioni preindustriali. Senza interventi attivi, tuttavia, il ritorno alle concentrazioni preindustriali mediante il ciclo del carbonio "naturale" non sarebbe possibile neanche dopo un millennio. Se comunque, mediante interventi attivi, si ritornasse alle concentrazioni preindustriali, a quel punto resterebbero poi da raffreddare l'atmosfera e soprattutto gli oceani (evento quest'ultimo molto più arduo e lento, dato il loro enorme contenuto entalpico).

In realtà le cose stanno andando molto peggio, in quanto non solo le concentrazioni, ma anche le emissioni (al cui "integrale" le concen-

trazioni sono a loro volta correlate) continuano a crescere rapidamente. Basta considerare i paesi in via di rapido sviluppo come Cina ed India (ciascuno dei quali "pesa" come popolazione circa venti volte l'Italia), dove, a parte il volonteroso impegno nel nucleare, la quasi totalità delle nuove centrali elettriche è alimentata a carbone, e dove stanno per esplodere i trasporti privati su strada.

L'industrializzazione della Cina (e, a seguire, dell'India) viene da molti ritenuta il più importante evento della storia moderna dell'umanità, dopo il Rinascimento italiano e la Rivoluzione Industriale inglese. Nel 2008 la Cina ha posto in rete nuove centrali elettriche per una potenza di oltre 90.000 MWe, cioè 90 gigawatt elettrici (GWe) (pari a tutte le centrali costruite dall'Italia in un secolo!), raggiungendo una potenza installata di 800 GWe. Al 2020 la Cina intende arrivare ad una potenza installata di almeno 1500 GWe (cioè circa 1 GWe per milione di abitanti, che è poi un livello ancora inferiore a quello attuale dell'Italia). La quasi totalità delle centrali cinesi (e indiane) attualmente in funzione e in costruzione è a carbone, e la loro vita utile si può ritenere di almeno 40 anni: ciò significa che in pratica, qualunque sia l'impegno dei paesi sviluppati, lo scenario delle emissioni di gas-serra alla metà di questo secolo è già in buona parte compromesso dal previsto sviluppo economico (e sociale) dei nuovi paesi emergenti. Questi paesi, infatti, manifestano molte riserve riguardo a futuri accordi globali e vincolanti sui cambiamenti climatici.

## La dinamica del sistema energetico globale

La potenza primaria utilizzata nel mondo è oggi pari a circa 13 TW (equivalenti, in potenza elettrica, a 13.000 grandi centrali), di cui l'85% proviene da combustibili fossili. Nell'ipotesi di ammettere un ragionevole miglioramento del livello di vita anche nei paesi oggi in via di sviluppo, una stabilizzazione del livello di $CO_2$ rispettivamente a 550, 450 e 350 ppm richiederebbe la disponibilità, a metà di questo secolo, di una potenza primaria esente da emissioni dell'ordine di 15, 25 e oltre 30 TW (Hoffert et al., 1998). Raggiungere questi obiettivi è tutt'altro che facile.

Secondo gli ambientalisti (e molti politici), la via più efficace per ridurre le emissioni di gas-serra, mantenendo lo sviluppo economico,

risiederebbe in cambiamenti rivoluzionari nelle tecnologie per produrre, distribuire, accumulare, convertire l'energia. Ma il significato pratico di questa affermazione non è chiaro a gran parte dei decisori (sia a livello nazionale che sovranazionale).

L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) nel 2001 affermava che:

*"...known technological options could achieve a broad range of atmospheric $CO_2$ stabilization levels, such as 550 ppm, 450 ppm or below over the next 100 years or more. . . . Known technological options refer to technologies that exist in operation or pilot plant stage today. It does not include any new technologies that will require drastic technological breakthroughs..."*. (Metz et al., 2001).

E ancora nel recente Synthesis Report del 4° Rapporto del Novembre 2007 lo IPCC afferma:

*"There is* ***high agreement*** *and* ***much evidence*** *that all stabilisation levels assessed can be achieved by deployment of a portfolio of technologies that are either currently available or expected to be commercialised in coming decades, assuming appropriate and effective incentives are in place for development, acquisition, deployment and diffusion of technologies and addressing related barriers."* (IPCC, 2007d).

In realtà, queste affermazioni non tengono adeguatamente conto degli ordini di grandezza degli investimenti e dei tempi richiesti dalle necessarie realizzazioni logistiche ed industriali, né delle conseguenti implicazioni socio-politiche. I cambiamenti "rivoluzionari" prima citati, in particolare, dovranno essere tali non tanto dal punto di vista tecnologico, quanto dal punto di vista della loro accettazione ed implementazione su grande scala industriale in tutto il mondo: per raggiungere quegli obiettivi, infatti, in meno di cinquant'anni occorrerebbe mettere in produzione impianti esenti da emissioni di gas-serra per una potenza anche molto superiore a tutta la potenza oggi utilizzata nel mondo.

In fig. 8, tratta da Hoffert et al. (1998), sono forniti gli andamenti delle emissioni di carbonio da combustibili fossili e della potenza primaria nel corso del XXI secolo per diversi scenari di stabilizzazione (scenario IPCC IS92a, denominato "business-as-usual", e scenari di stabilizzazione della $CO_2$ atmosferica a 750, 650, 550, 450 e 350 ppm).

I diagrammi di fig. 8 erano stati prodotti oltre 10 anni or sono, ed è

allora istruttivo esaminare come nell'ultimo decennio si sono svolti i fatti rispetto alle previsioni:

- le emissioni di carbonio negli ultimi 10 anni sono cresciute molto più rapidamente di quanto previsto dallo scenario IPCC IS92a, denominato "business-as-usual", a causa dello sviluppo impetuoso dei paesi di nuova industrializzazione (Cina, India, ecc.); l'attuale recessione mondiale, che peraltro pare essere meno sentita in quei paesi, potrà comunque riportare l'andamento su quello allora previsto (v. diagramma **a**);

- gli andamenti-limite per le emissioni che avrebbero permesso di stabilizzare a regime la $CO_2$ atmosferica a 350 e 450 ppm in volume appaiono quindi ormai sensibilmente superati, ma si sta superando in questi anni anche quello relativo alle 550 ppm (v. diagramma **a**);

- nel 2008 la frazione di energia primaria esente da emissioni (*carbon-free*: biomasse, nucleare, idroelettrico, geotermico, eolico, solare) si aggira sul 20% del consumo totale (circa 2,5 TW), mentre dovrebbe già essere almeno il doppio per restare nel limite di 450 ppm (v. diagramma **c**).

Sia pure in grave ritardo, che cosa allora si può fare per ridurre le emissioni di gas-serra nei prossimi decenni? Un'ampia analisi delle alternative tecnologiche che si offrono per raggiungere l'obiettivo era stata fornita su *Science* da Hoffert et al. (2002), ma poche di esse possono stare alla base di un effettivo rivolgimento dell'infrastruttura energetica mondiale da realizzare in qualche decennio. Ad es., il risparmio energetico, per quanto significativo per i paesi già ricchi, diviene irrilevante a fronte della crescente domanda energetica dei grandi paesi in via di rapido sviluppo. La decarbonatazione (sequestro della $CO_2$ prodotta) è industrialmente e ambientalmente immatura, ed in ogni caso molto onerosa.

Tenuto conto anche del fatto che le fonti fossili sono destinate ad esaurirsi, occorrono allora soluzioni più sostenibili a lungo termine: queste si riducono alle rinnovabili (biomasse, solare termica e fotovol-

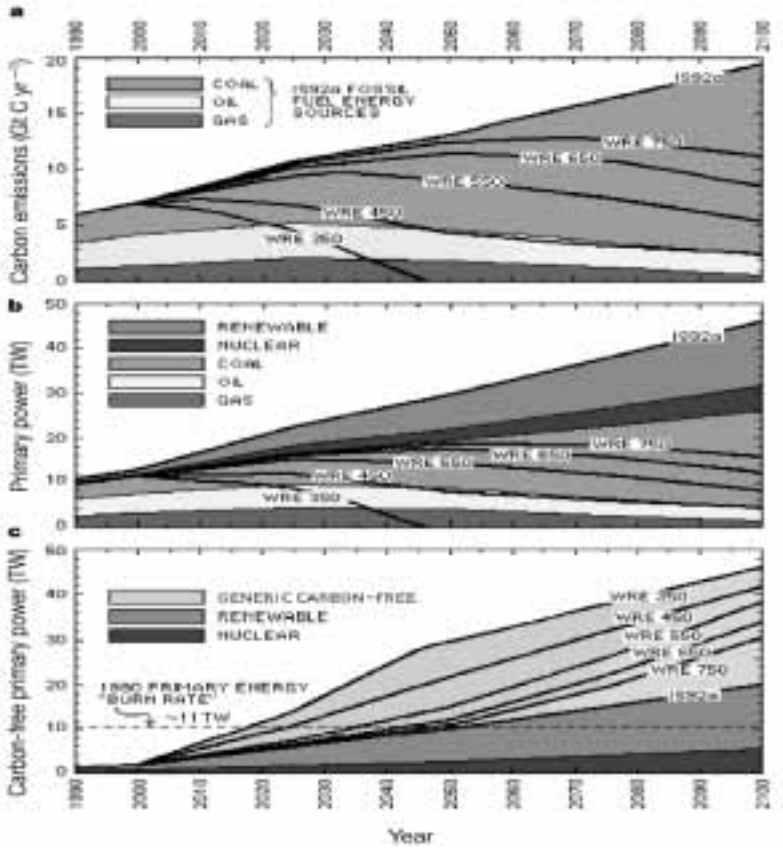



**Figura 8** – Andamenti delle emissioni di carbonio da combustibili fossili e della potenza primaria nel corso del XXI secolo per diversi scenari di stabilizzazione (scenario IPCC IS92a, denominato "business-as-usual", e scenari di stabilizzazione della $CO_2$ atmosferica a 750, 650, 550, 450 e 350 ppm in volume): **a**, emissioni di carbonio; **b**, potenza primaria; **c**, potenza primaria "senza emissione di carbonio" (carbon-free primary power). La potenza primaria "senza emissione di carbonio" è la potenza primaria totale meno la potenza da combustibili fossili, e può comprendere il nucleare, l'eolico, il solare, ed anche fonti fossili con sequestro della $CO_2$. Gli andamenti di **a**, calcolati da Wigley, Richels ed Edmonds (WRE) (Wigley et al., 1996) rappresentano i limiti per le emissioni che permettono di stabilizzare a regime la $CO_2$ atmosferica rispettivamente a 750, 650, 550, 450 e 350 ppm in volume. (Da: M. I. Hoffert et al. "Energy implications of future stabilization of atmospheric $CO_2$ content" *Nature*, Vol. 395, pp. 881-884 – 29 Oct. 1998).

taica, eolica, idraulica, geotermica, oceanica termica e mareale) ed alle nucleari (fissione e fusione). Ma vediamo, in base alla storia della industrializzazione, in che misura ed in che tempi le nuove fonti energetiche potrebbero subentrare alle precedenti.

In fig. 9, tratta come le seguenti da "The Outlook for Energy 2008" della ExxonMobil (2008), viene fornita, per l'ultimo secolo, l'evoluzione delle percentuali spettanti alle varie fonti energetiche rispetto ai consumi totali di energia (si tenga tuttavia ben presente che, come già detto, questi consumi sono aumentati nel periodo di ben 16 volte, e quindi anche le fonti con frazioni decrescenti possono essere aumentate, e di molto, in quantità assolute).

Dal diagramma di fig. 9 risulta comunque chiaro che le nuove fonti penetrano nel mercato secondo classiche curve logistiche, che risentono poco di guerre e crisi economiche, e che presentano una "costante di tempo" (tempo impiegato da una data fonte per passare dal 10% al 90% della penetrazione massima) dell'ordine degli ottanta anni. Questa lunga "inerzia", inerente alla evoluzione delle grandi infrastrutture energetiche, è evidentemente conseguenza dei lunghi tempi richiesti dall'iter decisionale e dalla costruzione degli impianti, e della sempre

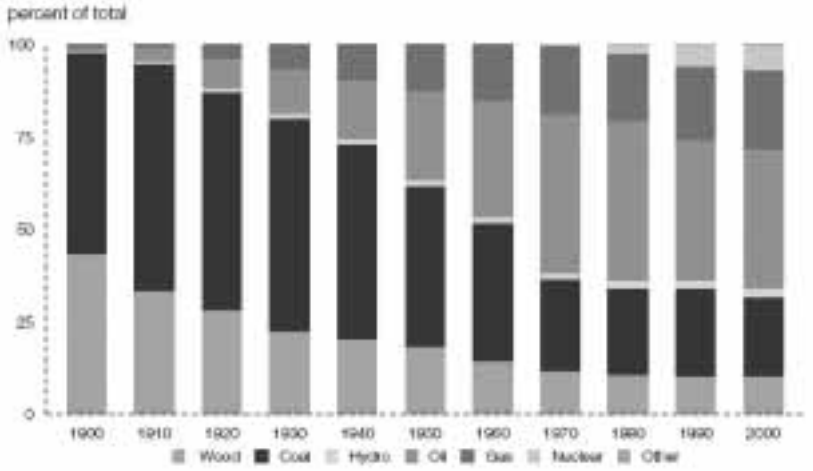



**Figura 9** – L'evoluzione delle fonti energetiche nell'ultimo secolo, in percentuali del totale. (Da: ExxonMobil "The Outlook for Energy - A View to 2030" December 2008).

crescente "vita utile" prevista per gli impianti di nuova progettazione (anche 70 anni, per i nuovi impianti nucleari di III generazione!).

È poi importante notare che ciascuna delle nuove tecnologie energetiche era già pienamente matura, dal punto di vista tecnologico ed industriale, ben prima (anche un secolo prima) del rispettivo massimo di penetrazione. La tecnologia energetica che potrà subentrare alla massima penetrazione relativa del gas naturale, nella seconda metà di questo secolo, dovrebbe quindi essere individuata tra quelle già oggi mature e sperimentate a livello industriale. Molte delle cosiddette "nuove fonti rinnovabili", così come la cattura ed il sequestro del carbonio, non rientrano certo in questa classe. L'unica nuova tecnologia comparsa in misura significativa nell'ultimo trentennio è la "nucleare da fissione", la quale secondo questo scenario si trova all'inizio della propria logistica di penetrazione, che potrà quindi proseguire per tutto il XXI secolo.

Un'altra importante lezione ricavabile dalla storia della industrializzazione è la stretta correlazione tra la crescita della popolazione, il progresso economico e le quantità ed i tipi di fonti energetiche utilizzate nei diversi paesi del mondo. Anche se i tassi di nascite stanno diminuendo in tutto il mondo, si può ipotizzare una crescita della popolazione mondiale ad un tasso annuo di circa l'1% dal 2005 al 2030: ciò significa che gli abitanti del Pianeta passeranno dai 6,7 miliardi attuali ad 8 miliardi nel 2030.

Il "prodotto interno lordo" (Gross Domestic Product: GDP), nonostante l'attuale recessione, che peraltro sembra non toccare troppo i paesi di nuova industrializzazione, dovrebbe crescere del 3% l'anno fino al 2030. Infatti, come già detto, l'esperienza dell'ultimo secolo ci dimostra che anche grandi eventi catastrofici, come guerre, o gravi depressioni economiche, a livello globale praticamente non influiscono sugli andamenti di lungo periodo. Di conseguenza, si può realisticamente prevedere che la richiesta di energia crescerà dell'1,2% l'anno da ora al 2030, raggiungendo un livello di oltre due volte quello del 1980. Tutto ciò è chiaramente riportato in fig. 10, dove nel terzo diagramma "Energy demand" è anche indicato in tratteggio l'andamento che era stato previsto nell'Energy Outlook 2007, quest'anno ridotto per tener conto della recessione economica in corso.

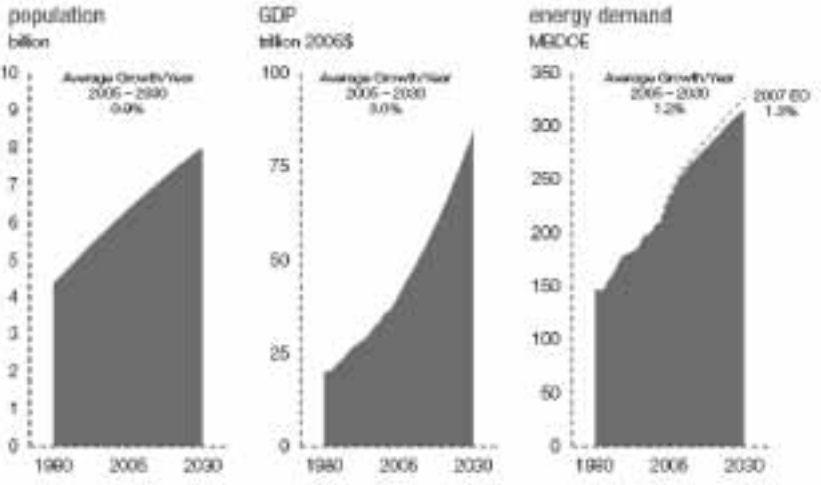



**Figura 10** – Andamenti di popolazione, reddito e domanda di energia dal 1980 al 2030 (MBDOE: Million Barrels per Day of Oil-equivalent Energy). (Da: Exxon-Mobil "The Outlook for Energy - A View to 2030" December 2008).

Da questa prospettiva si possono poi dedurre gli andamenti articolati per fonte di energia e, di conseguenza, la previsione per le emissioni di $CO_2$ fino al 2030. Tutto ciò è riportato nella fig. 11, da cui risulta evidente che l'incremento delle emissioni, anche se inferiore a quello della domanda di energia, sarà ancora di circa il 30% tra il 2005 ed il 2030.

Queste previsioni tengono conto di un diffuso miglioramento dell'efficienza di veicoli, processi produttivi ed edilizia, nonché di un crescente utilizzo dell'energia nucleare e delle energie rinnovabili, e del gas naturale in luogo del carbone. In particolare, risulta evidente che anche al 2030 il contributo energetico *carbon-free* verrà fornito per la gran parte dalle biomasse (comprese quelle tradizionali dei paesi sottosviluppati), dall'idroelettrico, dal geotermico e dal nucleare, mentre il ruolo delle "nuove rinnovabili" (eolico e solare) resterà trascurabile.

Queste previsioni possono forse apparire pessimistiche rispetto agli scenari velleitari delineati in certe sedi politiche, ma appaiono senz'altro molto realistiche, quando si tenga conto della loro articola-

zione per regione, come riportato in fig. 12. La saturazione, e poi la riduzione, dei consumi di energia e quindi delle emissioni appaiono infatti probabilmente attuabili nei prossimi vent'anni soltanto nei paesi ad economia matura e popolazione stagnante, ma non certo nei paesi di nuova industrializzazione e popolazione crescente (per i quali in figura viene riportato solo il caso della Cina, ma ad essa, come noto, faranno seguito molti altri grandi paesi). Ad ogni buon conto, queste previsioni sono pur sempre più ottimistiche di quelle del caso di riferimento considerato dalla International Energy Agency (e riportate nelle fig. 11 e 12).

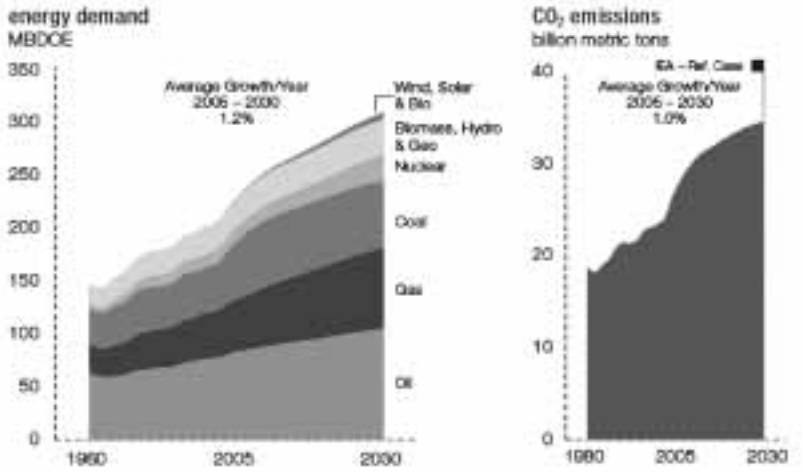



**Figura 11** – Andamenti dal 1980 al 2030 della domanda giornaliera di energia, articolata per tipo di fonte (MBDOE: Million Barrels per Day of Oil-equivalent Energy), e delle emissioni annuali di $CO_2$. IEA - Ref. Case: Reference Case considered by the International Energy Agency. (Da: ExxonMobil "The Outlook for Energy - A View to 2030" December 2008).

Dalla fig. 11, in particolare, risulta che al 2030 le emissioni annuali di $CO_2$ saranno dell'ordine di 35 miliardi di tonnellate (corrispondenti a circa 10 miliardi di tonnellate di carbonio). Dall'esame del diagramma **a** di fig. 8 risulta allora evidente che verrà superato anche l'andamento-limite che avrebbe permesso di stabilizzare a regime la $CO_2$ atmosferica alle 550 ppm.

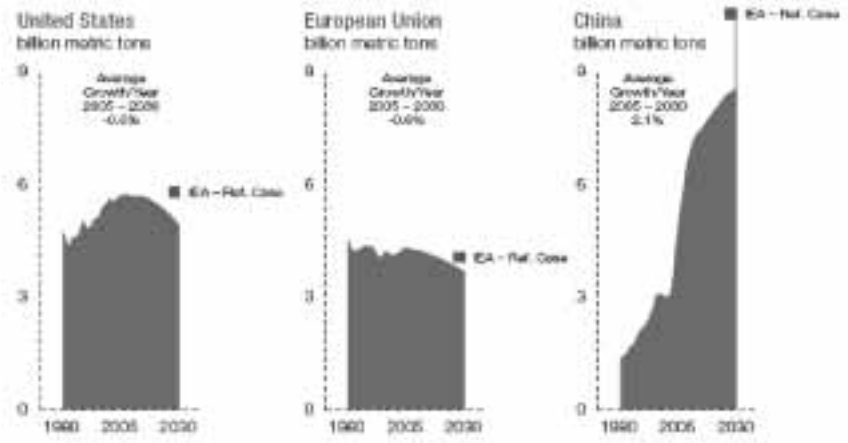



**Figura 12** – Andamento delle emissioni annuali di $CO_2$ dal 1980 al 2030, articolato per regione. IEA - Ref. Case: Reference Case considered by the International Energy Agency. (Da: ExxonMobil "The Outlook for Energy - A View to 2030" December 2008).

A simili conclusioni si può arrivare anche con il seguente ragionamento, cosiddetto della "torta del carbonio" *(carbon pie)* (Broecker, 2007). Al 2007 venivano emesse in atmosfera dall'Uomo circa 8 miliardi di tonnellate (Gt) di carbonio all'anno (compresa la deforestazione): ciò, come già detto, ha provocato un aumento della concentrazione di $CO_2$ di circa 2 ppm/anno. Vige cioè il rapporto: 4 Gt di C per 1 ppm di $CO_2$. Se quindi poniamo un tetto massimo ammissibile alla concentrazione di $CO_2$ (nel 2007 a 380 ppm), otteniamo la dimensione della "torta del carbonio" che l'umanità potrebbe ancora utilizzare:

- se il limite è posto a 450 ppm, la torta è: (450-380) x 4 = 280 Gt di C
- se il limite è posto a 550 ppm, la torta è: (550-380) x 4 = 680 Gt di C

In un mondo ideale, ogni paese avrebbe diritto ad una fetta di questa torta proporzionale alla sua popolazione (lasciando però da parte la storia pregressa). In tal caso, gli attuali paesi "ricchi" avrebbero diritto solo al 20% della torta, cioè circa 54 Gt di C per tetto di $CO_2$ a

450 ppm e 136 Gt di C per tetto di $CO_2$ a 550 ppm: al loro ritmo di consumo attuale (6 Gt/anno), essi esaurirebbero la loro quota in 9 anni nel primo caso ed in 22 anni nel secondo caso!

Supponendo invece che gli attuali paesi "ricchi" avviassero da oggi una riduzione lineare delle emissioni, anche per un limite di $CO_2$ a 550 ppm esse dovrebbero comunque essere annullate in meno di 50 anni (verso il 2050): si tratta di obiettivi che neanche i paesi esemplari, come la Gran Bretagna, o gli stessi ambientalisti, osano porsi.

**L'intervento diretto sul Sistema Clima**

La crescente consapevolezza della situazione critica in cui si è posta l'umanità riguardo ai cambiamenti climatici ha indotto la rivista *Nature* a raccogliere nel suo numero del 30 aprile 2009 una serie di articoli in un servizio dal titolo *"The climate crunch"* (Monastersky, 2009; Jones, 2009; Morton, 2009). Nello stesso numero, altri articoli approfondiscono l'argomento, in particolare per quanto riguarda le complesse correlazioni tra gli andamenti nel tempo delle emissioni e delle concentrazioni di gas-serra, e tra questi e l'andamento nel tempo della temperatura media superficiale del Pianeta.

Da uno di questi articoli (Parry et al., 2009) si può trarre la fig. 13, che fornisce gli scenari fino all'anno 2400 della temperatura superficiale globale media, per diverse date di raggiungimento del picco delle emissioni, e nell'ipotesi (senz'altro ottimistica) che dopo il picco le emissioni vengano ridotte regolarmente del 3% all'anno. Tornando al diagramma di destra della fig. 11, appare chiaro che il picco quasi certamente non verrà raggiunto prima del 2035, e che quindi lo scenario più probabile appare l'ultimo a destra di fig. 13.

Come si vede, vi è una probabilità molto alta che la temperatura superficiale globale media superi di ben oltre i 2°C il livello preindustriale entro la fine di questo secolo, e continui a crescere anche in seguito. È inoltre chiaro che un ritorno del Sistema Clima alle condizioni preindustriali (o comunque alle condizioni "naturali" che si sarebbero verificate senza l'intervento antropico) non potrà avvenire prima di molti secoli.

Se si ritiene indispensabile limitare l'aumento della temperatura non oltre i 2°C al 2100 al fine di evitare rischi inaccettabili per l'ecosi-

stema terrestre (obiettivo che ora sembra condiviso da tutti i principali paesi del mondo, tra cui i grandi paesi in via di rapido sviluppo), allora anche i semplici ragionamenti del paragrafo precedente confermano l'inevitabilità di interventi "attivi" sul clima.

In una simile prospettiva, a partire dai paesi più evoluti dovrebbe essere assegnata un'alta priorità allo studio ed alla sperimentazione di tutti i mezzi in grado di fronteggiare le conseguenze dell'effetto-serra. Queste problematiche si possono ritenere oggetto di una nuova disciplina denominata *Geoengineering* (un capitolo della quale è la *Climate Engineering*). In sostanza, si tratta di considerare il "globo terracqueo", costituente il Pianeta Terra, come un "ambiente" da "climatizzare" con le più evolute ed efficienti tecnologie dell'ingegneria termofluidodinamica.

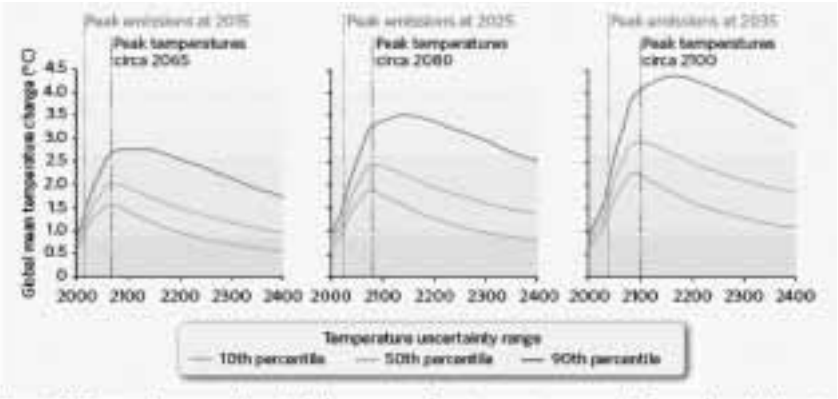



**Figure 1 | Temperature scenarios.** Global average surface temperature scenarios for peak emissions at three different dates (2015, 2025 and 2035) with 3%-per-year reductions in greenhouse-gas emissions.

**Figura 13** - Scenari fino all'anno 2400 della temperatura superficiale globale media, per diverse date di raggiungimento del picco delle emissioni, e nell'ipotesi che dopo il picco le emissioni vengano ridotte regolarmente del 3% all'anno. (Da: M. Parry et al. "Overshoot, adapt and recover" *Nature,* Vol. 458, pp. 1102-1103 - 30 April 2009).

Si tratta di idee certo non nuove, come appare dalla fig. 14, tratta da un articolo di *Nature* del 2001 (Keith, 2001), e che sintetizza la varietà di opzioni che si potrebbero considerare. Fino a qualche tempo fa, tuttavia, questo argomento è stato rimosso dagli ambientalisti ed

anche da molti politici, in quanto evidentemente è inconciliabile con una visione "sacrale" della Natura, che porterebbe ad escludere qualsiasi intervento regolatorio da parte dell'Uomo (Schneider, 2001). Purtroppo, però, come abbiamo visto, oggi è di gran lunga troppo tardi per mantenere questi atteggiamenti, e l'inazione dell'Uomo non potrebbe che compromettere ulteriormente e gravemente le condizioni del Pianeta. Non stupisce quindi che recentemente si venga manifestando un crescente ed aperto interesse su questo argomento, come dimostrato dal già citato servizio dal titolo *"The climate crunch"* pubblicato dalla rivista *Nature* nel suo numero del 30 aprile 2009 (Monastersky, 2009; Jones, 2009; Morton, 2009).

Ognuna delle opzioni schematizzate in fig. 14 ha dei pro e dei contro:

# i deflettori della radiazione solare, da disporre in particolari siti del Sistema Solare, appaiono per ora al di là delle capacità tecnico-economiche della ingegneria spaziale;

# la decarbonatazione (cattura e sequestro della $CO_2$ prodotta) è industrialmente e ambientalmente immatura, ed in ogni caso molto onerosa; comunque, richiederebbe decenni per divenire rilevante;

# la fertilizzazione con ferro delle alghe negli oceani si è già dimostrata inefficiente ed ambientalmente rischiosa;

# la riforestazione sequestra carbonio solo per alcuni anni, e, più in generale, la coltivazione di biomasse per produrre elettricità o biocarburanti ha un bilancio del carbonio incerto ed entra in grave competizione con la produzione di alimenti;

# restano le opzioni che intendono regolare l'"albedo" del Pianeta Terra, a cui è dedicato interamente l'articolo di Oliver Morton "Great white hope", riportato nel citato servizio di *Nature* (Morton, 2009).

Recentemente due ricercatori, Timothy Lenton e Naomi Vaughan, rispettivamente della Università della East Anglia, Norwich, UK, e del Tyndall Center for Climate Change Research, UK, hanno condotto una analisi, per quanto oggi possibile completa e rigorosa, della efficacia relativa ed assoluta per tutte le opzioni di *geoengineering* finora prese in considerazione (Lenton and Vaughan, 2009). Il confronto viene fatto con un criterio omogeneo, e cioè la capacità offerta da ogni opzione per riequilibrare lo sbilancio radiativo a cui attualmente è soggetto il Pianeta Terra. Tale sbilancio può essere compensato:

1. riducendo la quantità di radiazione solare (ad onde corte) assorbita dal Pianeta;
2. aumentando la quantità di radiazione (ad onde lunghe) emessa dal Pianeta.

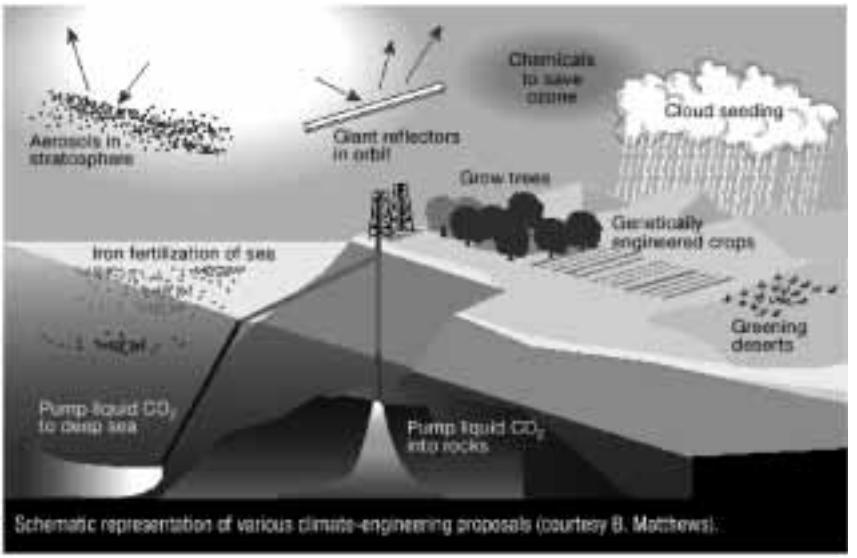



**Figura 14** - La varietà di opzioni che si potrebbero considerare per l'intervento diretto sul Sistema Clima. (Da: D.W. Keith "Geoengineering" *Nature,* Vol. 409, p. 420 - 18 January 2001).

Con riferimento alla fig. 14, le opzioni che riducono la concentrazione della $CO_2$ si possono definire quelle delle "onde lunghe", in quanto favoriscono la fuoruscita dall'atmosfera della radiazione infrarossa; le opzioni che agiscono sull'"albedo" del Pianeta, invece, si possono definire come quelle delle "onde corte", in quanto tendono a riflettere nello spazio la radiazione solare incidente.

Le opzioni ad "onde corte", a loro volta, si possono suddividere in due classi:

1.a) quelle che cercano di ridurre la radiazione solare che arriva al culmine dell'atmosfera;

1.b) quelle che cercano di aumentare la riflessione della radiazione ad "onde corte" nell'atmosfera o alla superficie.

Le opzioni ad "onde lunghe", a loro volta, si possono suddividere in due classi, a seconda che la $CO_2$ sottratta all'atmosfera venga "sequestrata": 2.a) sottoterra, oppure: 2.b) negli oceani.

Lenton e Vaughan, nel lavoro già citato, hanno valutato i massimi potenziali di forzante radiativa per le più varie opzioni di *geoengineering*, e li hanno comparati con la forzante radiativa dovuta alle emissioni antropogeniche di $CO_2$: quest'ultima, nel caso di assenza di azioni di "mitigazione", si prevede che arrivi già in questo secolo a circa 7 $Wm^{-2}$ e resti a tale livello per l'intero millennio, mentre, nel caso di una efficace azione di "mitigazione", potrà limitarsi a 3 $Wm^{-2}$ nel corso di questo secolo per rimanere oltre 1 $Wm^{-2}$ per il resto del millennio.

Da detta analisi risulta che poche opzioni di *geoengineering*, da sole, hanno la capacità di compensare più di 3 $Wm^{-2}$: praticamente solo i deflettori solari e gli aerosol stratosferici. Esse fornirebbero anche un'azione abbastanza uniforme sull'intero Pianeta, ma dovrebbero essere gestite con continuità per la durata necessaria, che potrebbe essere anche di molti decenni.

Le opzioni ad "onde lunghe", invece, cioè la cattura del carbonio dall'atmosfera con mezzi più o meno naturali, al 2050 non arriverebbero a compensare più di 2 $Wm^{-2}$ (mentre, anche nell'ipotesi migliore che la $CO_2$ non superi le 450 ppm, la forzante radiativa da compensare al 2050 sarebbe di circa 2,6 $Wm^{-2}$). Queste opzioni, tuttavia, a lunghissimo termine avrebbero la capacità di riportare la $CO_2$ ai livelli preindustriali).

Appare allora evidente che solo l'attuazione di potenti, rapidi e ripetuti interventi di *geoengineering* del tipo ad "onde corte" sarebbero in grado di riportare il bilancio termico del Pianeta alle condizioni preindustriali. Vediamo allora più a fondo le caratteristiche di questi ultimi schemi.

## La regolazione dell'"albedo"

Una analisi ampia e rigorosa delle alternative tecnologiche e dei possibili effetti collaterali di questo approccio era già stata fornita da Edward Teller et al. ad un convegno sulla *Climate Engineering* tenutosi a Cambridge, UK, nel gennaio 2004 (Teller, 2004). Teller parte dalla

constatazione che da qualche milione di anni sul Pianeta Terra ci troviamo in una fase di *ice-house* che così fredda non si era più verificata da oltre 500 milioni di anni (dall'ultima glaciazione totale, prima della "esplosione biologica" del Cambriano). Egli quindi si chiede quanto sia opportuno puntare sempre soltanto su un raffreddamento dell'atmosfera, ed in effetti imposta le sue considerazioni tenendo anche presente l'evenienza di dover mantenere la Terra almeno tiepida, cioè agevolmente abitabile, a fronte dell'avvio di una prossima, probabile, era glaciale, quando il picco "antropico" nella concentrazione dei gas-serra si fosse esaurito fra qualche centinaio di anni.

Le alternative tecnologiche considerate da Teller sono numerose: dall'iniezione nella stratosfera di particelle dielettriche o metalliche, fino a deflettori della radiazione solare da disporre nel sito "Lagrange-1" del Sistema Solare (dove le attrazioni di Sole e Terra si compensano). Se ad es. si utilizzasse un pulviscolo che riflette in modo selettivo l'ultravioletto, oltre a compensare agevolmente l'effetto-serra prevedibile per i prossimi decenni, si potrebbero conseguire effetti collaterali anche positivi, quali una sensibile riduzione dei danni sanitari da radiazione ultravioletta ed un netto aumento della produttività agricola, dovuto all'effetto congiunto di una ridotta radiazione ultravioletta e di una alta concentrazione di $CO_2$. Salvo che per gli schermi spaziali, per ora di difficile valutazione, Teller valuta la fattibilità ed i costi delle varie opzioni considerate, che in genere risultano di gran lunga più facili e meno costose da attuare rispetto ai programmi di riduzione delle emissioni di gas-serra, e conclude raccomandando il "*technical management* of radiative forcing – vs. *bureaucratic management* of atmospheric inputs".

Per quanto riguarda la stratosfera, la strategia che viene ormai seriamente considerata anche da esperti climatologi (come P. J. Crutzen, Premio Nobel per i suoi studi sul "buco" dell'ozono, o T. M. L. Wigley del National Center for Atmospheric Research, USA) è l'iniezione di aerosol, o di precursori di aerosol (come l'anidride solforosa), nella stratosfera, per riflettere una parte della radiazione solare incidente (Crutzen, 2006; Wigley, 2006).

Le eruzioni vulcaniche forniscono "esperimenti naturali" da cui si possono ottenere i parametri di base dei processi chimico-fisici, e valutare gli effetti anche a lungo termine sull'ambiente. L'eruzione del

Mount Pinatubo, verificatasi nel 1991, iniettò circa 10 milioni di tonnellate di zolfo (TgS) nella stratosfera. La "foschia" di goccioline d'acqua legate ad acido solforico così generatasi, per gli uno-due anni che rimase in circolo, fu in grado di ridurre la temperatura media della superficie terrestre di circa 0,5°C (cioè circa l'incremento dell'ultimo secolo che viene addebitato all'effetto-serra antropogenico).

Simulazioni su modelli matematici indicano che, sparando nella stratosfera l'equivalente di un'eruzione del Pinatubo (10 milioni di tonnellate di zolfo) ogni due anni, si sarebbe in grado di contenere indefinitamente il riscaldamento previsto a causa dell'effetto-serra antropogenico. Si tenga presente che l'umanità già emette attualmente nella bassa atmosfera ben 55 TgS/anno. Ma l'iniezione artificiale potrebbe essere più efficace di quella del Pinatubo (ad es., particelle più fini ad alta quota, con maggior tempo di residenza): se ad es. bastassero 2 TgS/anno, il costo potrebbe essere di 50 miliardi/anno di US$ (rispetto ai 1000 miliardi/anno che si spendono nel mondo per armamenti).

Un'alternativa interessante potrebbe essere l'iniezione di polverino di carbonio (fuliggine), che già avviene per attività industriali e incendi di foreste: l'albedo del Pianeta si ridurrebbe (maggior calor assorbito), ma la superficie terrestre si raffredderebbe. Basterebbe una massa dell'1,7% di quella dello zolfo per ottenere lo stesso effetto!

In proposito è da notare che l'attività umana emette attualmente grandi quantità di pollutanti, quali anidride solforosa e polverino di carbonio, che sembrano avere un effetto rilevante nella limitazione del riscaldamento dovuto all'effetto-serra. Tuttavia, la ovvia propensione, anche nei paesi in via di sviluppo, a ridurre tali emissioni, dannose per la salute, rischia di aggravare ulteriormente la tendenza al riscaldamento della superficie terrestre.

Un approccio basato sulle nuvole, invece, potrebbe evitare alcune delle preoccupazioni connesse all'opzione precedente. Si potrebbe usare nient'altro che acqua di mare, opportunamente polverizzata al livello del mare, tra l'altro con dispositivi facilmente sperimentabili a scala locale e modulabili a piacimento. Per trasformare il vapor d'acqua in nuvole, occorrono opportune particelle chiamate "nuclei di condensazione". Se l'aria è ben fornita di questi nuclei, si formeranno molte piccole goccioline d'acqua; se l'aria ha meno nuclei, si formerà un minor numero di gocce più grandi. Le nuvole fatte di piccole goc-

cioline sono più riflettenti rispetto a quelle fatte di grandi gocce, ed in certe condizioni durano anche di più.

L'acqua di mare polverizzata in goccioline di pochi micrometri di diametro (migliaia di volte più piccole delle gocce di pioggia) può generare un enorme numero di nuclei di condensazione, costituiti da piccolissimi cristalli di sale. Stephen Salter, già professore di ingegneria all'Università di Edimburgo, ha già sperimentato in laboratorio questo processo.

Circa il 25% di tutti gli oceani del mondo sono coperti da sottili strato-cumuli di bassa quota, che resi più riflettenti e durevoli potrebbero efficacemente raffreddare il Pianeta. Stephen Salter ha concepito un natante alimentato dal vento, che con turbine sottomarine aziona gli eiettori che generano la nebbia di acqua di mare, ed ha valutato che un migliaio di tali natanti, funzionanti senza operatori umani, potrebbero compensare il riscaldamento dovuto a decenni di emissioni di $CO_2$. Il costo di ciascuno di questi natanti potrebbe aggirarsi su qualche milione di dollari, e quindi l'investimento globale si aggirerebbe su qualche miliardo di dollari "una tantum", più manutenzione e rinnovo a fine vita utile; in ogni caso un impegno nettamente inferiore ai programmi proposti per la riduzione delle emissioni, ed anche ad altre opzioni per il controllo attivo del clima.

Naturalmente restano molti problemi aperti, anche prima di avviare una sperimentazione in mare sia pure a scala locale. Intanto occorre approfondire i processi che generano e distruggono le nuvole, e questo è un tema di grande criticità anche per il perfezionamento di tutti i modelli meteorologici e climatologici. Poi occorre valutare l'impatto sui fenomeni meteorologici nei territori attigui alle aree marine inseminate, il quale potrebbe essere notevole e non sempre accettabile. Infine, ci sarà da mettere a punto la tecnologia per la generazione a grande scala della nebbia di acqua marina.

Programmi di ricerca utili a questi fini sono già in corso, anche se dovrebbero essere molto potenziati. Da fine 2008, ricercatori di trenta istituzioni usano satelliti, aerei, navi e basi terrestri per studiare la dinamica delle nubi lungo le coste del Perù e del Cile, nell'ambito del progetto VOCALS, a sua volta parte del progetto VAMOS (che sta per: Variability of the American Monsoon System, mentre VOCALS sta per: VAMOS Ocean-Cloud-Atmosphere-Land Study). Sarebbe però

importante pianificare a breve un significativo esperimento sul campo, cioè su un'area marina anche di centinaia di chilometri quadrati.

La radiazione solare può poi essere riflessa addirittura da superfici chiare al suolo, come edifici e strade, o praterie e coltivazioni di colore chiaro. Queste opzioni sono state fatte oggetto di studi approfonditi (Akbari, 2009), anche se non sembrano tali da compensare neanche un raddoppio della $CO_2$.

**I problemi di "governance" per gli interventi attivi sul clima**

Come si è visto, recentemente è andato crescendo l'interesse per eventuali interventi attivi sul clima (*geoengineering*), ma in genere i discorsi si limitano agli aspetti tecnici e climatologici. Nell'ipotesi, tutt'altro che irrealistica, che i programmi di "mitigazione" (riduzione delle emissioni di gas-serra) e di "adattamento" ai cambiamenti climatici non risultino sufficientemente efficaci e/o tempestivi, sarebbe invece importante ed urgente prevedere fin da ora gli strumenti politici ed organizzativi necessari per avviare al più presto la ricerca e la sperimentazione sulla *geoengineering*, e, ove necessario, anche per attivare le conseguenti iniziative a grande scala.

Un'ampia analisi di questa problematica viene fornita da John Virgoe in un articolo pubblicato di recente su *Climatic Change* (Virgoe, 2009). Sotto molti aspetti la *geoengineering* comporta implicazioni socio-politiche sostanzialmente diverse rispetto ai ben noti programmi intesi alla "mitigazione" (Protocollo di Kyoto, ecc.). È probabile che a livello socio-politico vi sarà una opposizione istintiva ad es. all'idea di "inquinare" deliberatamente l'atmosfera, ed in generale scetticismo sulla consapevolezza degli scienziati riguardo a quello che intendono fare. Tuttavia, l'opinione pubblica, e quindi anche i politici, potrebbero cambiare rapidamente idea di fronte a soluzioni tecniche di costo relativamente ridotto, di rapida attuazione ed in grado di evitare i radicali cambiamenti nello stile di vita, tra cui la rinuncia allo sviluppo socio-economico dei paesi di nuova industrializzazione, quali sarebbero certamente richiesti da efficaci programmi di "mitigazione".

Una caratteristica tipica della *geoengineering*, infatti, è quella di essere rivolta soltanto al cambiamento climatico, senza impatti apprezzabili su altri obiettivi ambientali o sociali: non richiede modifiche

all'attuale stile di vita dei paesi sviluppati, o ai piani economici di quelli in via di sviluppo, non impone vincoli all'utilizzo delle foreste né minaccia l'uso e la diffusione dell'automobile. Tutto ciò potrà renderla invisa agli "ambientalisti ideologici", ma accettabile da parte di molti "interessi costituiti". D'altra parte il filone dell'"ambientalismo ideologico", salvo eccezioni, appare ancora contrario all'energia nucleare ed ai grandi impianti idroelettrici, che sono tra le poche opzioni veramente efficaci per la "mitigazione".

Per quanto riguarda la *governance*, la *geoengineering* pone dei problemi sostanzialmente diversi rispetto a quelli tipici degli accordi internazionali relativi all'ambiente. Ad es. la riduzione delle emissioni dei gas-serra richiede azioni specifiche da parte di molti decisori, a molti livelli, in molti paesi diversi: si tratta di un'azione globale con un impatto globale. Al contrario, la *geoengineering* può configurarsi come un'azione locale con un impatto globale. Un intervento di *geoengineering* può richiedere l'azione di un solo attore politico, o di una sola apposita agenzia. In ogni caso un solo attore è preferibile ad una pluralità, in quanto si tratta di portare a termine in tempi brevi grandi realizzazioni ingegneristiche, e di adattarle anche in corso d'opera ai risultati via via ottenuti. Ovviamente, l'attuatore unico non esclude, anzi richiederebbe, un adeguato regime multilaterale per la definizione delle iniziative, la distribuzione degli oneri economici ed il controllo dei risultati.

Una inevitabile preoccupazione per l'avvio di progetti di *geoengineering* è poi costituita dai possibili effetti collaterali dannosi. La distribuzione geografica degli effetti è altrettanto importante della loro entità. Ci saranno comunque "vincitori" e "perdenti", sia pure in senso relativo: ad es., gli agricoltori delle alte latitudini potrebbero attendere con piacere un sensibile riscaldamento del clima… Ovviamente queste difformità tra paesi, o tra gruppi di interesse, potranno originare richieste di compensazione, che dovranno essere gestite a livello politico e/o legale. Le vertenze sarebbero particolarmente delicate se i progetti fossero stati avviati da uno o da pochi paesi, e quindi sarebbe altamente auspicabile che a monte vi fosse comunque un accordo globale a livello delle Nazioni Unite.

Nessun trattato in essere, tuttavia, tratta esplicitamente di *geoengineering*. Anche la United Nations Framework Convention on Climate

Change (UNFCCC), lo strumento legale fondamentale sul cambiamento climatico, non prevede la possibilità di interventi *intenzionali* per modificare il clima, salvo che per lo "enhancement of sinks and reservoirs". È da notare, in proposito che l'obiettivo primario della Convenzione è la "*stabilization of greenhouse gas concentrations* in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system" (italics added). Quindi, le opzioni di *geoengineering* che non agissero sulle concentrazioni di gas-serra resterebbero comunque al di fuori di quest'ambito.

Una significativa affermazione era comunque già stata fatta da Teller nel lavoro citato (Teller, 2004), e cioè che l'uso della *geoengineering* si potrebbe ritenere implicitamente ammesso dallo spirito della UNFCCC, in quanto strumento per conseguire con la massima efficienza gli obiettivi primari della Convenzione stessa: se gli interventi di *geoengineering* si rivelassero meno costosi e meno dannosi rispetto al non far niente o, come sembra sempre più probabile, rispetto a pesanti provvedimenti di "mitigazione", lo UNFCCC sarebbe anzi tenuto a promuovere quegli interventi.

Anche lo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dovrebbe evidentemente essere attivamente coinvolto nel coordinamento della ricerca e della sperimentazione delle possibili opzioni di *geoengineering*. In ogni caso, appare più che opportuno che la *governance* di un futuro programma di *geoengineering* venga organicamente e tempestivamente integrata negli organismi delle Nazioni Unite operanti nel campo del clima.

Un accordo sulla *geoengineering*, sia esso stipulato in ambito UNFCCC o di un apposito nuovo organismo delle Nazioni Unite, dovrebbe poi definire la struttura operativa incaricata di attivare gli interventi su larga scala. Come già si è detto, a differenza dei provvedimenti di "mitigazione", demandati ai singoli paesi, qui si tratta di portare a termine in tempi brevi grandi realizzazioni ingegneristiche, e di adattarle anche in corso d'opera ai risultati via via ottenuti. I modelli da considerare potrebbero allora essere quelli dell' IAEA (International Agency for Atomic Energy), sempre delle Nazioni Unite, oppure del CERN (European Organization for Nuclear Research), oppure del Progetto ITER per la fusione nucleare; oppure potrebbero essere attivate una o più grandi agenzie spaziali già esistenti, nel caso si arrivasse

a pianificare la realizzazione di deflettori della radiazione solare da disporre nello spazio.

A conclusione delle precedenti considerazioni sulla *geoengineering*, si vuole qui fare uno specifico riferimento ad un ampio studio sull'argomento, promosso dalla inglese Royal Society, il cui rapporto conclusivo, recentemente pubblicato (Royal Society, 2009), fornisce dettagliate informazioni non solo tecniche ma anche economiche sulle numerose diverse possibili opzioni di intervento sul clima. Qualunque potrà essere l'esito dei futuri programmi di "mitigazione", il rapporto, con riguardo alla Gran Bretagna, afferma l'opportunità di avviare al più presto un programma di ricerca e sviluppo sulla *geoengineering*, in una prospettiva di 10 anni e con un finanziamento dell'ordine di 10 milioni di sterline all'anno.

## Riferimenti

Akbari, H. et al., 2009 "Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset $CO_2$" *Climatic Change*, Vol. 94, pp. 275–286.

Allen, P. A., 2006 "Snowball Earth on Trial" *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, *Electronic Supplement (Online Newspaper)*, Vol. 87, No. 45, p. 495 – 7 November 2006.

Barker, S. et al., 2009 "Interhemispheric Atlantic seesaw response during the last deglaciation" *Nature,* Vol. 457, pp. 1097-1102 - 26 February 2009.

Broecker, W. S., 2007 "$CO_2$ Arithmetic" *Science,* Vol. 315, p. 1371 – 9 March 2007.

Carlslaw, K., 2009 "Cosmic rays, clouds and climate" *Nature*, Vol. 460, pp. 332-333 - 16 July 2009.

Chumakov, N. M., 2008 "A Problem of Total Glaciations on the Earth in the Late Precambrian" *Stratigraphy and Geological Correlation*, Vol. 16, No. 2, pp. 107–119.

Crowley, T. J. and W. T. Hyde, 2008 "Transient nature of late Pleistocene climate variability" *Nature,* Vol. 456, pp. 226-230 - 13 November 2008.

Crutzen, P. J., 2006 "Albedo enhancement by stratospheric sulphur injections: a contribution to resolve a policy dilemma?" *Climatic Change*, Vol. 77, pp. 211–219.

EPICA community members, 2004 "Eight glacial cycles from an Antarctic ice core" *Nature,* Vol. 429, pp. 623-628 - 10 June 2004.

ExxonMobil, 2008 "The Outlook for Energy - A View to 2030" December 2008.

Fairchild, I. J. and M. J. Kennedy, 2007 "Neoproterozoic glaciation in the Earth System" *J. Geol. Soc. Lond.,* Vol. 164, issue 5, pp.895–921.

Hoffert, M. I. et al., 1998 "Energy implications of future stabilization of atmospheric $CO_2$ content" *Nature*, Vol. 395, pp. 881-884 – 29 October 1998.

Hoffert, M. I. et al., 2002 "Advanced Technology Paths to Global Climate Stability: Energy for a Greenhouse Planet" *Science,* Vol. 298, pp. 981-987 - 1 November 2002.

IPCC, 2007a "Climate Change 2007 - The Physical Science Basis - Technical Summary – TS.2 Changes in Human and Natural Drivers of Climate – TS.2.1 Greenhouse Gases – TS.2.1.1 Changes in Atmospheric Carbon Dioxide, Methane and Nitrous Oxide" <http://www.ipcc.ch/>.

IPCC, 2007b "Climate Change 2007 - The Physical Science Basis - Technical Summary – TS.2 Changes in Human and Natural Drivers of Climate – TS.2.1 Greenhouse Gases - TS.2.1.3 Changes in Atmospheric Halocarbons, Stratospheric Ozone, Tropospheric Ozone and Other Gases" <http://www.ipcc.ch/>.

IPCC, 2007c "Climate Change 2007 – The Physical Science Basis - 10 Global Climate Projections - 10.1 Introduction" <http://www.ipcc.ch/>.

IPCC, 2007d "Climate Change 2007 – Synthesis Report – 5. The long-term perspective - 5.5 Technology flows and development" <http://www.ipcc.ch/>.

Jones, N., 2009 "Sucking it up" *Nature,* Vol. 458, pp. 1094-1097 - 30 April 2009.

Joos, F. et al., 1996 "An efficient and accurate representation of complex oceanic and biospheric models of anthropogenic carbon uptake" *Tellus B*, Vol. 48, pp. 397–417.

Keith, D. W., 2001 "Geoengineering" *Nature,* Vol. 409, p. 420 - 18 January 2001.

Kennedy, M. et al., 2008 "Snowball Earth termination by destabilization of equatorial permafrost methane clathrate" *Nature,* Vol.453, pp. 642-645 – 29 May 2008.

Lenton, T. M. and N. E. Vaughan, 2009 "The radiative forcing potential of different climate geoengineering options" *Atmos. Chem. Phys. Discuss.,* Vol. 9, pp. 2559–2608.

Metz, B. et al., Eds., 2001 "Climate Change 2001: Mitigation" *Cambridge Univ. Press,* New York, p.8.

Monastersky, R., 2009 "A burden beyond bearing" *Nature,* Vol. 458, pp. 1091-1094 - 30 April 2009.

Morton, O., 2009 "Great white hope" *Nature,* Vol. 458, pp. 1097-1100 - 30 April 2009.

Mueller, U. C. and J. Pross, 2007 "Lesson from the past: present insolation minimum holds potential for glacial inception" *Quaternary Science Review,* Vol. 26, pp. 3025-3029.

Parry, M. et al., 2009 "Overshoot, adapt and recover" *Nature,* Vol. 458, pp. 1102-1103 - 30 April 2009.

Royal Society, 2009 "Geoengineering the climate – Science, governance and uncertainty" Report 10/09 – RS1636 – September 2009.

Ruddiman, W. F., 2005 "Quando iniziammo ad alterare il clima" *Le Scienze*, 31 maggio 2005.

Ruddiman, W. F., 2008 "The challenge of modeling interglacial $CO_2$ and $CH_4$ trends" *Quaternary Science Reviews,* 27, pp. 445–448.

Schneider, S. H., 2001 "Earth systems engineering and management" *Nature,* Vol. 409, pp. 417-421 – 18 January 2001.

Severinghaus, J. P., 2009 "Southern see-saw seen" *Nature,* Vol. 457, pp. 1093-1094 - 26 February 2009.

Svensmark, H., 2007 "Cosmoclimatology: a new theory emerges" *A&G,* Vol. 48, pp. 1.18-1.24 - February 2007.

Teller, E. e al., 2004 "Active climate stabilization" *Tyndall Centre and Cambridge-MIT Institute - Symposium on Macro-Engineering Options For Climate Change Management and Mitigation,* Isaac Newton Institute, Cambridge, England, 7-9 January 2004.

Virgoe, J., 2009 "International governance of a possible geoengineering intervention to combat climate change" *Climatic Change*, Vol. 95, pp. 103-119.

Wigley, T. M. L. et al., 1996 "Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric $CO_2$ concentration" *Nature*, Vol. 379, pp. 240–243 – 18 January 1996.

Wigley, T. M. L., 2006 "A Combined Mitigation/Geoengineering Approach to Climate Stabilization" *Science,* Vol. 314, pp. 452-454 - 20 October 2006.

Zachos, J. et al., 2001 "Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present" *Science,* Vol. 292, pp. 686-693 - 27 April 2001.

# IMPATTO CLIMATICO DELL'ENERGIA NUCLEARE

Ugo SPEZIA
*Segretario Generale AIN*

Grazie Presidente e grazie a tutti coloro che sono presenti. Cercherò di andare molto rapidamente, anche perché vedo in platea volti molto conosciuti che hanno lavorato all'interno del sistema nucleare. Alcune delle cose che dirò non saranno per loro delle novità, anzi, probabilmente si tratterà di cose abbastanza noiose.

Vi parlerò dell'impatto climatico degli impianti nucleari e dei riflessi che dall'uso dell'energia nucleare possono derivare in positivo o

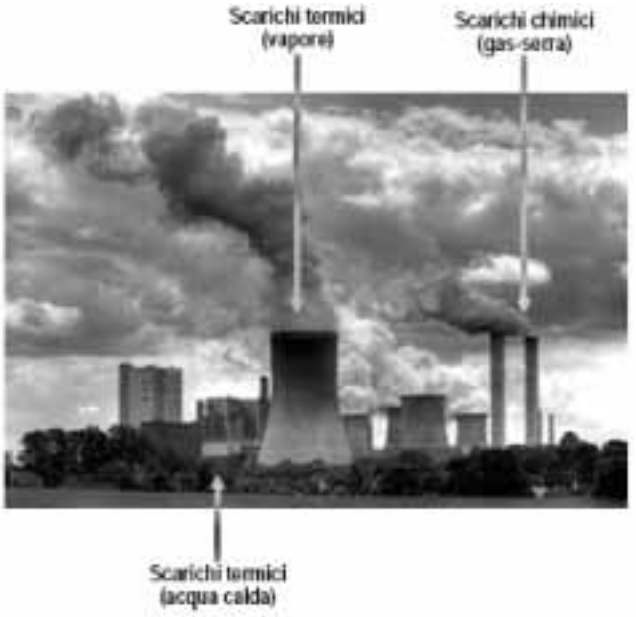



Foto 1

in negativo sul clima sulla base delle convinzioni correnti. E alla fine dirò come la penso su questo argomento.

In generale gli impianti di generazione elettrica (di qualsiasi tipo) possono potenzialmente produrre effetti climatici attraverso le emissioni chimiche (tipicamente gas-serra) e su scala locale attraverso gli scarichi termici. Nella foto 1 vediamo una centrale a carbone. Ci sono le torri evaporative che scaricano vapore nell'ambiente, quindi scarichi termici; i camini che scaricano gas serra; ci sono anche i sistemi di raffreddamento di centrale che scaricano calore nei corpi idrici che fungono da pozzo freddo per il raffreddamento.

La tab. 1 dà una misura delle quantità di inquinanti chimici o di fattori fisici che vengono scaricati annualmente da un impianto elettrico da 1.000 MWe; in alto per gli impianti nucleari e in basso per una centrale termoelettrica.

■ Movimentazione annua di materiali, emissioni e produzione annua di rifiuti nella generazione di energia elettrica:

■ Centrale nucleare da 1.000 MWe:

| | |
|---|---|
| combustibile movimentato | 20 t |
| rifiuti ad alta attività | 2 t |
| rifiuti a bassa e media attività | 200 t |
| radioattività effluenti a lunga vita | 2 GBq |

2 carri ferroviari all'anno

100 carri ferroviari al giorno

■ Centrale termoelettrica da 1.000 MWe (gas, petrolio, carbone):

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| combustibile movimentato | da | 1 | a | 2 | Mt |
| $CO_2$ | da | 4 | a | 7 | Mt |
| CO | da | 600 | a | 2.000 | t |
| ossidi di zolfo | da | 4.500 | a | 120.000 | t |
| ossidi di azoto | da | 4.000 | a | 27.000 | t |
| particolati in atmosfera | da | 1.500 | a | 5.000 | t |
| ceneri | da | 25.000 | a | 100.000 | t |
| metalli pesanti nelle ceneri | da | 1 | a | 400 | t |
| radioattività a lunga vita | da | 1 | a | 50 | GBq |

Tabella 1

La cosa che vorrei sottolineare è che per quanto riguarda i gas-serra siamo nell'ordine di grandezza dei milioni di tonnellate. Nel caso degli impianti nucleari gas-serra non ce ne sono. Come impatto sull'ambiente abbiamo solo lo scarico, secondo le formule autorizzate,

di circa 2 GBq/anno. Non si tratta di quantitativi importanti. Vedete in fondo indicato in blu il valore dell'attività che gli impianti termoelettrici scaricano nell'ambiente sotto forma di ceneri radioattive o metalli pesanti radioattivi contenuti nelle ceneri. Un quantitativo di radioattività a lunga vita che va da 1 a 50 GBq, 1 per un impianto a gas, 50 per un impianto a carbone. In altri termini, un impianto a carbone scarica nell'ambiente circa 25 volte la radioattività scaricata da un impianto nucleare di pari potenza.

L'impatto sul macroclima (v. Fig. 1) è legato all'emissione di gas serra. Se guardiamo come si caratterizzano le diverse fonti di generazione elettrica rispetto alle emissioni di gas serra ci rendiamo conto che il nucleare praticamente non emette gas serra. Certamente non dal funzionamento. Ma anche se consideriamo l'intero ciclo di produzione, dall'estrazione del minerale di uranio allo smaltimento dei rifiuti radioattivi, l'emissione di gas-serra è addirittura inferiore a quella dell'eolico e del fotovoltaico.

Nel grafico sono infatti indicate le emissioni dirette, cioè quelle che provengono dalla combustione, e anche le emissioni indirette, quelle che ad esempio provengono dal ciclo. Ad esempio, l'idroelettrico ha una emissione di gas-serra perché per costruire un impianto idroelet-

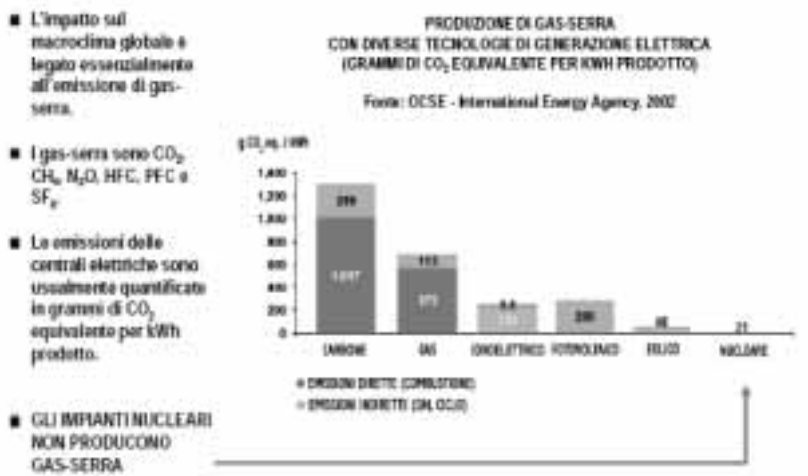



Figura 1

trico bisogna fare una diga, la diga è fatta con cemento e la produzione del cemento richiede processi di combustione che liberano $CO_2$.

Come paese, abbiamo assunto degli obblighi di riduzione molto pesanti attraverso il protocollo di Kyoto e stiamo per farlo anche con la direttiva 20-20-20 dell'Unione Europea. Il protocollo di Kyoto obbliga l'Italia a ridurre del 6,5% le emissioni rispetto al 1990 entro il 2012. La direttiva 20-20-20 ci pone degli obiettivi che sono francamente abbastanza impressionanti: ridurre del 20% l'intensità energetica rispetto al 2005 e ridurre del 13% le emissioni di gas serra rispetto al 2005. Si parla in questo caso di settori non soggetti all'*emission trading*; ciò significa che in questo caso non si possono comprare i diritti di emissione, bisogna ridurre fisicamente le emissioni. Gli obiettivi impongono inoltre di portare al 17% il contributo delle energie rinnovabili e di sostituire il 10% dei carburanti con biocombustibili.

Nella Fig. 2 vediamo come siamo sistemati oggi in Italia in termini di intensità energetica rispetto agli altri paesi europei. La colonna in grigio più chiaro (bordo scuro) indica la posizione dell'Italia, la linea in nero indica la media dei 27 paesi dell'Unione Europea.Vediamo che l'Italia ha già una intensità energetica fra le più basse fra i paesi europei.

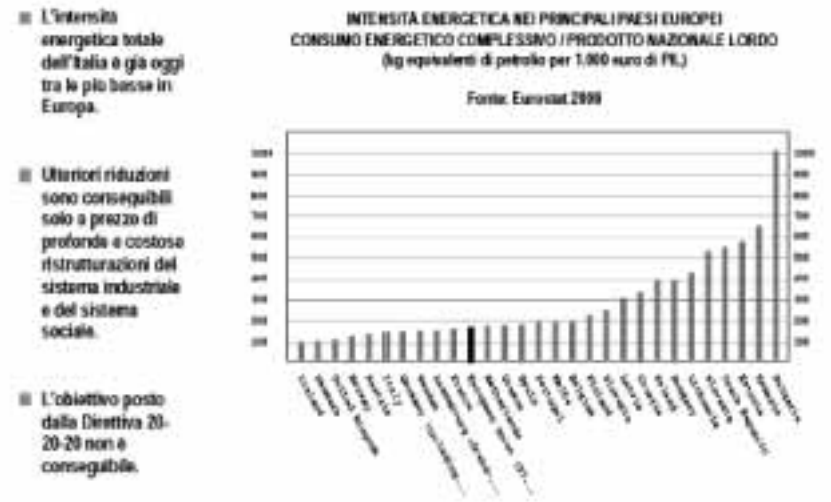



Figura 2

Cercare di immaginare come si possa ridurre questa intensità energetica del 20% è una sfida che credo non ammetta soluzioni. Quello che si può pensare è che il processo dovrebbe comportare una profonda ristrutturazione del sistema economico e del sistema sociale e io, da povero ingegnere, sono portato a dire che è un obiettivo che non possiamo perseguire.

Nella fig. 3 vediamo in particolare come siamo collocati in termini di intensità elettrica, considerando quindi solo una parte dell'energia, la componente elettrica, che rappresenta circa il 30% dei consumi energetici complessivi.

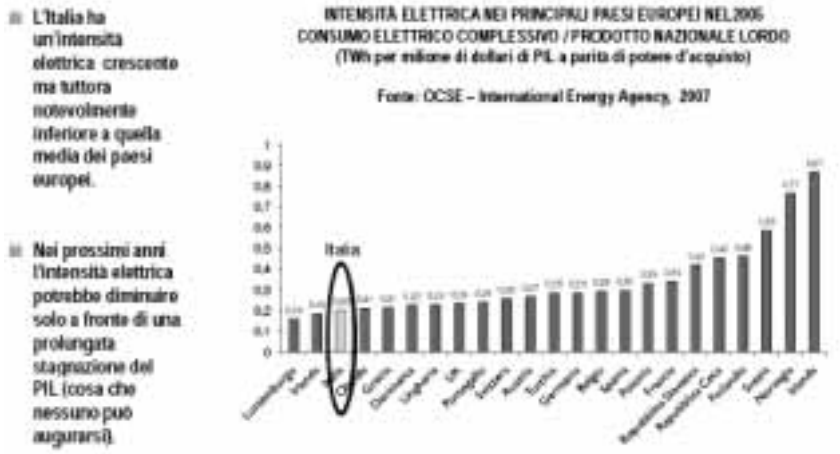



Figura 3

Anche in termini di intensità elettrica l'Italia si colloca fra i paesi europei che hanno consumi minori, ed anche in questo caso, visto il trend del consumo di elettricità in Italia e nei paesi industriali, possiamo pensare di conseguire gli obiettivi della direttiva 20-20-20 soltanto al prezzo di una prolungata stagnazione del prodotto interno lordo, il che vuol dire in presenza di una crisi economica molto prolungata, o magari provocandone una.

Il Protocollo di Kyoto ha come obiettivo globale di ridurre del 5,2% le emissioni di gas serra totalizzate dai paesi aderenti nel 1990 entro il periodo 2012. In termini numerici questo significa che, se le

emissioni dei paesi aderenti nel 1990 erano 13,7 miliardi di tonnellate all'anno, l'obiettivo di riduzione è pari a circa 0,7 miliardi di tonnellate all'anno. Il Protocollo è stato ratificato da 156 paesi, ma solo 26 paesi hanno obiettivi di riduzione, 4 paesi possono mantenere le emissioni, 7 paesi possono aumentare le emissioni e ben 119 paesi, cioè tutto il Centro Sud America, tutta l'Africa, la Cina e l'India e tutta l'Asia, escluso il Giappone, non hanno obiettivi di riduzione.

Nella Fig. 4 vediamo in termini grafici cos'è il Protocollo di Kyoto. In rosso sono indicati i paesi che hanno obiettivi di riduzione e in verde i paesi che non hanno obiettivi di riduzione.

Come sottolineava prima il Prof. Mathis, stiamo parlando di una esigua minoranza dell'umanità.

Figura 4

Nella Fig. 5 vediamo cosa è successo finora per quanto riguarda l'effettiva attuazione del Protocollo di Kyoto.

Sono dati Eurostat 2009 che mostrano il confronto delle emissioni di gas-serra in Europa nel 1996 e nel 2007. Sono numeri indice: il numero 100 indica il livello medio europeo delle emissioni nel 1990. Nel '96 come Europa eravamo grosso modo a 100, nel 2007, come Euro-

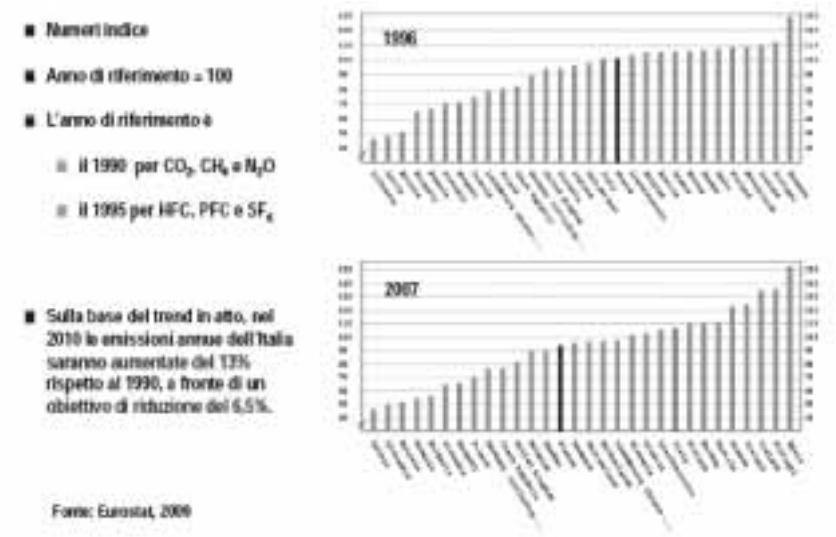



Figura 5

pa, siamo passati a circa 95, quindi c'è stata una riduzione. Vediamo in rosso indicata la posizione dell'Italia e in blu, per confronto, la posizione della Francia che è un paese che ha investito molto sul nucleare. Vediamo come la Francia, pur non avendo obiettivi di riduzione (la Francia poteva aumentare le emissioni), si è spostata sensibilmente verso sinistra, cioè ha ridotto le proprie emissioni di gas-serra. L'Italia, che ha obiettivi di riduzione piuttosto pesanti (6,5%), si è spostata a destra, cioè ha aumentato le proprie emissioni. Sulla base del trend corrente, nel 2010 le emissioni annue dell'Italia saranno aumentate del 13% rispetto ai livelli del 1990, il che vuol dire che il nostro obiettivo di riduzione è attualmente intorno al 20%. Per rispettare il Protocollo di Kyoto dovremmo ridurre le nostre emissioni di gas-serra di circa il 20%.

Nella Fig. 6 vediamo quel'è l'origine delle emissioni di gas-serra nel sistema Italia.

Vediamo che la fonte di emissione più importante è la produzione termoelettrica che rappresenta circa il 26% delle emissioni previste nel 2010. La seconda componente importante è data dai trasporti

| Fonti di emissione | Emissioni di gas-serra [Mt $CO_2$eq] | | |
|---|---|---|---|
| | 1990 (1) | 2000 (1) | 2010 (2) |
| DA USI DI FONTI ENERGETICHE | 424,9 | 452,1 | 464,1 |
| di cui: - Industrie energetiche | 147,4 | 160,1 | 170,4 |
| - termoelettrico | 124,9 | 140,6 | 150,1 |
| - raffinazione (consumi diretti) | 10,0 | 17,4 | 10,2 |
| - altro | 4,5 | 3,4 | 1,1 |
| - Industria manifatturiera e costruzioni | 85,5 | 77,1 | 88,2 |
| - Trasporti | 103,5 | 124,7 | 142,2 |
| - Civile (incluso terziario e Pubblica Amministrazione) | 70,2 | 72,1 | 74,1 |
| - Agricoltura | 9,0 | 9,8 | 9,6 |
| - Altro (fughe, militari, aziende di distribuzione) | 9,3 | 7,8 | 7,6 |
| DA ALTRE FONTI | 96,1 | 84,5 | 95,6 |
| di cui: - Processi industriali (industria mineraria, chimica, ...) | 35,9 | 33,9 | 30,4 |
| - Agricoltura | 43,4 | 42,6 | 41,0 |
| - Rifiuti | 13,7 | 14,2 | 7,5 |
| - Altro (solventi, fluorurati) | 3,1 | 3,8 | 16,7 |
| TOTALE | 521,0 | 546,6 | 576,7 |

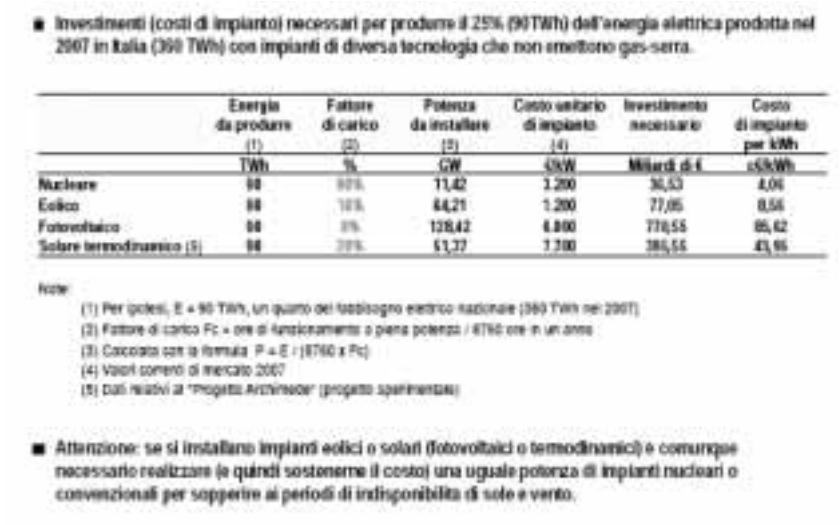
(1) Emissioni per l'anno 1990 e per l'anno 2000 elaborate dal MATTM sulla base dei dati trasmessi al Segretariato della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (IPCC) e alla Commissione europea nell'ambito della Decisione 93/389/CE.
(2) Scenario tendenziale delle emissioni al 2010 elaborato dal MATTM assumendo una crescita media del PIL pari al 2% all'anno e tenendo conto delle misure già avviate o comunque decise.

Figura 6

(24%). Ma mentre nel sistema termoelettrico si può intervenire con una certa facilità, nel sistema dei trasporti purtroppo non ci sono ancora alternative ai combustibili fossili. Il settore termoelettrico rappresenta l'unico settore nel quale è possibile intervenire in modo credibile per ridurre le emissioni, posto che abbia un significato tentare di ridurre le emissioni.

Vediamo allora quale può essere il contributo delle fonti di produzione elettrica che non emettono gas serra. Nella Fig. 7 sono considerati il nucleare, l'eolico, il fotovoltaico e il solare termodinamico. I dati relativi al solare termodinamico sono quelli del Progetto Archimede proposto dal Prof. Rubbia.

La tabella ha il valore di esercizio per esaminare cosa implica in termini di soli costi di impianto produrre con le diverse tecnologie esaminate il 25% del fabbisogno elettrico nazionale del 2007, ovvero 90 TWh. Nella tabella, in particolare, si tiene conto dei fattori di carico tipici degli impianti, un parametro che spesso non è considerato nelle valutazioni correnti. Un impianto di produzione elettrica, infatti, non lavora 8.860 ore all'anno, ma solo una parte. Il rapporto tra le ore di funzionamento equivalenti a piena potenza e le ore presenti in un



■ Investimenti (costi di impianto) necessari per produrre il 25% (90 TWh) dell'energia elettrica prodotta nel 2007 in Italia (360 TWh) con impianti di diversa tecnologia che non emettono gas-serra.

| | Energia da produrre (1) | Fattore di carico (2) | Potenza da installare (3) | Costo unitario di impianto (4) | Investimento necessario | Costo di impianto per kWh |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | TWh | % | GW | €/kW | Miliardi di € | c€/kWh |
| Nucleare | 90 | 90% | 11,42 | 3.200 | 36,53 | 4,06 |
| Eolico | 90 | 16% | 64,21 | 1.200 | 77,05 | 8,56 |
| Fotovoltaico | 90 | 8% | 128,42 | 6.000 | 770,55 | 85,62 |
| Solare termodinamico (5) | 90 | 29% | 51,37 | 7.700 | 395,55 | 43,95 |

Note

(1) Per ipotesi, E = 90 TWh, un quarto del fabbisogno elettrico nazionale (360 TWh nel 2007)
(2) Fattore di carico Fc = ore di funzionamento a piena potenza / 8760 ore in un anno
(3) Calcolata con la formula P = E / (8760 x Fc)
(4) Valori correnti di mercato 2007
(5) Dati relativi al "Progetto Archimede" (progetto sperimentale)

■ Attenzione: se si installano impianti eolici o solari (fotovoltaici o termodinamici) è comunque necessario realizzare (e quindi sostenerne il costo) una uguale potenza di impianti nucleari o convenzionali per sopperire ai periodi di indisponibilità di sole e vento.

Figura 7

anno dà il fattore di carico. Fattori di carico tipici sono pari al 90% per un impianto nucleare, al 16% per un impianto eolico e all'8% per un impianto fotovoltaico. Dati i costi di impianto, ciò significa che per sostituire il 25% della produzione elettrica nazionale con il nucleare andiamo incontro ad un investimento di circa 36 miliardi di euro, con l'eolico di 77 miliardi di euro, con il fotovoltaico di 770 miliardi di euro e con il solare termodinamico di circa 400 miliardi di euro. La componente dovuta al costo di impianto sul costo del kWh prodotto è visibile nell'ultima colonna: per il nucleare 4 centesimi di euro, per l'eolico 8 centesimi di euro, per il fotovoltaico 85 centesimi di euro e per il solare termodinamico 43 centesimi di euro. C'è anche da dire che se si sceglie l'eolico, il fotovoltaico o il solare termodinamico questo non significa che non si debbano realizzare degli impianti convenzionali o nucleari accanto a quelli a fonti rinnovabili, perché nel momento in cui non ci dovesse essere il vento, non ci dovesse essere il sole, visto che l'energia elettrica non si accumula con estrema facilità, bisogna avere degli impianti di produzione pronti a partire per supplire alla mancata produzione degli impianti a fonti rinnovabili. Questo significa che l'investimento sulle fonti rinnovabili è un investimento aggiun-

tivo rispetto all'investimento necessario per installare una capacità produttiva di tipo convenzionale o nucleare.

Sono stati esaminati degli scenari (v. tab. 2) per vedere come è possibile arrivare a coprire il fabbisogno elettrico italiano al 2016 riducendo le emissioni di gas-serra o, per lo meno, evitando che aumentino ulteriormente.

| Scenari | Strategia | Ipotesi di copertura del fabbisogno elettrico aggiuntivo al 2016 |
|---|---|---|
| 1 | +Nucleare | +12,5 GW di impianti nucleari (8 reattori da 1,6 GW in 4 siti) |
| 2 | +Nucleare<br>+Importazioni | +5,6 GW di impianti nucleari (4 reattori da 1,6 GW in 2 siti)<br>+7,2 GW (raddoppio) importazioni elettricità nucleare (costo nuovi elettrodotti) |
| 3 | +Rinnovabili | +29,4 GW di fonti rinnovabili (8 volte la potenza installata al 31.12.2005, no idro) |
| 4 | +Rinnovabili<br>+Importazioni | +13,3 GW di fonti rinnovabili (4 volte la potenza installata al 31.12.2005, no idro)<br>+7,2 GW (raddoppio) importazioni elettricità nucleare (costo nuovi elettrodotti) |
| 5 | +Rinnovabili<br>+Nucleare<br>+Importazioni | +8,7 GW di fonti rinnovabili (3 volte la potenza installata al 31.12.2005, no idro)<br>+2 GW di impianti nucleari (2 reattori da 1GW in 1 sito)<br>+7,2 GW (raddoppio) importazioni elettricità nucleare (costo nuovi elettrodotti) |
| 6 | - Fossili<br>+Rinnovabili<br>+Nucleare | -18% della produzione termoelettrica al 31.12.2005<br>+13 GW di fonti rinnovabili (4 volte la potenza installata al 31.12.2005, no idro)<br>+12,9 GW di impianti nucleari (8 reattori da 1,6 GW in 4 siti) |
| 7 | - Fossili<br>+Nucleare<br>+Importazioni | -18% della produzione termoelettrica al 31.12.2005<br>+11,6 GW di impianti nucleari (8 reattori da 1,4 GW in 4 siti)<br>+7,2 GW (raddoppio) importazioni elettricità nucleare (costo nuovi elettrodotti) |
| 8 | - Fossili<br>+Nucleare<br>+Rinnovabili<br>+Importazioni | -18% della produzione termoelettrica al 31.12.2005<br>+7,9 GW di impianti nucleari (5 reattori da 1,6 GW in 3 siti)<br>+8,7 GW di fonti rinnovabili (3 volte la potenza installata al 31.12.2005, no idro)<br>+7,2 GW (raddoppio) importazioni elettricità nucleare (costo nuovi elettrodotti) |

Tabella 2

I primi cinque scenari (sopra la riga grigia) sono quelli che evitano un aumento delle emissioni di gas-serra, gli ultimi tre sono quelli che le riducono, riducendo l'impiego delle fossili. Non entro nella descrizione del mix produttivo considerato nei diversi casi. Mi limito a dire che si regolano variamente le componenti nucleare, rinnovabile e fossile. I primi cinque scenari prevedono un contributo costante uguale all'attuale delle fonti fossili. Gli scenari sotto la linea grigia prevedono invece una riduzione del 18% rispetto ad oggi della produzione da fonti fossili.

I risultati sono riassunti nella tabella 3. Lo scenario 5 e lo scenario 8 sono quelli più "salomonici", in quanto intervengono su tutte le fonti. Lo scenario 5 mostra che elevando il contributo del nucleare, delle

importazioni e delle rinnovabili e tenendo costante il contributo delle fonti fossili, è necessario un investimento di 28 miliardi di euro, si evita l'emissione di 50 milioni di tonnellate all'anno di $CO_2$ e si ha un costo medio di produzione del kWh pari a 5,7 centesimi di euro rispetto ai 5,8 centesimi attuali. Il costo delle emissioni in tal modo evitate è di circa 561 euro per tonnellata di $CO_2$, quindi molto di più di quello che costa continuare ad emettere $CO_2$.

| Scenario | Strategia | | | | Investimenti totali | Emissioni evitate | Costo medio di produzione del kWh | Costo emissioni evitate |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | I | R | F | G€ | M t $CO_2$eq / anno | € / kWh | € / t $CO_2$eq |
| 1 | + | - | - | - | 28,1 | 51,6 | 0,055 | 544,6 |
| 2 | + | + | = | = | 18,4 | 50,5 | 0,055 | 364,3 |
| 3 | = | = | + | = | 62,4 | 51,6 | 0,062 | 1.209,3 |
| 4 | - | + | + | - | 33,4 | 50,5 | 0,058 | 661,4 |
| 5 | + | + | + | = | 28,3 | 50,4 | 0,057 | 561,5 |
| 6 | + | - | + | - | 56,3 | 100,7 | 0,055 | 559,1 |
| 7 | + | + | - | - | 31,7 | 99,5 | 0,052 | 318,6 |
| 8 | + | + | + | - | 41,7 | 99,5 | 0,054 | 419,1 |

N = Nucleare I = Importazioni R = Rinnovabili (no idro) F = Fossili

Costo di produzione del kWh calcolato ai costi 2006 dei combustibili (costo medio 2006 = 0,050 € / kWh)

Tabella 3

Lo scenario 8, che prevede anche la riduzione del 18% del contributo delle fonti fossili, ha un costo di 42 miliardi di euro ma consente di ridurre le emissioni di circa 100 milioni di tonnellate l'anno, che è grossomodo l'attuale obiettivo del Protocollo di Kyoto; il costo medio di produzione del kWh si riduce a 5,4 centesimi di euro e le emissioni di $CO_2$ evitate costano circa 420 euro a tonnellata. Vediamo che in questo caso si riesce ad ottenere una riduzione del costo del kWh che serve anche per aumentare il contributo delle fonti rinnovabili. Abbiamo visto in precedenza che le fonti rinnovabili costano moltissimo; ma siccome abbiamo degli obiettivi anche sulle fonti rinnovabili, il nucleare può consentire di ridurre il costo del kWh al fine di ricavare le

risorse economiche che servono per installare nuova potenza rinnovabile senza portare ad un aumento proibitivo del costo del kWh. Questa è la soluzione che ho definito salomonica, ma è la soluzione verso la quale l'Italia potrebbe andare rispettando gli obiettivi del Protocollo di Kyoto e quelli della direttiva 20-20-20.

Cosa significa il nucleare rispetto all'impatto climatico lo vediamo nella fig. 8.

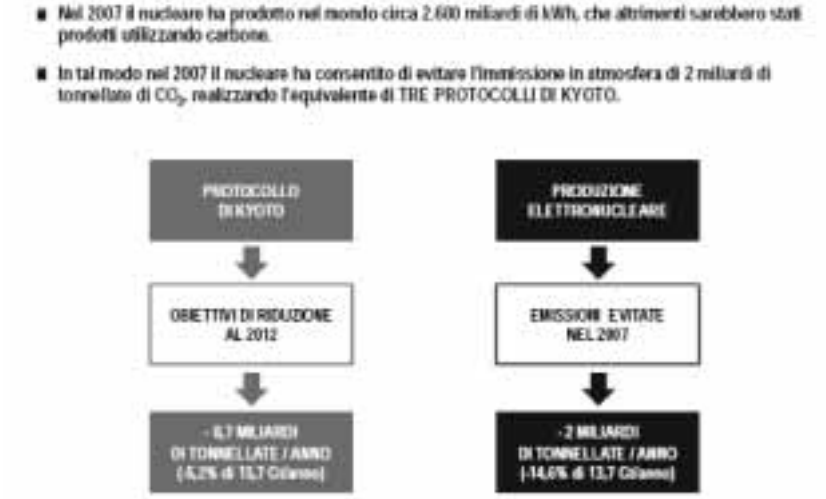



Figura 8

Nel protocollo di Kyoto gli obiettivi al 2012 prevedono la riduzione di 0,7 miliardi di tonnellate l'anno. Ebbene, nel solo 2007 il nucleare ha prodotto circa 2600 miliardi di kWh che, se non ci fossero stati gli impianti nucleari, sarebbero stati prodotti utilizzando la fonte più economica, ovvero il carbone, con una produzione aggiuntiva di 2 miliardi di tonnellate di $CO_2$. Quindi il nucleare nel solo 2007 ha evitato l'immissione in atmosfera di 2 miliardi di tonnellate di $CO_2$ il che vuol dire che il nucleare in un solo anno ha realizzato tre Protocolli di Kyoto.

E veniamo all'impatto sul microclima. Il problema degli impianti nucleari è che hanno tuttora un rendimento termodinamico inferiore

rispetto agli impianti a ciclo combinato (v. Fig. 9). Per generare una potenza elettrica di 1000 MW l'impianto deve scaricare nell'ambiente 1700 MW termici. Non possiamo fare granché, salvo aumentare l'efficienza degli impianti.

Figura 9

Il calore viene essenzialmente dal raffreddamento dei condensatori di centrale (v. Fig. 10). Per raffreddarli si può usare un ciclo diretto prelevando acqua da un corpo idrico e facendola passare attraverso i condensatori, oppure è possibile operare in ciclo chiuso installando delle torri di raffreddamento, che possono essere del tipo a secco, che trasferiscono il calore all'atmosfera, oppure ad umido, che smaltiscono il calore in parte attraverso lo scambio aria-acqua e in parte attraverso l'evaporazione.

In Italia esistono limiti stringenti sul salto termico massimo ammissibile tra opera di presa e opera di restituzione dell'impianto. Parliamo di 1-3 gradi centigradi. Il rispetto di questi limiti, che sono finalizzati a minimizzare l'impatto biologico, garantisce l'assenza di qualsiasi effetto microclimatico. Quando le dimensioni del corpo idrico consentono di rispettare agevolmente questi limiti si usa il raffreddamento diretto: è il caso dell'acqua di mare o di un grande fiume. Quando

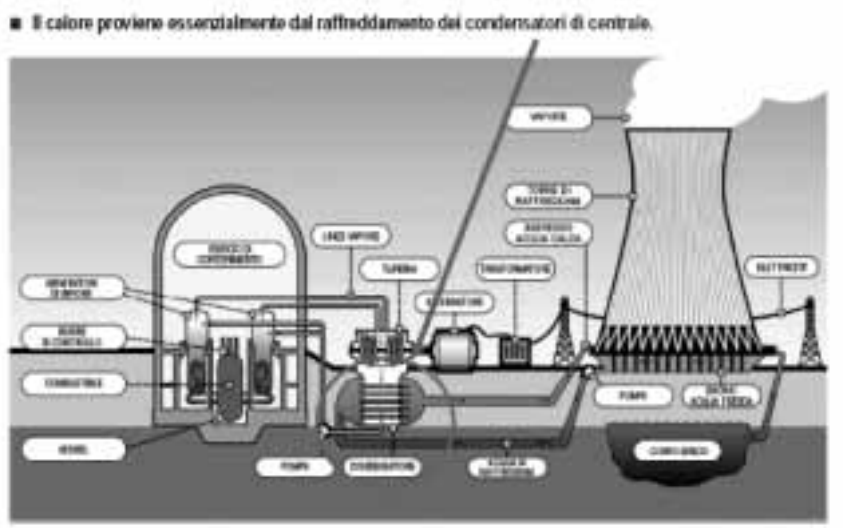



Figura 10

ciò non è possibile si deve operare in ciclo chiuso con le torri a secco o a umido. Le torri evaporative a umido possono avere un impatto microclimatico legato essenzialmente alla ricaduta al suolo del vapore generato e dell'acqua trascinata nel pennacchio, che possono portare alla formazione di nebbie, brine o ghiaccio, a seconda delle condizioni meteorologiche locali.

Una centrale nucleare da 1000 MWe raffreddata con torri evaporative a umido ha un fabbisogno idrico di reintegro di circa 2000 mc/h. Questa portata è prelevata dal corpo idrico usato come pozzo freddo ed è restituita all'ambiente sotto forma di vapore. La ricaduta d'acqua al suolo è di circa 6 mc/h e la zona interessata ha un'estensione di alcune centinaia di metri intorno alle torri. Quindi anche l'impatto sul microclima locale è assolutamente trascurabile.

Sul piano del rapporto produzione di energia-clima ammettendo (cosa della quale io personalmente non sono convinto) che siano in atto variazioni climatiche imputabili all'emissione antropica di gas-serra, gli impianti nucleari rappresentano una via obbligata all'effettiva riduzione delle emissioni del sistema elettrico. Gli impianti nucleari sono

infatti i soli in grado di garantire la produzione di energia elettrica su vasta scala, in modo economico ed evitando la produzione di gas-serra.

Sul piano politico generale, approfitto della grande sensibilità ed attenzione del Sen. Possa, che ci onora della sua presenza, per segnalare che il governo italiano dovrebbe rinegoziare i termini di adesione al Protocollo di Kyoto e alla direttiva 20-20-20 mettendo sulla bilancia non già i consumi in termini assoluti ma i consumi e le emissioni specifiche. Non ha alcun senso chiedere all'Italia di ridurre le emissioni di $CO_2$ e di ridurre l'intensità energetica quando, in termini di emissioni procapite e in termini di consumo di energia procapite, l'Italia è già fra i paesi industriali più virtuosi del mondo.

Grazie per l'attenzione.

# LE FONTI RINNOVABILI IN ITALIA E LE LORO PROBLEMATICHE

Domenico COIANTE
*ISAT-Amici della Terra*

**Riassunto**

Partendo dal bilancio energetico italiano, si esamina il contributo attuale delle fonti rinnovabili nel quadro di riferimento della direttiva dell'UE del 2008 (Pacchetto 20-20-20) emanata per contrastare la crisi climatica. Viene poi analizzata ciascuna tecnologia di produzione in modo da avere un'indicazione circa la producibilità specifica d'energia delle diverse fonti. Dall'incrocio di questi dati con la disponibilità territoriale si ottengono i vari potenziali energetici accessibili, cui viene applicato il vaglio delle limitazioni tecniche e/o economiche in modo da stimare il valore del potenziale energetico effettivamente praticabile per ciascuna fonte. Il risultato ottenuto fa emergere le problematiche tecniche che limitano oggi l'applicazione delle fonti rinnovabili ed individua le linee di ricerca e sviluppo per ampliare il loro uso su larga scala. Il punto della situazione attuale degli impianti chiude infine l'argomento.

## 1 - Introduzione

È opinione diffusa che le fonti rinnovabili possano costituire la soluzione del problema ambientale. In particolare si ammette che le tecnologie di produzione d'energia elettrica intermittente, come quella eolica, fotovoltaica e solare termoelettrica, possano sostituire una parte significativa dell'elettricità, che oggi viene prodotta dalla combustione degli idrocarburi fossili. Questa grande fiducia è alimentata dal fatto indiscutibile che il potenziale energetico solare è di gran lunga sovrabbondante rispetto alle esigenze energetiche presenti e future dell'umanità.

Sulla base di questa convinzione, l'UE ha emanato una direttiva, nota come "Pacchetto 20-20-20", che fissa gli obiettivi al 2020 per la politica climatica ed energetica europea: riduzione del 20% delle emissioni di $CO_2$ rispetto al valore del 1990, produzione del 20% della domanda d'energia da fonti rinnovabili e riduzione del 20% dei consumi energetici mediante il miglioramento dell'efficienza nell'uso.

Un'analisi accurata della capacità energetica delle varie rinnovabili per l'Italia conduce al fatto che tra esse il solare fotovoltaico possiede il maggiore potenziale accessibile. Ad esempio, come si vedrà più avanti, l'utilizzo dei 22000 $km^2$ delle aree marginali e delle coperture industriali, come siti per gli impianti fotovoltaici, potrebbe portare a produrre una quantità d'energia primaria pari a circa 144 Mtep. Quindi, in linea di principio sembra possibile dare un seguito positivo alla direttiva europea, almeno per ciò che concerne la produzione d'energia rinnovabile.

Il potenziale energetico accessibile risulta senza dubbio ridondante rispetto agli obiettivi. Occorre tuttavia chiedersi se tale grande potenziale sia effettivamente praticabile con le attuali tecnologie di sfruttamento, o se non esistano alcuni limiti alla applicazione su larga scala degli impianti di produzione.

Gli svantaggi propri dell'energia solare hanno costituito spesso argomento di critica allo sviluppo della tecnologia. Il concetto negativo dell'intermittenza casuale della produzione di potenza è stato sintetizzato mirabilmente nel 1993 dal Prof. Mario Silvestri del Politecnico di Milano (quotidiano "Il Giornale" del 16 gennaio) in questi termini: "*L'energia solare la si ha quando vuole lei e non quando la vogliamo noi, il che ne svaluta enormemente il valore intrinseco, perché costringe ad un onerosissimo sistema d'accumulo*."

Questa ed altre critiche di carattere concettuale sono qui riprese, sottoponendole ad un'analisi dettagliata, fonte per fonte, nel tentativo di identificare chiaramente i limiti e di quantificarne gli effetti in relazione agli obiettivi posti dall'UE.

La risposta individua chiaramente alcuni ostacoli, il cui superamento è condizione necessaria per non rendere vane nei fatti le grandi attese poste sulle fonti rinnovabili per la soluzione delle problematiche ambientali.

## 2 - Il bilancio energetico italiano nel 2007

La situazione attuale delle fonti rinnovabili nel bilancio energetico italiano è mostrata nella Tab.1.

La tabella mostra in dettaglio le diverse componenti del bilancio energetico italiano, che complessivamente vale 194,2 Mtep. È possibile distinguere la consistenza attuale dell'energia rinnovabile, il cui

**Tab.1 – Energia primaria in Italia nel 2007**

| FONTE PRIMARIA | Energia disponibile nel 2007[1] | Energia equivalente al petrolio[2] (Mtep) | Quota percentuale (%) |
|---|---|---|---|
| **Carbone** | **17,2 Mtep** | **17,2** | **8,85** |
| **Gas Naturale** | **70,0 Mtep** | **70,0** | **36,04** |
| **Petrolio** | **82,5 Mtep** | **82,5** | **42,48** |
| **A) Totale combustibili fossili** | | ***169,7*** | ***87,37*** |
| **Elettricità importata** | **46.4 TWh** | **10,2** | **5.25** |
| ***Fonti rinnovabili:*** | | | |
| **Idroelettrico** | **38,481 TWh** | **8,465** | **4,36** |
| **Geotermoelettrico** | **5,569 TWh** | **1,225** | **0,631** |
| **Eolico** | **4,034 TWh** | **0,887** | **0,457** |
| **Solare fotovoltaico** | **0.039 TWh** | **0.008** | **0,004** |
| **Solare termico** | **0,60 $TWh_{th}$** | **0,052** | **0,027** |
| **Biomasse** | **3,929 TWh** | **0,864** | **0,445** |
| **RSU** | **3,025 TWh** | **0,665** | **0,342** |
| **Biocombustibili** | **0,363 Mtep** | **0,363** | **0,187** |
| **Altre rinnovabili[3]** | | **1,75** | **0,901** |
| **B) Totale Fonti Energia Rinnovabile** | | ***14,3*** | ***7,36*** |
| **TOTALE ENERGIA** | | **194,2** | **100** |

[1] Fonte dei dati: BEN 2007; UPI, Data Book 2009; TERNA, Dati statistici sull'energia elettrica in Italia, 2007; GSE, Produzione lorda degli impianti da fonte rinnovabile in Italia dal 2003 al 2007; ESTIF, Solare Thermal Market in Europe 2007, Rapp. ESTIF 2008.
L'energia espressa in TWh si riferisce all'energia elettrica, mentre quella espressa in $TWh_{th}$ attiene all'energia termica.

[2] I dati di produzione energetica sono stati elaborati secondo i seguenti fattori di conversione in petrolio: 1 TWh (elettr.) = 0.22 Mtep (efficien. centrali =39%) per idroelettrico, geotermoelettrico, eolico, biomasse, fotovoltaico; 1 $TWh_{th}$ (termico) = 0.086 Mtep.

[3] Comprende la stima approssimata dei contributi del geotermico e delle biomasse per usi termici.

NFER = Nuove Fonti Energia Rinnovabile
RSU = Rifiuti Solidi Urbani

contributo ammonta a circa 14,3 Mtep corrispondente al 7,36% del consumo totale.

La Fig. 1 mostra visivamente la situazione del bilancio energetico nazionale.

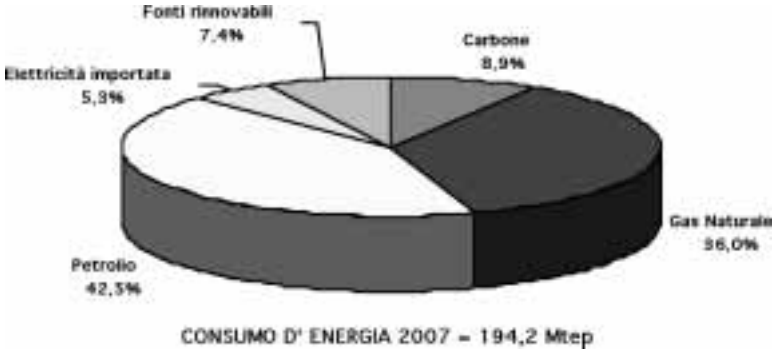



Fig. 1 – Il bilancio energetico italiano del 2007

La successiva Fig. 2 mostra in dettaglio la suddivisione in quote del contributo di 14,3 Mtep rispetto alle diverse fonti rinnovabili.

Si può chiaramente notare che la parte di gran lunga maggiore è data dall'idroelettrico con il 59%, mentre le biomasse incidono per

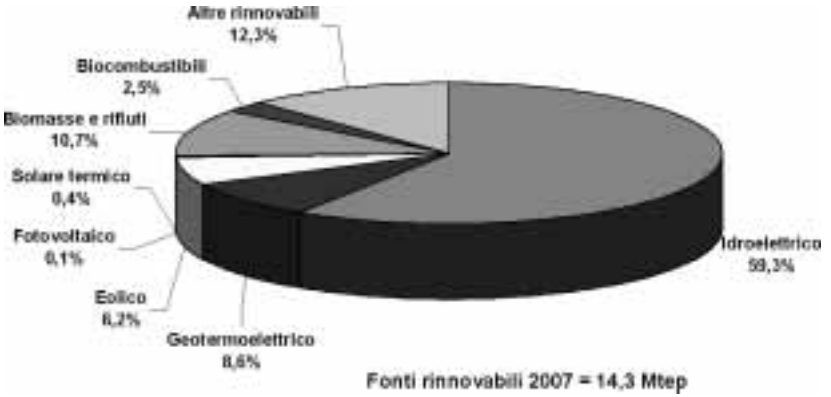



Fig. 2 – Incidenza relativa delle diverse fonti sulla quota di 14,3 Mtep delle rinnovabili nel bilancio energetico italiano del 2007

circa l'11%, il geotermoelettrico per il 9% e l'eolico per il 6%. Completamente trascurabili sono ancora le quote del solare termico e del fotovoltaico, nonostante i grandi progressi fatti di recente da queste fonti.

### 3 - Il "Pacchetto 20-20-20" e l'obiettivo per le fonti rinnovabili

Il *Climate Package* è stato approvato in seduta plenaria dal Parlamento europeo il 17 dicembre 2008. L'obiettivo consiste nella riduzione delle emissioni di gas serra di una quota pari al 20% nel 2020 rispetto al livello del 1990. Per il raggiungimento di questo traguardo è chiaramente indicato il ricorso alle fonti rinnovabili in modo da arrivare nel 2020 a soddisfare il consumo energetico con una quota media europea d'energia rinnovabile pari al 20% del totale. Questo obiettivo può essere ottenuto utilizzando sia le fonti rinnovabili che producono energia elettrica, sia quelle destinate ai trasporti, come i biocarburanti, sia quelle rivolte al riscaldamento, come le biomasse per usi termici e il solare termico.

La quota europea del 20% per le fonti rinnovabili è stata oggetto di trattative per l'adattamento alle condizioni esistenti in ciascun paese della UE e ciò ha portato alla definizione di un obiettivo obbligatorio per l'Italia pari al 17% per il contributo d'energia rinnovabile al 2020 nel bilancio energetico nazionale.

La quantificazione in termini assoluti della produzione energetica da fonti rinnovabili implica la previsione del fabbisogno italiano d'energia per il 2020 e ciò introduce un certo grado d'aleatorietà, perché qualunque previsione fatta su base decennale rischia di essere disattesa dai fatti, come sta dimostrando la presente grave crisi finanziaria mondiale con i suoi indubbi risvolti energetici. Quindi le precedenti proiezioni dei consumi d'energia devono essere riviste alla luce dei possibili cambiamenti dei parametri macroeconomici: principalmente il Prodotto Interno Lordo (PIL), il consumo energetico annuale E e l'intensità energetica $I_E$, definita come la quantità d'energia primaria necessaria per produrre 1000 euro di PIL.

La Fig. 3 mostra la serie storica del consumo energetico italiano dal 1994 al 2007, ultimo anno per cui si hanno i dati ufficialmente acquisiti, ripartito per risorsa energetica utilizzata.

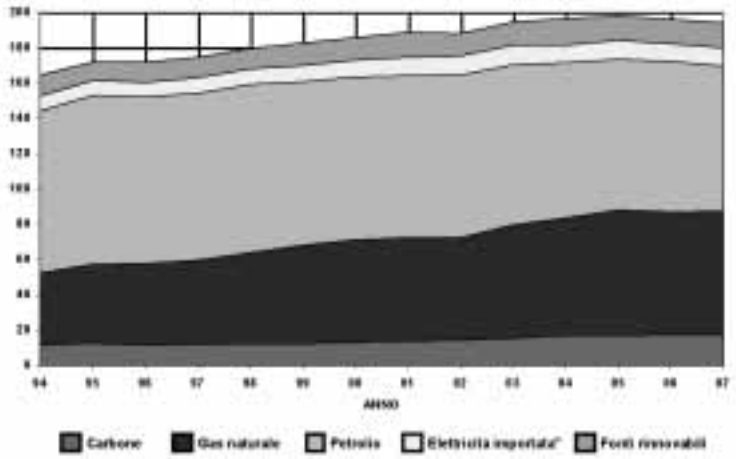



Fig. 3 – Andamento storico dei consumi energetici italiani fino al 2007

Si nota una crescita del gas naturale a spese del petrolio, mentre risulta in leggero continuo aumento il contributo delle fonti rinnovabili. Nel suo complesso, il consumo energetico è aumentato fino al 2005, portandosi a circa 200 Mtep, per poi diminuire negli ultimi due anni di circa 2 Mtep all'anno. Secondo le proiezioni della UE, questa tendenza si dovrebbe mantenere per molti anni, tanto da stimare per il 2020 un consumo energetico nazionale pari a circa 167 Mtep. Questa previsione è stata fatta prima che si manifestasse la grave crisi finanziaria, che oggi sta sconvolgendo l'economia mondiale, Italia compresa. Pertanto, sembra opportuno confermare la stima in modo indipendente utilizzando le più recenti informazioni circa i parametri macroeconomici che entrano nel calcolo.

Il consumo energetico e il PIL sono fra loro collegati tramite l'intensità energetica dalla relazione:

$$E = (PIL) \cdot I_E$$

Quest'espressione esprime il fatto che il consumo energetico deve essere considerato come una funzione di due parametri, il PIL e l'intensità energetica. Tali grandezze vanno viste come variabili (quasi) indipendenti, perché esse sono determinate principalmente dalle condi-

zioni socioeconomiche del Paese (PIL) e dal livello tecnologico raggiunto nell'uso dell'energia ($I_E$). La proiezione del consumo energetico al 2020 comporta la previsione dell'andamento di questi parametri per i prossimi tredici anni.

**a) Prodotto Interno Lordo**

Negli ultimi anni la crescita annuale relativa del PIL si è andata riducendo da valori superiori al 2% fino all'1,5% del 2007 con valori negativi pari a – 1% nel 2008 e previsione OCSE di – 5% per il 2009. Ipotizziamo ottimisticamente di aver raggiunto il culmine della crisi nell'anno in corso e di poter riprendere la crescita graduale con – 0% nel 2010, con 1% nel 2011 e finalmente con + 1,5% nel 2012. Assumiamo poi che questo tasso di crescita si mantenga fino al 2020 o, in un'alternativa più ottimistica, che esso possa portarsi al 2% e rimanere così.

La Fig. 4 mostra la serie storica del PIL italiano fino al 2007 e l'estrapolazione dell'andamento sulla base delle ipotesi precedenti.

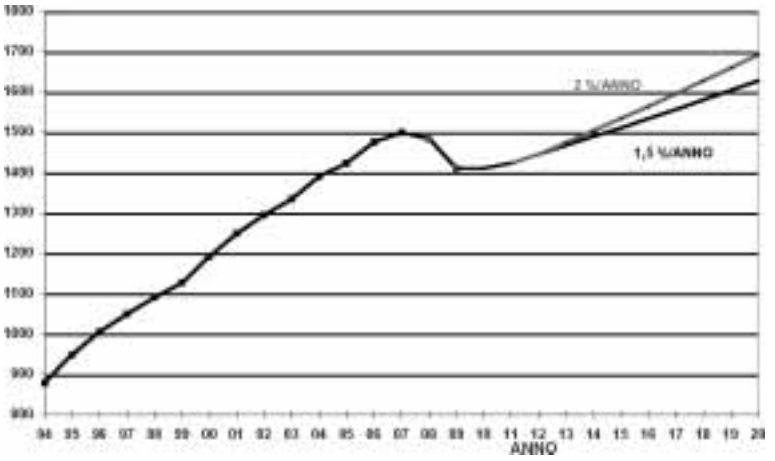



Fig. 4 – Andamento storico del PIL italiano ed estrapolazione fino al 2020 sulla base di previsioni per la ripresa economica dal 2011 con due tassi di crescita: 1,5%/anno (curva nera), 2%/anno (curva blu). (Fonte: UPI, Statistiche Economiche Energetiche e Petrolifere 2007)

**b) Intensità energetica**

l'Italia ha il coefficiente d'intensità energetica più basso tra i Paesi europei. Il diagramma di Fig. 5 mostra chiaramente la situazione al 2006 con l'Italia collocata al primo posto assieme alla Grecia nella classifica dei paesi più virtuosi dell'UE.

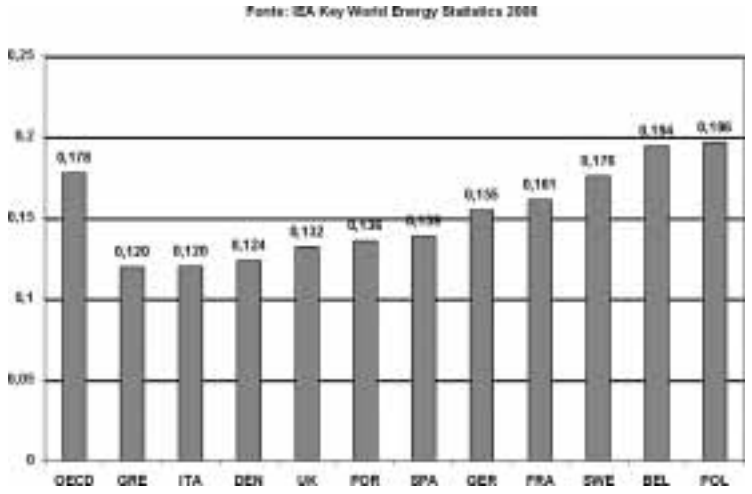



Fig. 5 – Intensità energetica in alcuni paesi della UE (Fonte: IEA, 2008)

L'intensità energetica italiana ha un valore pari al 67% della media dei paesi industrializzati dell'OECD.

In accordo con un'ipotesi di ripresa economica e con una conseguente crescita del PIL, dobbiamo pensare che la decrescita del nostro consumo energetico, soprattutto nella misura notevole della previsione europea, sia fattibile solo con un ulteriore calo dell'intensità energetica. Certamente è possibile migliorare ancora le tecnologie energetiche nei diversi settori dell'uso finale (soprattutto riferendo l'azione al trasporto su strada che appare oggi come il settore più inefficiente) e quindi ridurre il valore dell'intensità. Appare, però, evidente che il processo ha un limite asintotico e pertanto il margine di manovra si va sempre più assottigliando.

Per chiarire questo aspetto, conviene tracciare la serie storica di $I_E$ e poi azzardare una proiezione al 2020, tenendo ben presente che dal risultato e dal suo incrocio con la proiezione del PIL dipende la previsione del consumo energetico a quella data. La Fig. 6 mostra l'andamento sperimentale e l'estrapolazione semi-lineare fino al 2020.

Osservando attentamente l'andamento dei dati sperimentali, si possono individuare almeno due tratti con due differenti pendenze. Dal '94 fino al 2002 si nota una pendenza media molto decisa e, a partire dal 2003, si può osservare una flessione con una leggera attenuazione della pendenza. Al 2008, non appaiono ancora segni chiari di un limite asintotico, tuttavia la presenza della flessione rende problematica l'estrapolazione lineare per il lungo periodo di 12 anni fino al 2020. Sembra pertanto più appropriato suddividere il percorso almeno in due parti, prevedendo un'ulteriore flessione a metà tratta nel 2014.

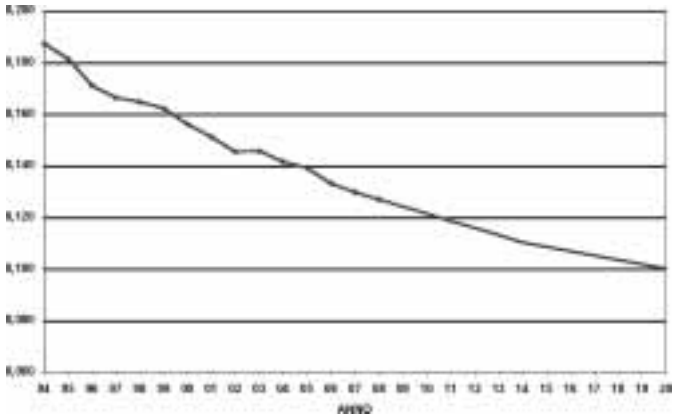


Fig. 6 – Serie storica dell'intensità energetica ed estrapolazione semi-lineare al 2020 (Fonte: elaborazione dell'autore su dati UPI 2007)

**c) Il consumo al 2020**

La previsione del consumo energetico al 2020 si ottiene eseguendo il prodotto delle due curve. La Fig. 7 ci mostra questo risultato nel quadro riassuntivo indicizzato di tutta la situazione.

Si nota subito che il miglioramento previsto per l'intensità energetica riesce a compensare l'aumento del PIL permettendo una riduzio-

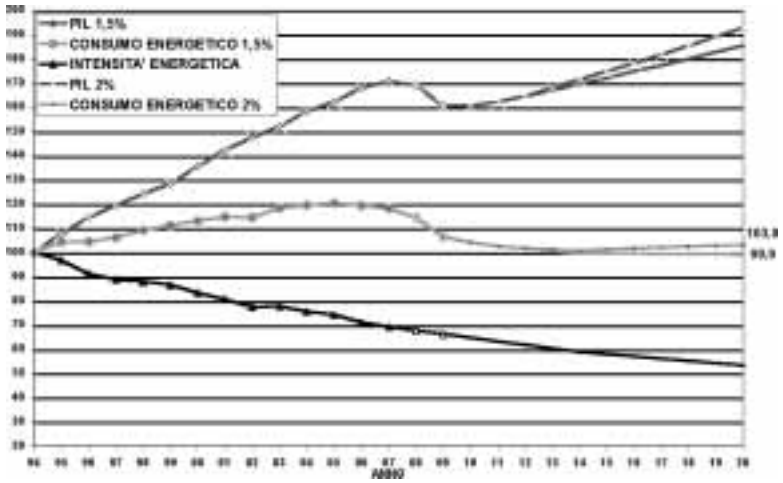



Fig. 7 – Quadro riassuntivo indicizzato.

ne del consumo energetico fino al valore che esso aveva nel '94. La piccola differenza dovuta alle due ipotesi per la crescita del PIL rientra sicuramente nell'incertezza delle previsioni.

In conclusione, secondo le nostre proiezioni, possiamo ipotizzare che il consumo previsto per il 2020 valga circa 164 Mtep, in accordo sostanziale con i 167 Mtep della previsione della UE. Assumiamo pertanto questo valore come riferimento e ricordiamo che è stato assegnato all'Italia l'obiettivo del 17%. Quindi, il contributo energetico annuale da ottenere con le fonti rinnovabili al 2020 risulta pari a 28,4 Mtep. Considerato infine che nel 2007 tale contributo è stato di 14,3 Mtep, si deduce che dobbiamo aumentare la produzione di energia rinnovabile di circa 1,08 Mtep all'anno in modo da cumulare nei prossimi 13 anni ulteriori 14 Mtep.

## 4 – La densità di energia rinnovabile sul territorio o potenziale specifico

La Tab.2 mostra la stima della densità energetica in termini di energia ricavabile da ogni km$^2$ di terreno occupato dagli impianti per

ciascuna fonte. I calcoli sono stati effettuati assumendo le caratteristiche tecniche delle diverse fonti nello stato della migliore tecnologia attuale. La forcella di valori si riferisce alle caratteristiche energetiche dei siti ritenuti più adatti per lo sfruttamento. Le condizioni del calcolo per le diverse fonti sono riportate in appendice.

Nell'ultima colonna è mostrato il dato di più immediata comprensione, cioè la densità di energia ricavabile a livello dell'area occupata dall'impianto, espressa in migliaia di barili di petrolio per km$^2$. Senza stare a distinguere troppo, si vede che, da ogni km$^2$ di terreno occupato dall'impianto, si possono ricavare da 100 a 200 000 barili di petrolio all'anno per il solare in genere, mentre per le biomasse si ottengono valori inferiori di un ordine di grandezza. I biocombustibili infine si vengono a trovare ad un livello di due ordini di grandezza più basso. L'eolico in questa visione territoriale si colloca per produttività al di sotto del solare, ma va detto che il suo impegno di territorio non

**Tab.2 - Densità superficiale di energia rinnovabile annuale sul territorio italiano**

| Fonte rinnovabile | Tipo di energia prodotta | Densità di energia riferita al terreno (E/km$^2$) | Energia chimica equivalente al petrolio (ktep/km$^2$) | Quantità equivalente al petrolio[6] (barili/km$^2$)x $10^3$ |
|---|---|---|---|---|
| Eolico | Elettrica[1] | (21 48) GWh | (4.6 ÷10.6) | (34 ÷77) |
| Solare termico | Termica | (868 1400) TJ | (24 ÷39) | (175 ÷285) |
| Fotovoltaico | Elettrica[1] | (99 107) GWh | (22 ÷23) | (161 ÷170) |
| Solare termodinamico; tecnologia CRS[2] | Elettrica[1] | (77 93) GWh | (17 ÷20) | (124 ÷146) |
| tecnologia DCS[3] | | (72 86) GWh | (16 ÷19) | (117 ÷139) |
| Biomasse: usi termici | Termica | (30 80) TJ | (0.72 ÷ 1.9) | (5 ÷ 14) |
| Biomasse: usi elettrici[4] | Elettrica[1] | (2.9 7.8) GWh | (0.64 ÷ 1.7) | (5 ÷ 12) |
| Biomasse: MTBE[5] | Chimica | (5 6) TJ | (0.12 ÷ 0.14) | (0.88 ÷ 1) |

[1]La produzione delle fonti elettriche è considerata tutta destinata all'uso finale elettrico
[2]CRS = Central Receiver System;
[3]DCS = Distributed Collector System.
[4]Si è considerata un'efficienza di conversione delle centrali pari al 35%, cioé 1 kWh = 2500 kcal.
[5]MetilTerziarioButilEtere
[6]1 barile di petrolio = 137 kg = 137 kep
Fonte: D. Coiante, Le nuove fonti di energia rinnovabile. Franco Angeli- Milano 2004

Tabella 2

esclude altri usi, come ad esempio quelli zootecnici, che pure dovrebbero essere conteggiati.

In sostanza la tabella ci dice che il territorio italiano può essere visto come un giacimento di energia rinnovabile da cui è possibile estrarre da 100 a 200 000 barili di petrolio all'anno per ciascun km$^2$.

Bisogna notare subito che la produzione di energia è strettamente proporzionale all'area impegnata dagli impianti. Il che vuol dire che per produrre l'energia rinnovabile non basta solo avere il sole e il vento, ma occorre anche disporre di adeguate estensioni territoriali da sfruttare.

Come è noto, l'Italia è un Paese relativamente piccolo e densamente abitato. La configurazione orografica del territorio è in gran parte abbastanza accidentata, mentre le zone pianeggianti e collinari sono quasi tutte impegnate dalle attività agricole e industriali. Allora, come prima cosa, dobbiamo verificare se esiste uno spazio di manovra per le fonti rinnovabili e quanto esso è esteso. Per rispondere a questo quesito, conviene far riferimento ai dati della penultima colonna, elaborandoli in modo da ricavare l'indice di occupazione territoriale, definito come l'area occupata dagli impianti in grado di produrre annualmente una quantità d'energia equivalente a 1 Mtep di petrolio. Per semplificare, l'indice può essere ottenuto prendendo il valore intermedio di ciascuna forcella ed utilizzando tale dato per calcolare l'estensione territoriale in km$^2$ necessaria in media per produrre 1 Mtep. Si ottiene la seguente situazione:

| | | |
|---|---|---|
| - solare termico | 32 | km$^2$ |
| - fotovoltaico | 44 | » |
| - solare termodinamico | 55 | » |
| - eolico* | 130 | » |
| - biomasse per elettricità | 850 | » |
| - biocombustibili liquidi | 8000 | » |

*Con riferimento all'area occupata dall'intero parco eolico, dove si praticano anche altri usi del terreno

Come si vede, si va dai 32 km$^2$ del solare termico ai 55 del solare termodinamico, per finire con gli 8000 km$^2$ di buon terreno agricolo necessari per 1 Mtep di biocombustibili liquidi.

Come si è visto, l'obiettivo del Pacchetto 20-20-20 già di per sé richiede nell'immediato la produzione aggiuntiva di circa 14 Mtep, cosa che implica l'occupazione di qualche centinaio di km$^2$. Più in generale, inoltre, c'è per il futuro la necessità di contrastare efficacemente la crisi climatica globale mediante la sostituzione dei combustibili fossili con le fonti rinnovabili e ciò richiede la produzione di decine di Mtep con queste fonti. Tutto questo richiede necessariamente l'occupazione di aree di dimensioni complessive dell'ordine del migliaio di km$^2$.
Sorge allora una domanda: - Esiste in Italia la disponibilità di aree adatte agli impianti rinnovabili in una tale quantità?

## 5 – Disponibilità di territorio per gli impianti

La Tab. 3 mostra come è suddiviso il territorio nazionale

**Tab.3 - Destinazione d'uso del territorio italiano**

| Tipo di uso | Estensione (km$^2$) | Quota percentuale |
|---|---|---|
| **Aziende agricole (tot. Anno 2000)** | **226200** | **75.0%** |
| **- Superficie Agricola Utile (SAU)** | **- 158340** | **- 52.5%** |
| **Seminativi** | **88037** | **29.2%** |
| **Coltiv. legnose permanenti[1]** | **28976** | **9.6%** |
| **Prati e pascoli permanenti** | **41327** | **13.7%** |
| **- Boschi** | **- 45240** | **- 15.0%** |
| **- Terreni marginali e coperture** | **- 22620** | **- 7.5%** |
| **Resto del territorio[2]** | **75138** | **25.0%** |
| **TOTALE** | **301338** | **100%** |

[1]Coltivazioni arborescenti: oliveti, frutteti, noccioleti, vigneti, pioppeti, ecc.
[2]Totale delle aree non utilizzabili a fini agricoli

Fonte: Dati ISTAT riportati su Enciclopedia di Repubblica 2003 alla voce Italia

Tabella 3

Si può costatare che le aree marginali (terreni aridi e abbandonati, coperture di edifici industriali e commerciali) ammontano a 22600 km$^2$, pari al 7.5% del territorio nazionale (dati censimento del '91). Dati ISTAT più recenti, quelli del censimento 2001, mostrano che un raddoppio di tali aree è avvenuto nel decennio '91-2001. Negli anni '80 una ricerca del CNR aveva già identificato, addirittura a livello ca-

tastale, l'ammontare dei terreni aridi e abbandonati, che si trovavano al Centro-Sud e sulle Isole, in quantità pari a 2 milioni di ettari, cioè 20000 $km^2$.

Chiaramente queste aree sono poco adatte per le coltivazioni agricole, ma possono essere "coltivate" proficuamente con il solare, ad esempio con il fotovoltaico.

## 6 - Potenziale energetico accessibile, potenziale praticabile e limiti tecnici

- Il potenziale energetico accessibile è definito come la quantità di energia che sarebbe possibile ricavare annualmente da ciascuna fonte con la tecnologia attuale indipendentemente dalla presenza di limitazioni tecniche ed economiche.
- Il potenziale praticabile, anche detto potenziale tecnico, è definito come l'energia che potrebbe essere prodotta annualmente utilizzando le attuali tecnologie delle fonti rinnovabili in presenza dei limiti tecnici e degli ostacoli di compatibilità territoriale con le altre attività economiche prioritarie.

A titolo d'esempio, prendiamo il fotovoltaico. Dalla tabella precedente della densità d'energia, con qualche piccolo calcolo, otteniamo che per produrre 1 TWh di elettricità fotovoltaica, cioè 1 miliardo di kWh, è necessario impegnare (10÷12) $km^2$ di terreno (nella situazione media d'insolazione relativa al Centro-Sud). Pertanto, in assenza di limitazioni tecniche e economiche, potremmo usare per gli impianti fotovoltaici i 20000 $km^2$ delle aree marginali abbandonate, che si trovano al Centro Sud e sulle Isole, ottenendo in tal modo circa 1670 TWh all'anno. Cosa che, in termini strettamente energetici (Fattore di conversione: 1 TWh = 0.086 Mtep), equivale a 144 Mtep di energia primaria (si ricorda che il fabbisogno energetico del 2007 è stato di 194 Mtep).

Il potenziale accessibile alla tecnologia fotovoltaica in Italia risulta quindi dell'ordine del fabbisogno totale d'energia.

Come si vedrà, ripetendo il discorso per tutte le altre fonti rinnovabili, si può anticipare che:

- Le risorse energetiche rinnovabili, nel loro complesso, costituiscono una riserva potenziale di energia di ampiezza confronta-

bile con la domanda energetica presente e futura del nostro Paese e ciò giustifica pienamente il grande interesse posto su tali fonti.

Purtroppo, questo quadro idilliaco è turbato dalla presenza di alcuni vincoli tecnici ed ostacoli economici, senza la cui rimozione, lo sfruttamento effettivo di questo grande potenziale porta ad un valore praticabile molto più basso. Ci riferiamo in particolare alle fonti che producono elettricità in modo intermittente, come l'eolico e il fotovoltaico, proprio quelle da cui ci si aspetta un contributo risolutivo dei problemi energetici ed ambientali.

**Per queste fonti il limite oggi esistente non è solo di natura economica, ma anche di tipo tecnico.**

Il limite è dovuto al modello di sviluppo adottato per gli impianti, che vengono in gran parte progettati per il collegamento diretto con la rete elettrica, senza alcun sottosistema di accumulo dell'energia. L'intermittenza casuale della produzione di potenza introduce un effetto limitativo alla quantità di potenza, che complessivamente la rete può accettare in connessione. Superare il limite può significare la perdita della stabilità della rete con conseguente *black out* nazionale.

Sull'esistenza di questo ostacolo sono d'accordo tutti gli esperti, sulla sua consistenza quantitativa invece essi non concordano. La ragione di ciò va ricercata nella grande difficoltà a schematizzare in un modello di calcolo la grande complessità strutturale della rete elettrica, che ospita una grande varietà di generatori dalle diverse caratteristiche tecniche (idroelettrici, termoelettrici a olio, a gas, a ciclo combinato, turbine a gas, ecc). Sta di fatto che fino ad oggi non esiste un calcolo affidabile pubblicato su questo tema. Uno studio dell'ENEL degli anni '80, tenuto allora riservato, aveva indicato che le condizioni di sicurezza contro le oscillazioni brusche del livello della potenza di rete si spingevano fino a tollerare ampiezze non superiori al (10 ÷15)% rispetto alla potenza rotativa in azione nella rete. Questa coincide, grosso modo, con quella dei generatori termoelettrici in funzione, la cui azione è modulata dal sistema di controllo automatico in modo da compensare le oscillazioni indesiderate e così ripristinare la stabilità del livello di potenza.

In ogni caso, la dimostrazione sperimentale più recente della presenza di questo limite e della sua entità si è avuta nella notte del 28 settembre 2003 quando alle 3.25 del mattino si è verificato il *black out* della rete in tutto il Nord Italia. Può essere istruttivo vedere brevemente cosa accadde.

La causa iniziale è stata la caduta di un albero sulla linea ad alta tensione che proviene dalla Svizzera con la conseguente interruzione brusca della fornitura di elettricità. A seguito di questo evento, l'aumento improvviso di richiesta sulla linea che ci collega alla Francia ha messo in crisi il sistema di controllo francese che ha dovuto interrompere la sua fornitura. Ciò ha indotto il sistema di controllo automatico della nostra rete a provvedere con una serie di interventi di sgancio per la protezione dei generatori in funzione in Italia a partire dalla centrale piemontese di Rondissone. In tal modo in tutta l'Italia del Nord è venuta a mancare l'energia elettrica.

L'analisi tecnica della situazione in cui si è venuta a trovare la rete nazionale nel momento del verificarsi dell'evento ci permette di imparare un'importante lezione. Alle 3.20 del 28 settembre 2003, la potenza presente in rete era costituita da 21000 MW circa con cui veniva fronteggiata la richiesta del carico. Di questa potenza, 3000 MW provenivano dalla Francia e 2000 MW dalla Svizzera, mentre la potenza generata in Italia ammontava a 16000 MW circa. Quindi, secondo lo studio dell'ENEL sopra citato, la capacità di reazione avrebbe permesso di assorbire bene variazioni di potenza fino a 1600÷2400 MW. La mancanza improvvisa in successione rapida dei 5000 MW provenienti da Svizzera e Francia ha significato una variazione brusca negativa d'ampiezza pari a circa il 31% della potenza totale dei generatori attivi in rete. Pertanto sono stati superati abbondantemente i limiti di sicurezza e ciò ha causato l'evento di *black out*.

Gli impianti eolici e fotovoltaici connessi alla rete immettono in essa potenza variabile in modo casuale nel tempo. Quando le fluttuazioni della potenza assumono un'ampiezza confrontabile con il limite di sicurezza, la capacità di reazione degli altri generatori presenti in rete diviene insufficiente a compensare le oscillazioni del livello di potenza e la situazione si avvicina pericolosamente a quella descritta del *black out*. Tuttavia, a causa della diffusione territoriale degli impianti delle fonti rinnovabili, si deve considerare il fatto che è molto improbabile

l'evento di una variazione brusca contemporanea in tutti gli allacci. Ciò permette di affrontare il discorso con un certo margine rispetto al limite stimato dall'ENEL. In conclusione, si può valutare più ottimisticamente che la configurazione del parco di generatori termoelettrici presenti nella rete italiana permetta di collegare impianti a potenza intermittente per un massimo pari a circa il (20 –25)% della potenza rotativa attiva in rete. Senza far riferimento al caso peggiore, che si può verificare, come è già avvenuto, di notte quando la potenza rotativa è al minimo, tale potenza ammonta di giorno nella rete italiana a circa 50000 MW. Ciò corrisponde nel nostro caso ottimisticamente alla connessione massima di circa (10000÷12500) MW di potenza intermittente (eolico più fotovoltaico). La produzione netta annuale corrispondente a tale limite ammonterebbe quindi a circa (15÷18) TWh (nei siti tipici italiani da 1500 kWh/kW), cioè a (3÷4) Mtep.

La conseguenza di questa limitazione è che, a fronte del grande potenziale delle fonti (si ricorda che per il solo fotovoltaico si possono avere più di 144 Mtep), l'intermittenza della generazione riduce il contributo ad un massimo praticabile di soli (3÷4) Mtep, oltretutto da ripartire tra eolico e fotovoltaico. Di questo fatto si dovrà tenere conto nelle analisi successive.

## 7 – Analisi del potenziale accessibile e praticabile delle diverse fonti

Per alcune fonti rinnovabili, come l'idroelettrico ed il geotermoelettrico, lo sfruttamento del potenziale è in corso da molti anni, mentre per le nuove fonti rinnovabili (solare termico, eolico, fotovoltaico, biomasse = NFER) la produzione d'energia in quantità significativa è praticata in modo sistematico da una decina d'anni a seguito del Protocollo di Kyoto (dicembre 1997).

Nell'ultimo periodo si è acquisita a livello della UE una maggiore consapevolezza dell'aggravarsi della crisi climatica e pertanto si è intensificata l'azione di stimolo per incrementare la produzione di energia rinnovabile nei Paesi dell'Unione, cercando di andare oltre gli obiettivi previsti per il 2012 dal Protocollo. Le direttive emanate a riguardo hanno prodotto anche in Italia una serie di norme tendenti a incrementare la produzione attraverso meccanismi d'incentivazione pubblica. Ciò ha dato luogo a un consistente aumento del mercato

che registra tassi di crescita positivi per tutte le fonti. Questo fatto ha cambiato la configurazione dello scenario inerziale precedente del *Business As Usual (BAU)* con uno nuovo, in cui giocano un ruolo rilevante le incentivazioni pubbliche. Considerato che le costrizioni ambientali continueranno a rivestire sempre più importanza, dobbiamo ritenere che il regime incentivante sarà mantenuto ancora per molti anni. Pertanto assumeremo nel seguito come scenario di riferimento quello attuale BAU integrato dalle incentivazioni pubbliche, modulate nel tempo in modo da seguire l'andamento delle curve di apprendimento economico delle varie tecnologie.

### *a) Il quadro generale*

Vista l'importanza che riveste il settore dell'energia elettrica, poniamo subito la nostra attenzione sulla produzione d'elettricità. La Fig. 8 mostra la situazione storica dei diversi contributi al bilancio elettrico nazionale. Si può notare l'andamento generale fortemente crescente della produzione di elettricità fino al 2005 e la stasi degli ultimi due anni. Il contributo dei combustibili fossili invece ha continuato ad aumentare senza flessioni, avendo dovuto compensare la riduzione pro-

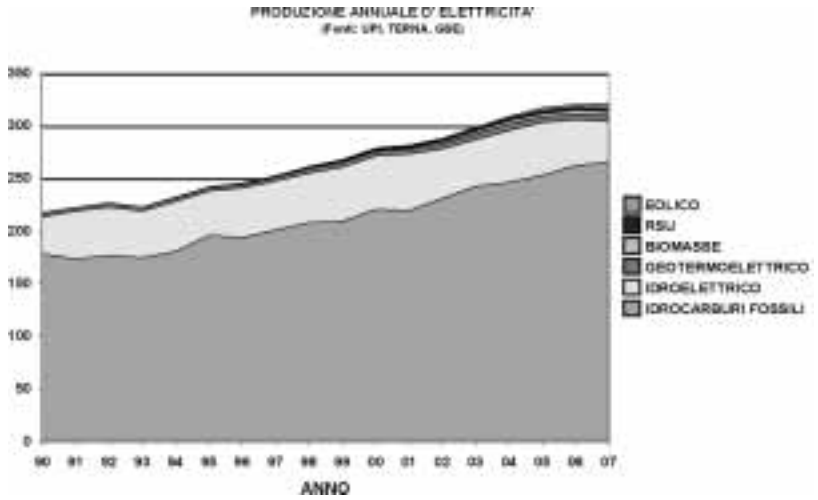



Fig. 8 – La produzione lorda di elettricità in Italia dal 1990 al 2007

gressiva dell'idroelettrico, dovuta alla diminuzione della piovosità annuale negli anni recenti, come il grafico mette in evidenza. Tale riduzione è stata in parte compensata dalla crescita delle altre rinnovabili, il cui contributo inizia oggi a divenire apprezzabile.

Risulta pertanto evidente che le emissioni annuali di $CO_2$, dovute ai combustibili fossili bruciati nel settore elettrico, hanno continuato a crescere, nonostante la compensazione prodotta dalla crescita delle NFER. L'aumento delle emissioni del settore elettrico ha contribuito a rendere inadempiente l'Italia verso gli obblighi di Kyoto.

In ogni caso, lo sforzo compiuto per rispettare il Protocollo ha prodotto una significativa crescita delle NFER, come è messo in evidenza nella Fig. 9.

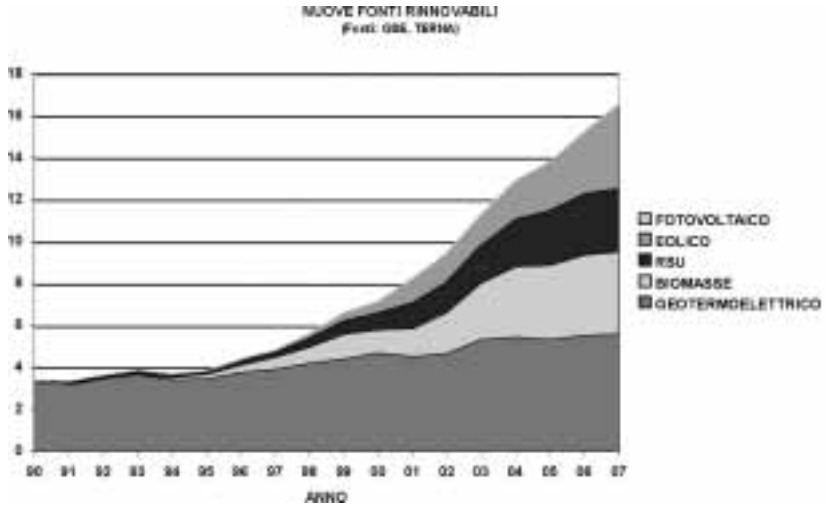



Fig. 9 – Il contributo delle NFER alla produzione elettrica annuale.

Si nota una crescita generalizzata di tutti i contributi con un tasso annuale positivo per tutte le fonti negli ultimi anni. In particolare si evidenzia la crescita impetuosa dell'eolico il cui contributo ha registrato un tasso 2007/2006 pari a circa il 36%. L'effetto delle incentivazioni pubbliche conseguenti al recepimento delle direttive europee degli anni '90 sulla quota minima obbligatoria del 2% da fonti rinnovabili

(obblighi per il Protocollo di Kyoto) si evidenzia chiaramente con l'impennata della produzione elettrica nel 2001, mentre gli effetti dei successivi aggiustamenti normativi per le singole fonti stanno producendo l'ulteriore aumento di tutti i contributi. Si tratta ora di vedere se tutto ciò è sufficiente a soddisfare i nuovi obblighi per il 2020 del Pacchetto 20-20-20.

### *b) Idroelettrico*

Nel proiettare la situazione presente, appare evidente che si dovrà contare su un contributo sempre minore dell'idroelettrico, perché esso appare oggi in crisi produttiva per la riduzione della piovosità media. Si consideri, ad esempio, che la produzione è scesa da 54 TWh del 2001 a 38 TWh del 2007, mentre la capacità totale degli impianti si è mantenuta all'incirca costante su un valore di 17,4 GW. Considerando ancora possibile una crescita marginale del numero dei piccoli impianti ad acqua fluente, faremo l'ipotesi che tale aumento possa compensare l'ulteriore calo generale, riuscendo a mantenere pressappoco costante il contributo attuale di 38 TWh, corrispondente a 8,4 Mtep. Riassumendo:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 17,4 GW | 54 TWh | 11,9 Mtep |
| Potenziale praticabile: | 17,4 » | 38,5 » | 8,5 » |
| Previsione 2020: | 17,5 » | 38,5 » | 8,5 » |
| Situazione 2007 | 17,4 » | 38,5 » | 8,5 » |

### *c) Geotermoelettrico*

La produzione elettrica nel 2007 è stata rispettivamente di 5,57 TWh, con un tasso di crescita dell'ultimo anno pari allo 0,7%. La produzione si riferisce alla potenza totale installata di 711 MW su un potenziale teorico sfruttabile di circa 1000 MW (ENEA, 1998). Poiché negli ultimi due anni la potenza totale degli impianti è rimasta fissa su 711 MW, la crescita della produzione ha riguardato soltanto un migliore sfruttamento della capacità (GSE, 2007). Allargando la base temporale agli ultimi 3 anni, si ricava che la capacità è aumentata di 30 MW. Ciò corrisponde a un tasso di crescita medio di circa 1,5%

all'anno. Facendo l'ipotesi che nei prossimi 13 anni la capacità possa svilupparsi con questo valore del tasso, otteniamo una previsione al 2020 di circa 860 MW installati. Visto che il fattore di capacità degli impianti è pari a circa 7800 ore equivalenti, la produzione elettrica al 2020 potrebbe essere pari a 6,7 TWh, cioè 1,5 Mtep. Riassumendo:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 1 GW | 7,8 TWh | 1,7 Mtep |
| Potenziale praticabile: | 1 » | 7,8 » | 1,7 » (limite territoriale) |
| Previsione 2020: | 0,86 » | 6,7 » | 1,5 » |
| Situazione 2007 | 0,71 » | 5,57 » | 1,2 » |

### *d) Eolico*

Il tasso annuale di crescita della produzione elettrica si è mantenuto intorno al 26% negli ultimi anni con un balzo al 36% nel 2007. La potenza totale installata fino al 2008 è stata di 3736 MW con un andamento storico mostrato dalla Fig. 10.

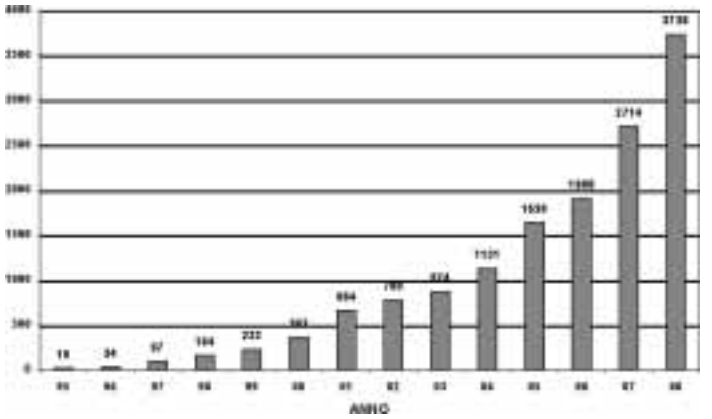



Fig. 10 - La potenza eolica totale installata in Italia (Fonti dei dati: GSE e ANEV)

Come si può vedere, la crescita della potenza è chiaramente esponenziale. Se fosse possibile mantenere questo andamento per alcuni anni, il contributo energetico dell'eolico da solo arriverebbe a conse-

guire l'obiettivo del 17%. Purtroppo, il potenziale eolico italiano è limitato sia dalla disponibilità di siti con adeguate caratteristiche anemometriche, sia dalla natura intermittente del flusso di potenza (come si è evidenziato sopra). Pertanto non è pensabile che il presente tasso di crescita possa essere mantenuto molto a lungo. La stessa ANEV (Associazione Nazionale Energia dal Vento) ha stimato in modo ottimistico che la potenza massima installabile possa arrivare a 16000 MW (ANEV, 2009), valore da considerare come potenziale accessibile. Pertanto, poiché l'attuale fattore di capacità medio del parco eolico nazionale si aggira intorno a 1500 ore annuali equivalenti, la produzione massima annuale d'elettricità potrà arrivare a circa 24 TWh, cioè a 5,3 Mtep.

Considerando la presenza del limite di accettazione degli impianti in rete (12500 MW) e tenendo conto che tale limite è comune anche al fotovoltaico, possiamo supporre che circa 10000 MW siano disponibili per l'eolico e 2500 per il fotovoltaico, che oggi si trova molto indietro in fatto di potenza installata. Avremo:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 16 GW | 24 TWh | 5,3 Mtep (limite territoriale) |
| Potenziale praticabile: | 10 » | 15 » | 3,3 » (limite tecnico dell'intermittenza) |
| Previsione 2020: | 10 » | 15 » | 3,3 » |
| Situazione 2007 | 0,27 » | 4 » | 0,89 » |

### *e) Fotovoltaico*

Grazie alle incentivazioni del Conto Energia, la potenza fotovoltaica installata sta aumentando in modo considerevole. La Fig. 11 mostra in dettaglio la crescita della potenza nel tempo.

Anche in questo caso la crescita è esponenziale, ma, al contrario dell'eolico, qui il limite alla disponibilità di siti è quasi inesistente, avendo a disposizione i 20000 km$^2$ dei terreni aridi e abbandonati e i 2600 km$^2$ delle coperture degli edifici industriali e commerciali. Considerando il fatto che sugli stessi siti insiste anche la tecnologia del solare termico, assumiamo come potenziale accessibile al fotovoltaico il 50% dei terreni marginali, cioè 10000 km$^2$, corrispondenti a 833 TWh.

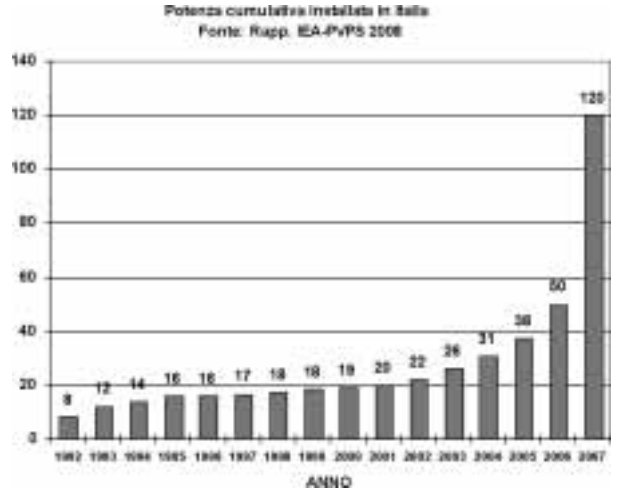



Fig. 11 - Potenza cumulativa degli impianti fotovoltaici in Italia

Anche il fotovoltaico è una fonte intermittente e pertanto esiste per essa il limite tecnico dell'allacciamento in rete degli impianti (da condividere con l'eolico). Lo stato di sviluppo della potenza installata è a un livello ancora lontano da questo limite, tanto che la sua presenza non si avverte. Purtroppo, però, si fa sentire il limite economico dell'alto costo del kWh prodotto. Infatti la tecnologia fotovoltaica è oggi molto lontana dalla competitività, con un differenziale economico negativo più grande di quello delle altre fonti rinnovabili. Di conseguenza, la copertura del deficit con le incentivazioni pubbliche richiede lo sforzo specifico più intenso. Da ciò segue che oggi il limite alla crescita è posto dalla disponibilità di fondi pubblici da destinare al fotovoltaico. Per il momento è stata finanziata la crescita fino a 1200 MW e tali fondi sono già prenotati tutti dalle numerose pratiche in fila d'attesa presso il GSE. Se la crisi economica lo permetterà, forse assisteremo al rinnovo di questa cifra per i prossimi anni, per cui ottimisticamente potremo contare sull'installazione di circa 2400 MW entro il 2020. Considerato un fattore di capacità medio di circa 1300 ore equivalenti all'anno, il contributo energetico del fotovoltaico potrà arrivare a 3,1 TWh, corrispondente a circa 0,69 Mtep. Pertanto si avrà:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 560 GWp | 833 TWh | 71,6 Mtep (limite territoriale) |
| Potenziale praticabile: | 2600 MWp | 3,2 » | 0,7 » (limite intermittenza con eolico) |
| Previsione 2020 | 2400 » | 3,1 » | 0,7 » (limite economico) |
| Situazione al 2007 | 120 » | 0,04 » | 0,01 » |

### *f) Solare termico*

Dal Bilancio Energetico Nazionale del 2007 si trae che il consumo di energia primaria nel settore civile per il riscaldamento domestico e per l'acqua calda è stato di circa 29,6 Mtep. Anche se in linea di principio esiste la possibilità di produrre tutta questa energia con i collettori solari, il fatto di non poter accumulare il calore per lungo tempo riduce questa possibilità a circa il 25%. Quindi il contributo praticamente ottenibile dal solare termico potrebbe arrivare a circa 7,4 Mtep. In base all'indice territoriale sopra definito, la produzione di questa energia richiederebbe una superficie di 224 $km^2$. A prima vista, l'entità di questa cifra può creare qualche perplessità, ma si può facilmente dimostrare che essa è compatibile con le aree complessive dei tetti delle abitazioni e delle pertinenze degli edifici abitativi. Abbiamo già visto che i terreni aridi e abbandonati ammontano a 20000 $km^2$ su un totale di 22600 $km^2$. Pertanto 2600 $km^2$ sono da attribuire agli edifici industriali e commerciali. Supponendo che soltanto il 30% di quest'area abbia un'esposizione adatta per il montaggio dei collettori solari, avremmo a disposizione circa 780 $km^2$ per il solare termico. Considerando un indice d'ombreggiamento pari a 2,5, potremmo collocare su tale superficie circa 310 $km^2$ di collettori solari per una potenza termica di picco pari a 220 $GW_{th}$ (1 $m^2$ = 0,7 kWp). La produzione annuale di energia termica da questa superficie di collettori ammonta a 186 $TWh_{th}$, avendo considerato un'insolazione media di 1500 $kWh/m^2$ e una resa energetica media annuale pari al 40%. Pertanto questi valori possono essere assunti come potenziale accessibile per la tecnologia del solare termico.

Anche per i collettori solari esistono incentivazioni pubbliche che stanno producendo un notevole incremento nelle installazioni degli impianti. La situazione è riassunta dal grafico di Fig. 12 che mostra l'andamento nel tempo della potenza termica totale installata in Italia (ESTIF, 2008). Si può notare come la potenza cumulata nel 2007 abbia raggiunto il valore di 700 $MW_{th}$ di picco ed il tasso di crescita del 2007 sul 2006 sia pari a circa il 30%. A tale capacità installata corrisponde circa 1 milione di $m^2$ di collettori solari, che producono annualmente 0,6 $TWh_{th}$.

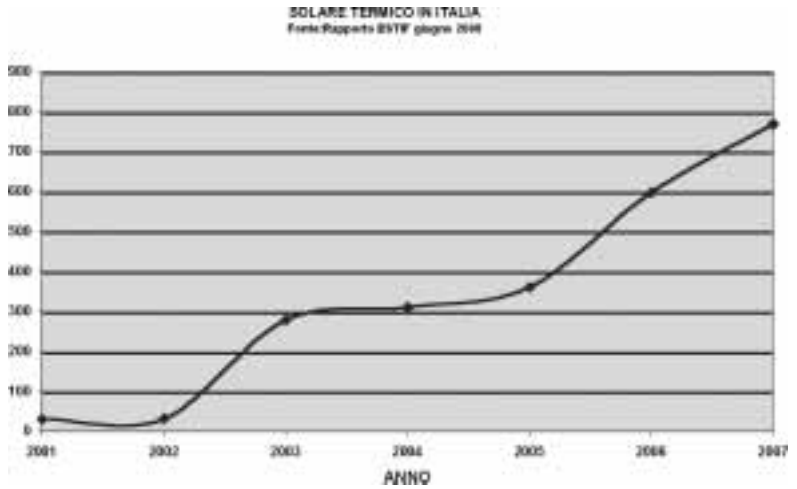



Fig. 12 – Andamento della capacità di potenza totale installata in Italia (Fonte dei dati: European Solar Thermal Industry Federation, Report 2008)

Supponendo ottimisticamente di poter mantenere il valore del tasso di crescita costante per i prossimi anni fino al 2020, la capacità totale installata si porterebbe a circa 21000 $MW_{th}$, corrispondenti ad un'area totale dei collettori pari a 30 milioni di $m^2$. Ciò porterebbe alla raccolta annuale di una quantità d'energia termica pari a 18 $TWh_{th}$, equivalenti a circa 1,5 Mtep (Fattore di conversione: 1 $TWh_{th}$ = 0,086 Mtep). Quindi:

| | | |
|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 186 $TWh_{th}$ | 16 Mtep |
| Potenziale praticabile: | 86 » | 7,4 » |
| Previsione 2020: | 18 » | 1,5 » |
| Situazione 2007 | 0,6 » | 0,05 » |

### *g) Biomasse per l'elettricità*

La produzione elettrica del 2007 è stata rispettivamente di 3,93 TWh. L'andamento della serie storica mostra un comportamento di crescita regolare con tasso del 2007 sul 2006 pari a 2,6%. Assumendo che non si presentino entro il 2020 limitazioni circa il potenziale praticabile, cioè limitazioni territoriali per i bacini di raccolta delle biomasse con esaurimento della risorsa, possiamo estrapolare la produzione attuale considerando costante il presente tasso di crescita. Otteniamo per il 2020 una proiezione di 5,5 TWh, equivalenti a circa 1,2 Mtep (Fattore di conversione: 1 $TWh_e$ = 0,22 Mtep).

Per quanto riguarda il potenziale accessibile possiamo far riferimento al Rapporto Annuale 2003 dell'ITABIA (Associazione Italiana per le Biomasse) (ITABIA, 2003), dove sono riportati i risultati della studio fatto per il Ministero dell'Ambiente con l'inventario nazionale delle risorse così ripartito:

| | | |
|---|---|---|
| Coltivazioni dedicate | 4 | Mtep |
| Boschi | 4 | » |
| Residui agricoli e agro-industriali | 7 | » |
| Biogas da discariche e zootecnia | 8 | » |
| *Totale risorse* | 23 | Mtep |
| *Disponibilità effettiva per usi energetici (50%)* | 11 | » |

Abbiamo pertanto un potenziale indifferenziato accessibile di 23 Mtep ed uno praticabile per gli usi energetici di 11 Mtep.

La percentuale odierna delle biomasse per usi elettrici sul totale degli usi energetici è di circa il 33%. Ipotizzando che questa quota possa mantenersi invariata, potremo considerare un potenziale praticabile per la produzione elettrica da biomasse di 3,6 Mtep, mentre 7,4

Mtep rimangono disponibili per le applicazioni termiche. Si avrà pertanto:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 10000 MW | 50 TWh | 11 Mtep |
| Potenziale praticabile: | 3200 » | 16 » | 3,6 » |
| Previsione al 2020: | 1040 » | 5,5 » | 1,2 » |
| Situazione 2007 | 743 » | 3,93 » | 0,86 » |

### *h) RSU per l'elettricità*

La produzione odierna di elettricità da rifiuti solidi urbani ammonta a circa 3 TWh all'anno e il presente tasso annuale di crescita è pari al 3,4%. Estrapolando la situazione a tasso costante, si ottiene per il 2020 una produzione elettrica di 4,7 TWh, corrispondenti a circa 1 Mtep di petrolio.

La quota attuale di utilizzo di RSU per la generazione elettrica è pari a circa l'8% del totale dei rifiuti urbani raccolti. Pertanto, oggi, il 92%, corrispondente a un potenziale energetico accessibile di circa 37 TWh, è destinato a discarica. Esiste quindi un ampio margine per la crescita del contributo di elettricità prodotta da RSU, che autorizza a considerare possibile l'incremento della quota attuale fino a portarla almeno al 50% del totale. Questo corrisponde a considerare un potenziale praticabile di circa 19 TWh all'anno, equivalente a circa 4 Mtep di energia primaria.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 7300 MW | 37 TWh | 8 Mtep |
| Potenziale praticabile: | 3800 » | 19 » | 4 » |
| Previsione al 2020: | 930 » | 4,7 » | 1 » |
| Situazione 2007 | 594 » | 3 » | 0,66 » |

### *i) Biocombustibili*

La produzione di biocombustibili in Italia è stata nel 2007 pari a 0,36 Mtep (UPI, 2007). Tutte le stime effettuate circa la disponibilità di terreni adatti alla coltivazione di piante oleaginose concordano su una cifra pari a 0,6-0,8 milioni di ettari. Dato che la produttività specifica è di circa 1 Mtep di biocombustibile per 1 milione di ettari, si ri-

cava che il potenziale accessibile potrà arrivare a circa 0,8 Mtep (Biofuels Italia, 2008). Poiché non esistono ostacoli allo sviluppo fino ad impegnare i terreni disponibili, il potenziale praticabile viene a coincidere con quello accessibile.

| | | |
|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 0,8 | Mtep |
| Potenziale praticabile: | 0,8 | » |
| Previsione al 2020: | 0,8 | » |
| Situazione 2007: | 0,36 | » |

### *l) Altre rinnovabili*

Come si è detto, con "altre rinnovabili" s'intende la produzione di energia termica principalmente da legna da ardere ed in piccola parte da geotermia. Dalle considerazioni finali del precedente punto (g) sulle biomasse, si desume che sono disponibili per gli usi termici circa 7,4 Mtep. Nel 2007 questa voce del bilancio energetico è stata pari a circa 1,75 Mtep, da considerare in crescita per il diffondersi soprattutto delle stufe a pellets. Non essendo disponibili dati circa il tasso di crescita di questo consumo, la proiezione al 2020 sarà fatta attribuendo arbitrariamente un valore di circa 3 Mtep.

| | | |
|---|---|---|
| Potenziale accessibile: | 11 | Mtep |
| Potenziale praticabile: | 7,4 | » |
| Previsione al 2020: | 3 | » |
| Situazione 2007 | 1,75 | » |

La Tab.4 riassume infine tutti i risultati.

Esaminando la tabella, emerge in grande evidenza la discrepanza tra la grandezza del potenziale accessibile e quella del potenziale praticabile per il fotovoltaico. A fronte di una disponibilità di energia sul territorio sicuramente più grande di 70 Mtep, il limite di accettazione degli impianti in connessione alla rete elettrica, vista anche la simultanea presenza delle centrali eoliche, permette uno sfruttamento del potenziale soltanto per circa 1 Mtep. Questo fatto si ripercuote in modo negativo sul bilancio totale.

**Tab.4 – Potenziale energetico FER, situazione al 2007 e proiezione al 2020**

| Fonte | Potenziale accessibile ($TWh_{e,th}$) | Potenziale accessibile (Mtep) | Potenziale praticabile ($TWh_{e,th}$) | Potenziale praticabile (Mtep) | Produzione 2007 (Mtep) | Proiezione 2020 (Mtep) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Idroelettrico** | **54** | **11,9**[(1)] | **38,5** | **8,5**[(1)] | **8,5** | **8,5** |
| **Geotermoelettrico** | **7,8** | **1,7**[(1)] | **7,8** | **1,7**[(1)] | **1,22** | **1,5** |
| **Eolico** | **24** | **5,3**[(1)] | **15** | **3,3**[(1)] | **0,89** | **3,3** |
| **Fotovoltaico** | **833*** | **71,6**[(2)] | **3,2** | **0,7**[(1)] | **0,01** | **0,7** |
| **Solare termico** | **186** | **16,0**[(2)] | **86** | **7,4**[(2)] | **0,05** | **1,5** |
| **Biomasse (elettr.)** | **50** | **11**[(1)] | **16** | **3,6**[(1)] | **0,86** | **1,2** |
| **RSU (elettr.)** | **37** | **8,1**[(1)] | **19** | **4,2**[(1)] | **0,66** | **1,0** |
| **Biocombustibili** | **9,3** | **0,8**[(2)] | **3,6** | **0,8**[(2)] | **0,36** | **0,6** |
| **Altre rinnovabili** | **128** | **11,0**[(2)] | **86** | **7,4**[(2)] | **1,75** | **3,0** |
| **Totale** | **1330** | **137** | **291** | **38** | **14,3** | **21,3** |

[1]Fattore di conversione $1TWh_e = 0,22$ Mtep (equivalenza al petrolio risparmiato dal termoelettrico)
[2]Fattore di conversione 1 $TWh_{th} = 0,086$ Mtep (equivalenza fisica)
(*) Si è considerato effettivamente accessibile il 50% del potenziale relativo ai terreni marginali abbandonati dall'agricoltura.

Tabella 4

In conclusione, l'analisi della situazione delle diverse tecnologie ha messo in evidenza la disponibilità nel nostro Paese di un potenziale accessibile di energia rinnovabile corrispondente a circa 137 Mtep di energia primaria, grandezza confrontabile con il fabbisogno di energia previsto per il 2020. La presenza delle limitazioni tecniche ed economiche riducono tale potenziale ad un valore effettivamente praticabile di soli 38 Mtep contro la produzione del 2007 di 14,3 Mtep. Secondo lo scenario di sviluppo adottato, tale produzione si dovrebbe portare a 21,3 Mtep nel 2020. Dal momento che l'obiettivo comunitario, assegnato all'Italia per quella data, è di 28,4 Mtep, concludiamo che il traguardo sarà mancato per un deficit di circa 7 Mtep.

## 8 – Sviluppo della produzione e del potenziale praticabile

Con riferimento alla Tab.4, notiamo che alcune fonti, come l'idroelettrico, il geotermoelettrico e i biocombustibili, hanno praticamente raggiunto la saturazione del potenziale praticabile, mentre altre, come il solare termico, le biomasse e i rifiuti solidi urbani, hanno ancora davanti un certo margine di sfruttamento del potenziale. Per quest'ultime fonti la tecnologia è matura ed i costi di produzione sono molto vi-

cini alla competitività. Pertanto, se si vuole recuperare la situazione deficitaria rispetto all'obiettivo del Pacchetto 20-20-20, è possibile farlo agendo sulla promozione del mercato con qualche ritocco delle incentivazioni in modo da produrre un aumento del tasso di crescita annuale degli impianti. Il margine di potenziale non è molto grande, ma è senza dubbio sufficiente per compensare nei prossimi 13 anni la mancanza di 7 Mtep.

Diverso è il discorso per eolico e fotovoltaico. Queste fonti sono state raggruppate in un'unica casella nella Tab.4 a causa della loro caratteristica comune di generare potenza intermittente. Osserviamo pure che il potenziale accessibile dell'eolico in Italia è limitato dalla disponibilità di siti ventosi per gli impianti e che tale limite coincide praticamente con il potenziale praticabile, che a sua volta è limitato dall'intermittenza della fonte. Ciò, di fatto, impedisce l'allacciamento in rete degli impianti al di sopra di una certa soglia. Dato il grande tasso di crescita del settore, dobbiamo presumere che lo sfruttamento di tutto il potenziale eolico praticabile possa completarsi entro il 2020. Pertanto, da questa fonte non ci si può attendere un ulteriore contributo rispetto al dato della tabella.

Per il fotovoltaico, invece, il potenziale accessibile è molto grande, mentre il potenziale praticabile è del tutto marginale. Abbiamo visto che la causa di questa drastica riduzione è dovuta principalmente alla scarsità dei fondi messi a disposizione per l'incentivazione e, in secondo luogo, alla intermittenza della fonte. Il risultato finale è che, da un lato, abbiamo a disposizione un giacimento enorme di energia solare e, dall'altro lato, ne riusciamo a sfruttare soltanto una piccolissima parte, che, nelle previsioni per il 2020, non è sufficiente nemmeno per l'obiettivo del 17% assegnato all'Italia. Le attese poste su questa promettente tecnologia, soprattutto in relazione alle esigenze del risanamento ambientale, rischiano di essere completamente deluse.

Pur essendo note da molto tempo le conclusioni precedenti, fino ad ora tutti gli operatori del settore le hanno ignorate, preferendo concentrare la loro attenzione sul mercato dei sistemi attuali, sui miglioramenti tecnologici e sull'abbattimento dei costi degli impianti. Purtroppo anche i decisori pubblici, che avrebbero dovuto guardare agli aspetti strategici, hanno ignorato la presenza dei limiti e si sono impegnati essenzialmente a promuovere il mercato a fronte delle richieste di incen-

tivazione da parte delle diverse *lobbies*. Nessuno ha pensato per tempo a promuovere lo sviluppo di soluzioni atte a superare i limiti. D'altra parte la crescita delle fonti rinnovabili non ha ancora incontrato il limite tecnico sopra descritto, perché il volume totale degli impianti installati si è mantenuto sotto al livello di guardia. Oggi però la situazione è mutata. Il recente sviluppo delle vendite di sistemi eolici e fotovoltaici ha subìto di recente una grande accelerazione di tipo esponenziale, per cui, ad esempio l'eolico, sta avvicinando rapidamente il limite di accettazione della rete. Quindi, a parte i problemi di esaurimento dei siti di adeguata ventosità, che pure, come si è visto, hanno introdotto un altro limite di carattere territoriale, la potenza cumulativa installata sta avvicinando pericolosamente il limite tecnico di accettazione della rete. Ciò ha come conseguenza che presto anche l'impetuosa crescita del fotovoltaico potrebbe essere frenata dalla saturazione eolica dello spazio ancora disponibile per l'allacciamento in rete.

Risulta ormai evidente come occorra modificare il modello di sviluppo dei sistemi delle fonti rinnovabili elettriche, se si vorrà seriamente approfittare in modo consistente del loro possibile contributo.

La Fig. 13 mostra lo schema del sistema da adottare per gli impianti in modo da eliminare in parte o del tutto gli effetti dell'intermittenza della fonte.

Fig. 13 – Sistemi con accumulo per superare l'intermittenza delle FER

L'aggiunta di un sottosistema di accumulo dell'energia elettrica permette di assicurare una maggiore stabilità della fornitura di potenza alla rete così da attenuare gli effetti indesiderati dell'intermittenza. Ad esempio, si stima che la possibilità di accumulare l'energia elettrica

per un periodo di 24 ore permetterebbe l'incremento del limite di accettazione della rete fino a circa il 40% rispetto alla potenza attiva presente. Ciò significa che potrebbero essere allacciati senza problemi di stabilità impianti per 20000 MW con una produzione annuale di 34 TWh, risparmiando cioè 7.4 Mtep di petrolio all'anno.

La possibilità di realizzare periodi di accumulo settimanale, o anche stagionale, permetterebbe infine di sfruttare completamente l'intero potenziale rinnovabile, portando il contributo di queste fonti nell'ordine di 100 Mtep all'anno

Allora sorgono spontanee due domande:

Questa soluzione è praticabile sul piano tecnico?

Quanto costa?

La risposta alla prima domanda è positiva: esistono oggi tecnologie collaudate che permetterebbero l'accumulo dell'energia rinnovabile per periodi di tempo considerevoli (accumulo elettrochimico nelle nuove batterie ad alta capacità, accumulo termico in sali fusi, conversione in idrogeno). Si tratterebbe soltanto di effettuare uno sforzo promozionale per portare a sviluppo industriale le diverse soluzioni.

Per quanto riguarda la questione del costo, quello che si può dire è che l'aggiunta del sistema d'accumulo introduce un aggravio del costo d'impianto, stimabile in un 30-40%. Quindi si ha una maggiorazione del costo di produzione del kWh, ma nel contempo la rimozione della discontinuità nell'erogazione di potenza fa aumentare notevolmente il valore economico dell'energia attraverso la programmabilità del suo dispacciamento. Avviene, cioè, che l'aumento del valore economico produce una compensazione parziale del costo aggiunto dall'accumulo, per cui si ritiene che lo sviluppo su larga scala di tali sistemi e il conseguente abbattimento dei costi potrebbero portare in poco tempo alla competitività.

D'altra parte, se si deve effettivamente sfruttare il grande potenziale energetico delle fonti elettriche solari per rispondere alla sfida energetica ambientale, non c'è altra strada percorribile.

## 9 – Conclusioni riassuntive

Il potenziale energetico delle fonti rinnovabili è sovrabbondante rispetto al fabbisogno nazionale d'energia.

L'intermittenza casuale delle fonti introduce barriere tecniche ed economiche che impediscono di produrre quantità di energia elettrica in misura significativa.

L'attuale modello applicativo (sistemi senza accumulo in connessione diretta alla rete elettrica) permette la sostituzione marginale dei combustibili fossili (non riesce nemmeno a rispettare gli impegni verso l'UE).

Occorre intervenire da subito con azioni di R&S sul sistema dell'offerta migliorando le tecnologie in modo da superare le barriere tecniche ed economiche.

Occorre completare i sistemi di produzione con sistemi di accumulo dell'energia a basso costo in modo da garantire la continuità temporale dell'erogazione di energia alle utenze.

Senza questi interventi, le incentivazioni pubbliche attuali poste sullo sviluppo del mercato rischiano di produrre risultati poco efficaci rispetto all'obiettivo del Pacchetto e, soprattutto, alle necessità di sostituzione dei combustibili fossili in vista del risanamento ambientale.

## BIBLIOGRAFIA

ANEV, 2009, *Record per l'eolico: ANEV-APER-ENEA-GSE forniscono i dati del 2008,* Comunicato stampa del 12/1/2009

Biofuels Italia, 2008, *Piattaforma Tecnologica Italiana Biocarburanti per lo Sviluppo del Settore, Position Paper*

ENEA, Ministero dell'Industria, Ministero dell'Università e Ricerca, 1998, *Fonti Rinnovabili di Energia: Libro Verde Nazionale,* Roma 15/7/1998

ESTIF, 2008, *Solar Thermal Markets in Europe 2007*, Report ESTIF Giugno 2008

GSE, 2007, *Statistiche sulle fonti rinnovabili,* www.gse.it

IEA, 2008, *Key World Energy Statistics,* Report 2008

ITABIA, 2003, *Le biomasse per l'energia e l'ambiente,* Rapporto annuale 2003, www.itabia.it

UPI, 2009, Data Book

## APPENDICE – Condizioni per i calcoli della Tab.2

### 1 – Eolico

Aerogeneratori da 1 MW;
Siti con velocità media del vento misurata a 10 m dal suolo pari a (5 ÷6.5) m/s;
Produttività corrispondente delle macchine (1800 ÷ 2800) MWh/MW;
Disposizione sul terreno delle macchine in reticolo quadrato con passo pari a 7 diametri del rotore;
Efficienza degli aerogeneratori pari al 29%;
Resa energetica territoriale (20.7 ÷ 48.4) ktep/km$^2$ all'anno;
Fattore di conversione elettricità (1 kWh = 2200 kcal = 0.22 kep).

### 2 – Solare termico

Collettori solari piani disposti in pannelli fissi esposti a sud ed inclinati secondo la latitudine locale;
Siti con insolazione globale media annuale pari a 1200 kWh/m$^2$ (Nord Italia) e 1950 kWh/m$^2$ (Sicilia);
Efficienza di conversione dei collettori pari a 40%;
Producibilità energetica annuale a livello d'impianto pari a (324 ÷ 526) $GWh_{th}$/km$^2$;
Fattore d'occupazione del suolo per evitare l'ombreggiamento reciproco pari a 2.5;
Resa energetica territoriale (241 ÷ 389) $GWh_{th}$/km$^2$ all'anno;
Risparmio annuale equivalente a petrolio (24.2 ÷ 39.4) ktep/km$^2$.

### 3 – Fotovoltaico

Moduli solari piani disposti in pannelli fissi esposti a sud ed inclinati secondo la latitudine locale;
Siti con insolazione globale media annuale pari a 1650 kWh/m$^2$ (Centro Italia) e 1800 kWh/m$^2$ (Sud);

Efficienza di conversione dei moduli pari al 19% (es. moduli SPR 315E Sun Power Corporation);
Efficienza di conversione netta a livello d'impianto pari al 15%;
Producibilità elettrica annuale a livello d'impianto pari a (247 ÷ 270) GWh/km$^2$;
Fattore d'occupazione del suolo per evitare l'ombreggiamento reciproco pari a 2.5;
Resa elettrica territoriale (99 ÷ 107) GWh/km$^2$ all'anno;
Risparmio annuale equivalente a petrolio (22 ÷ 23) ktep/km$^2$.

**4 – Solare termodinamico: tecnologia specchi paraboloidi lineari (DCS)**

Specchi cilindrici a sezione parabolica esposti a sud con inseguimento del sole sull'asse verticale;
Siti con componente diretta dell'insolazione annuale pari a 1500 kWh/m$^2$ (Sud Italia) e 1800 kWh/m$^2$ (Sicilia);
Efficienza di conversione elettrica a livello d'impianto pari a 16%;
Producibilità elettrica annuale a livello d'impianto pari a (216 ÷ 259) GWh/km$^2$;
Fattore d'occupazione del suolo per evitare l'ombreggiamento reciproco pari a 3.0;
Resa elettrica territoriale (72 ÷ 86) GWh/km$^2$ all'anno;
Risparmio annuale equivalente a petrolio (16 ÷ 19) ktep/km$^2$.

***5* – Biomasse per usi termici**

Piantagioni di colture legnose a rapida crescita (es. pioppo, eucalipto, robinia, salice, ecc.)
Produttività annuale in termini di sostanza secca pari a (18 ÷ 48) t/ha;
Fattore di conversione: 1 t sostanza secca = 16.744 GJ (1 kg = 4000 kcal);
Produttività energetica annuale netta (detratta spesa colturale di 10 GJ/ha) pari a (300 ÷ 800) t/ha;
Equivalente in petrolio (1 tep = 41.868 GJ) pari a (0.7 ÷ 1.9) ktep/km$^2$.

**6) Biomasse per usi elettrici**

Piantagioni di colture legnose a rapida crescita (es. pioppo, eucalipto, robinia, salice, ecc.)
Produttività annuale in termini di sostanza secca pari a (18 ÷ 48) t/ha;
Fattore di conversione: 1 t sostanza secca = 16.744 GJ (1 kg = 4000 kcal);
Produttività energetica annuale netta (detratta spesa colturale di 10 GJ/ha) pari a (300 ÷ 800) GJ/ha;
Efficienza di conversione termoelettrica delle centrali: 35%;
Produttività elettrica annuale: (105 ÷ 280) GJ/ha = (29.2 ÷ 77.8) MWh/ha = (2.9 ÷ 7.8) GWh/km$^2$;
Fattore di conversione per il risparmio di olio delle centrali convenzionali: 1 kWh = 2200 kcal;
Risparmio equivalente in petrolio (1 GWh = 0.22 ktep) pari a (0.64 ÷ 1.7) ktep/km$^2$.

**7) Biomasse per biocombustibili (MTBE)**

Colture di piante da semi oleaginosi;
Produttività annuale del terreno in termini di granella secca pari a (9.5 ÷ 10.5) t/ha;
Resa di estrazione olio grezzo pari a 0.45;
Resa del processo di esterificazione pari a 0.45;
Produttività in termini di biocombustibile pari a (1.9 ÷ 2.1) t/ha;
Potere calorifico inferiore pari a 37.5 MJ/kg;
Densità energia lorda pari a (70 ÷ 79) GJ/ha;
Spesa energetica nelle coltivazioni: 22 GJ/ha;
Densità energia netta: (48 ÷ 57) GJ/ha ≅ (5 ÷ 6) TJ/km$^2$;
Fattore di conversione: 1ktep = 41.868 TJ;
Densità energia equivalente al petrolio: (0.12 ÷ 0.14) ktep/km$^2$.

# IL NUCLEARE PUÒ RISOLVERE DEFINITIVAMENTE I PROBLEMI. RIPROVIAMOCI

Cesare MARCHETTI
*IIASA –Laxenburg*

I problemi trattati in questo convegno sono sul tavolo da molti anni, per essere precisi già il Club di Roma ne parlava con previsioni tendenzialmente fosche. Essendo amico di Peccei e di Umberto Colombo inevitabilmente ogni volta che li incontravo venivano fuori disastri incombenti ed aldilà di ragionevoli interventi umani. Fondamentalmente l'energia era quasi finita, l'inquinamento inarrestabile e la crescita delle popolazioni umane sregolata. Essendo di natura e professione un problem solver, ad ogni discussione finemondista contrapponevo una soluzione semplice nel senso che era basata su tecnologie più o meno esistenti a livello laboratorio anche se ovviamente da sviluppare a livello industriale. Il Peccei torceva il naso ma il Colombo mi chiese di fare un articolo con tutte le soluzioni. L'articolo è scaricabile dal mio website

www.cesaremarchetti.org/ ed è:

Marchetti, C., 1979
Ten to the twelfth: A Check on the Earth-Carrying Capacity for Man, Energy, 4 :1107—1117

**Abstract**

Much has been said about the carrying capacity of the planet Earth, and with most contradictory results, as the arguments have too often been used in the service of prejudices. In this essay we have made a static cross-section of a world very heavily populated by present

standards; examined with a system view the level of basic necessities plus luxuries for this population; and indicated the technology to satisfy them. Where problems of a global level appeared, a geo-engineering solution has been sketched. The result of this analysis is that from a technological point of view a trillion people can live beautifully on the Earth, for an unlimited time, without exhausting any primary resource and without overloading the environment. The global view of the problems and of their solutions makes the difference, and shows that most of the physical limits to growth stem from an inappropriate frame of reference.

La popolazione di mille miliardi è ovviamente una maniera di dire che non c'è limite e tutto si puo fare senza esaurire nulla e senza inquinare, tecnologie relativamente semplici permettono di risolvere via via i problemi. Incidentalmente il profeta dei limits to growth Dennis Meadows è stato un paio di anni nell'ufficio vicino al mio alla IIASA e lo abbiamo messo in difficoltà. In particolare un collega esperto di modellistica, Claude Carpentier fece girare il modello di Meadows, però partendo cento anni prima e mostrando che ormai il sistema era distrutto. Quello che mancava al modello in effetti erano le nuove tecnologie che sono poi quelle che ci salvano come dimostrato nel mio paper.

Per quello che riguarda l'approvvigionamento di energia già negli anni sessanta avevo lanciato ad ISPRA l'idea dell'Economia dell'Idrogeno che allora attecchì poco anche se se ne parlò molto, ma ora sta ripartendo dopo i 50 anni canonici dei cicli di Kondratiev. Nucleare ed idrogeno fu il megamodello che feci per i giapponesi nel 1973 e vendetti loro in un tour di conferenze in Giappone.

Marchetti, C., 1973
Hydrogen and Energy,
Chemical Economy & Engineering Review, 5(1):7—15, January

In sostanza si propone di mettere in un atollo una serie di reattori giganteschi montati su zattere e connessi con impianti termochimici per decomporre l'acqua e produrre l'idrogeno che viene poi esportato come LH2 su cryotankers analoghi a quelli che trasportano metano li-

quido. Il reprocessing del combustibile di questi reattori a sfere di grafite viene fatto sul luogo ed i prodotti di fissione spediti verso il centro della terra con capsule che affondano nella roccia grazie al calore di decadimento dei prodotti di fissione. Il processo è stato sperimentato nel mio laboratorio ad ISPRA usando materiali geologici naturali sotto forma di immensi blocchi di salgemma portati su dalla Sicilia. Funziona.

Ultimo tocco, facendo due conti vidi che l'uranio contenuto nell'acqua di mare usata per il raffreddamento degli impianti conteneva un ordine di grandezza di più di uranio di quanto fissionato nei reattori. Proposi perciò ai giapponesi di studiare l'estrazione dell'uranio dall'acqua di raffreddamento fluente.

Da allora i giapponesi hanno lavorato su questi problemi con motori a spinta ionica per quaranta anni, ed hanno le soluzioni tecniche, tre processi per l'estrazione dell'uranio dall'acqua di mare fluente, due processi per la decomposizione termochimica dell'acqua in idrogeno ed ossigeno ed un reattore ad alta temperatura a combustibile di grafite e raffreddato ad elio. I cinesi hanno un reattore a palle di tipo tedesco e seguono a ruota. Sono ambedue in fase pilota e tra qualche anno potranno partire industrialmente.

Incidentalmente un'isola energetica come descritta nel paper citato sopra può esportare tanta energia quanto tutto il medio oriente. Basterebbe costruirne una dozzina ed il mondo sarebbe a posto, senza inquinare né esaurire, l'uranio nel mare può durare 10.000 anni, poi si vedrà.

Guardando al problema con l'occhio dell'antropologo si può riflettere sul fatto che l'uomo è stato sulla terra per circa 4 milioni di anni durante i quali dal punto di vista climatico è successo assolutamente di tutto come le analisi delle carote dei ghiacciai ed altri indicatori geologici provano e comprovano. Ci si può chiedere come se l'è cavata senza tecnologie o quasi. La risposta è straordinariamente semplice, usando le grotte che sono naturalmente termostatate intorno ai 15 gradi che è una buona temperatura estate ed inverno. Doveva ovviamente fare shopping per nutrire la famiglia e questa operazione prendeva in media un'ora al giorno come mostra l'analisi dei nostri istinti di base del viaggiare che sono così arcaici che non ce ne rendiamo neppure conto. Circa un milione di anni fa l'uomo imparò a gestire il

fuoco, il che non solo arricchì la vita sociale nelle caverne, ma innescò un meccanismo evolutivo che portò ad un raddoppio della massa cerebrale e la nascita dell'uomo moderno.

L'umanità oggi sta implodendo nelle città dove il clima, con il condizionamento d'aria che realizza la grotta dove si voglia, non ha più importanza nella vita di tutti i giorni. Resta l'agricoltura che per quanto riguarda gli ortaggi è ormai in serra la quale può esser vista come una grotta trasparente. Per i grani ormai l'ingegneria genetica li può costruire a prova di qualsiasi ragionevole cambiamento di clima. Ho un paper del 1979 che ne dettaglia l'evoluzione. Le piante d'altronde sono in giro da centinaia di milioni di anni e ne hanno viste di tutti i colori e soprattutto sono sempre sopravvissute.

La formula vincente secondo me non è quella di cercare di stabilizzare il clima ma di adattarvisi. I papers citati ne tracciano una roadmap.

# I COSTI DELL'UNILATERALISMO EUROPEO

Carlo STAGNARO
*Istituto Bruno Leoni*

Confesso che il titolo della mia relazione è fuorviante per due ragioni. La prima è che, come ci è stato ricordato ieri da altri relatori, molto spesso ci sono delle cose difficilmente conoscibili o addirittura non conoscibili: cercare di stimare le conseguenze a lungo termine di una politica è uno sforzo piuttosto eroico per cui è sempre più ragionevole e più cauto mantenersi su valutazioni qualitative che pure sono utili ed interessanti.

La seconda e più importante ragione è che io credo che i costi economici della scelta europea di ridurre le proprie emissioni a prescindere da quello che farà il resto del mondo e a prescindere dall'effetto che queste politiche avranno, sono secondo me relativamente meno importanti rispetto ai costi non economici, cioè ai costi in termini di incentivi che vengono trasmessi al sistema.

La politica europea si riassume in tre obiettivi: riduzione del 20% delle emissioni al di sotto del livello del 1990 entro il 2020, portare la quota di energia coperta dalle fonti rinnovabili al 20% del consumo totale, e infine un terzo obiettivo non vincolante di aumento dell'efficienza del 20 per cento. Ironicamente, riguardo le rinnovabili, per il primo anno di discussione si è parlato di 20% del consumo primario, poi ci si è resi conto che era complicato da misurare e probabilmente troppo costoso e si è passati a parlare di consumo totale. L'aspetto interessante è che nessuno ha mai ammesso che si cambiava la base di riferimento, si è semplicemente fatto un ampio esercizio di bianchetto sui documenti ufficiali.

La prima considerazione che viene da fare su questi tre obiettivi è che ce ne sono almeno due di troppo. Ammesso e non concesso che le emissioni di gas serra siano una causa del riscaldamento globale, am-

messo e non concesso che le conseguenze del riscaldamento globale siano più negative che positive, ammesso e non concesso che il riscaldamento globale possa essere controllato attraverso una azione politica, e infine ammesso e non concesso che la decisione europea di intervenire su questo tema sia necessaria, l'obiettivo rilevante è quello sulla riduzione delle emissioni. La politica dovrebbe puntare a creare condizioni in virtù delle quali si possono ridurre le emissioni nel modo più efficiente ricorrendo a qualunque mezzo compatibile con tale fine. È assolutamente irrilevante, nell'ottica ambientale, che si riducano le emissioni perché si consuma meno, perché si usano le fonti rinnovabili, perché si usa il nucleare, perché si trova qualche altra tecnologia. Invece l'Unione Europea ha deciso di introdurre altri due obiettivi che a mio avviso sono un chiaro indice del fatto che quello ambientale quantomeno non è l'unico obiettivo di queste scelte politiche.

Per chiarire di cosa stiamo parlando ho cercato di confrontare quello che la politica europea ci chiede rispetto alla situazione attuale (che vediamo nella colonna centrale della fig. 1 che riguarda i consumi energetici dell'Europa dei 15 nell'anno 2005) con quella che è la baseline attesa al 2020 (colonna di sinistra) e quello che è invece l'obiettivo della politica europea al 2020 che si trova nella figura a destra.

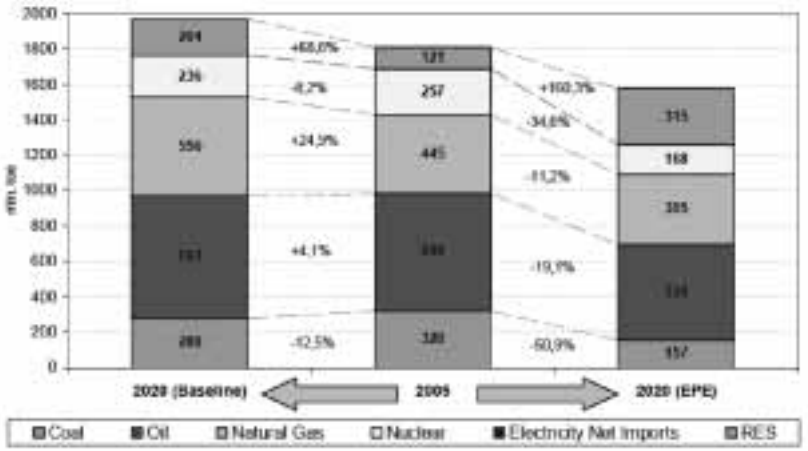



Figura 1

Come si può vedere ci sono enormi differenze non solo perché tutte le previsioni dicono che i consumi energetici aumenteranno mentre gli obiettivi dicono che devono diminuire, ma anche perché la composizione interna dei consumi dovrebbe cambiare in maniera significativa. In particolare dovrebbe aumentare la quota di fonti rinnovabili in larga misura a scapito della quota di energia prodotta con il gas naturale. Il problema di questa scelta, di questa sfida se vogliamo chiamarla con questo termine, sta anzitutto nell'orizzonte temporale in cui si colloca: per le cose di cui stiamo parlando il 2020 è domani, i tempi di ritorno degli investimenti energetici si misurano nell'arco di decenni, quindi dare un obiettivo di cambiamento radicale del panorama da oggi a 10 anni significa dire che decidiamo oggi quello che avremmo dovuto decidere l'altro ieri se avessimo voluto effettivamente ottenere quell'obiettivo. Offrire questi due scenari alternativi significa creare un grosso problema alle imprese perché tutte le imprese (per esempio elettriche o che operano nel settore del gas) che hanno deciso i loro investimenti negli scorsi anni sulla base della colonna di sinistra e che quindi anche con forti esortazioni da parte dell'Europa e dell'Italia hanno investito in rigassificatori, cicli combinati a gas, tutti giocattoli che costano centinaia di milioni o addirittura miliardi di euro, vengono a scoprire all'alba dell'anno 2007 che tutto quello che hanno fatto non serve e che nel 2020 consumeremo meno energia e all'interno di questo consumo consumeremo meno gas. Non ho visto nessun esponente italiano o europeo dire di fermare gli investimenti nei rigassificatori o nei cicli combinati a gas. Questo significa che chiunque debba investire – e badate che il rischio si traduce in un maggior costo del credito e quindi in un maggior costo degli investimenti e quindi in un maggior costo dell'energia prodotta – si trova oggi in una situazione di totale incertezza: lo stesso attore, cioè la Commissione europea e i governi nazionali, dice contemporaneamente di investire perché nel 2020 saremo qui (nella colonna di sinistra) e di non investire perché nel 2020 vorremmo essere là (nella colonna di destra). Evidentemente l'incertezza si aggiunge ad altra incertezza perché non sappiamo quanto andrà avanti la presente recessione, non sappiamo quale sarà la crescita economica nei prossimi anni, e così via. Questo tipo di incertezza uccide gli investimenti, compresi quelli rinnovabili: perché mai io devo investire in una fonte che costa molto di più rispetto ad altre se

non sono del tutto certo che poi i governi saranno in grado di assicurarmi questo scenario?

Possiamo permetterci questa incertezza? Secondo me no e questa è una risposta che vorrei dare in maniera priva di dubbi (fig. 2):

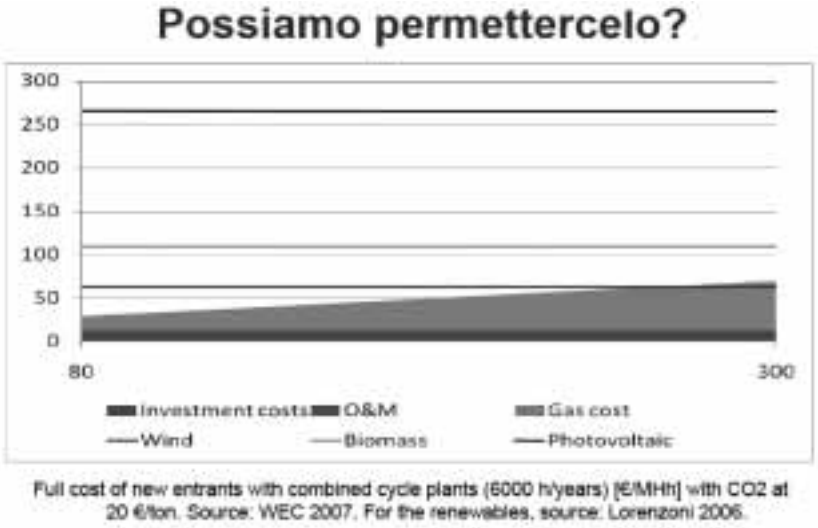



Figura 2

Possiamo permetterci le spese connesse al raggiungimento dello scenario della politica europea, cioè alla riduzione dei consumi? Questa non è una risposta che possa dare l'analista, è una risposta che spetta al politico, ai governi e al pubblico in generale. Ma per dare questa risposta bisogna che il politico (tranne i pochi, come il Presidente Possa, che già lo sanno), il pubblico in generale e così via sappiano cosa comporta questa scelta.

Ho provato a riportare in Fig. 2 le differenze dei costi nella generazione elettrica tra alcune tecnologie in funzione dei prezzi del gas. Come vedete il costo dell'energia elettrica generata da un ciclo combinato a gas che è la banda verde (v. fig. 2) è molto sensibile ai prezzi del gas (questo è un dato rilevante perché si tratta della principale tecnologia utilizzata in Italia). Se avessi incluso l'energia nucleare avrei do-

vuto tracciare una linea più piatta di questa, grossomodo in corrispondenza dei 50 euro al MWh, ma ci troveremmo nello stesso ordine di grandezza. Comunque il costo del kWh a gas, pur essendo molto sensibile al prezzo del combustibile e quindi molto variabile, è in ogni caso assai più in basso rispetto alla maggior parte delle fonti rinnovabili, in particolare al solare fotovoltaico che si trova di un ordine di grandezza più in alto, mentre tra le rinnovabili l'unica che è potenzialmente competitiva è l'eolico. Far sì che queste fonti che hanno una struttura e un livello dei costi così diversa da quelle di cui ci riforniamo attualmente raggiungano il 20% del consumo totale dell'energia in Italia costerebbe, secondo l'Autorità per l'energia, circa 7 miliardi di euro all'anno. Quindi la domanda che occorre girare ai decisori politici è: come troviamo questi 7 miliardi? È vero che l'incentivazione delle fonti rinnovabili non pesa sul bilancio pubblico in quanto viene finanziata dalla tariffa, però vi prego di risparmiarmi questa distinzione prettamente giuridica, poiché l'aggravio tariffario è equivalente a una tassa di scopo. Sfido chiunque a dirmi che da contribuente preferisce pagare un euro di tassa di scopo rispetto a un euro di tassa non di scopo, è comunque un euro che starebbe meglio nelle tasche di chi lo versa. Quindi abbiamo questi 7 miliardi di euro all'anno a cui vanno aggiunti tutti gli altri soldi da spendere: è moralmente accettabile avere o trovare 7 miliardi di euro all'anno per questo? E non trovare le risorse per tutta una serie di altre attività che spettano al governo, dal contrasto ad altre fonti di inquinamento alle conseguenze sanitarie piuttosto che agli ammortizzatori sociali o altre cose? Una volta che abbiamo deciso che abbiamo questi soldi e li dobbiamo spendere ci domandiamo se l'incentivazione delle fonti rinnovabili e obiettivi simili siano l'utilizzo migliore e più efficiente di tali risorse. Tanto più che l'effetto delle politiche europee adottate finora – non sappiamo quale sarà quello per le politiche del futuro – non è stato così clamoroso pur avendo avuto un impatto significativo sui prezzi dell'energia.

Come vedete, la fonte di questo grafico (graf. 1) è dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, grazie alla quale si possono notare essenzialmente due cose: anzitutto che grosso modo non si rileva alcun trend significativo dagli inizi degli anni '90 ad oggi, se voi interpolate trovate una linea dritta. C'è solo una leggera tendenza alla riduzione a partire dal 2003 (anno in cui entra in vigore la Direttiva Europea sul controllo

delle emissioni) rispetto alla quale vale la pena chiedersi se effettivamente questa piccola riduzione sia comunque una conseguenza delle politiche europeo oppure se sia il frutto di altre dinamiche che non riguardano le scelte politiche. La risposta la dà la stessa Agenzia Europea (sintetizzata nella tab. 1 dove ho riportato le principali cause fornite dall'Agenzia Ambientale Europea nei comunicati stampa in cui dava i dati sull'andamento delle emissioni dell'anno precedente). Nel 1999 le emissioni erano diminuite del 4% rispetto al 1990 ed una delle principali cause è stato l'inverno mite in Germania, in Francia e in altri paesi.

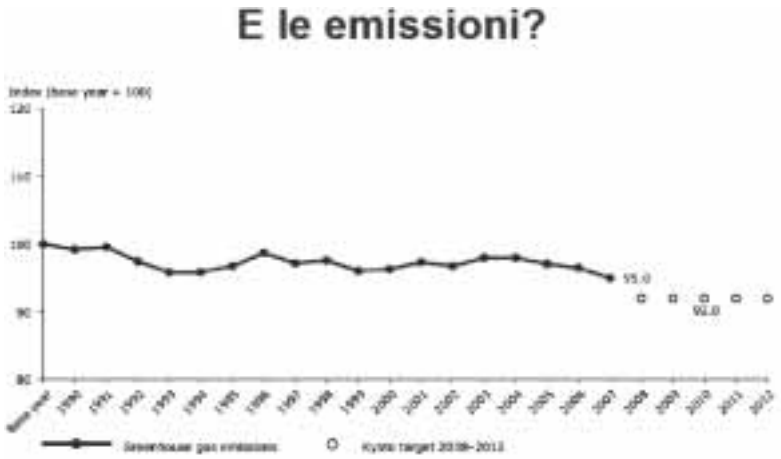



Grafico 1

Nel 2000 le emissioni sono leggermente cresciute senza nessuna causa specifica; nel 2001 sono cresciute ancora a causa di un inverno freddo; nel 2002 sono diminuite a causa di una temperatura mite; nel 2003 sono cresciute a causa di un inverno freddo; nel 2004 sono cresciute perché sono cresciute (!); nel 2005 si sono ridotte a causa delle temperature miti; nel 2006 sono diminuite a causa di un inverno caldo e nel 2007 sono ulteriormente diminuite a causa di un inverno caldo.

Questo mi fa concludere due cose: primo che il principale driver delle emissioni, nel breve termine per lo meno, sono le temperature,

| Year | % Emissions Variation | Main Reasons Supplied |
|---|---|---|
| 1999 | -4 | Measures against $NO_x$ in France and the UK;<br>Measures against HFCs emissions in UK;<br>Shift from coal to gas (Germany and the UK);<br>Mild winter in Germany, UK, France, and the Netherlands. |
| 2000 | +0.3 | Increase in electricity-related emissions;<br>Increase of coal use in UK;<br>Continuous growth of emissions in Greece, Spain, Ireland, Italy, Belgium. |
| 2001 | +1 | Cold winter.<br>Increase in transportation emissions;<br>Greater use of fossil fuels for heating and electricity generation. |
| 2002 | -0.5 | Mild temperatures;<br>Low economic growth;<br>Shift from coal to gas. |
| 2003 | +1.3 | Increase of the carbon share in electrical generation;<br>Cold winter. |
| 2004 | +0.3 | Increase in industrial emissions (iron, steel, refrigeration, air conditioning). |
| 2005 | -0.8 | Reduction in the use of coal;<br>Mild temperatures;<br>Increase of diesel as opposed to gasoline (Germany). |
| 2006 | -0.3 | Warm weather<br>High oil prices |
| 2007 | -1.6 | Warm weather<br>High oil prices |

Tabella 1

quindi il riscaldamento globale è un antidoto a se stesso, più il riscaldamento globale ci riscalda meno noi scaldiamo, quindi… dovremmo incrementare le concentrazioni di gas serra nell'atmosfera per risolvere il problema! Secondo: appena ci si muove alla seconda causa si osserva che essa è essenzialmente la crescita economica. C'è un tasso di correlazione estremamente alto, che riflette evidenza empirica e ragioni teoriche, tra la crescita economica e le emissioni. Il modo più semplice per abbattere le emissioni al netto della temperatura invernale è la riduzione del PIL, come abbiamo imparato quest'anno con la crisi economica. Se voi guardate il rapporto dell'Agenzia Internazionale dell'Energia e quelli che arriveranno dall'Unione Europea probabilmente saremo in grado di raggiungere gli obiettivi del Protocollo di Kyoto a causa della più grande crisi mondiale dal 1929. A questo punto mi viene da dire che se c'è voluta una crisi mondiale per tagliare in Europa le emissioni dell'8%, Dio ci salvi dal 20% di riduzione!

Tutto questo va messo ancora sullo sfondo di un contesto che va oltre l'Europa per almeno due ragioni: la prima è che in Europa ci sono circa 500 milioni di abitanti ma bisogna fare i conti con gli altri 6 miliardi del pianeta. Il grafico (v. graf. 2) riporta le emissioni procapite attribuibili al consumo di combustibili fossili fatto 100 il livello del 1990.

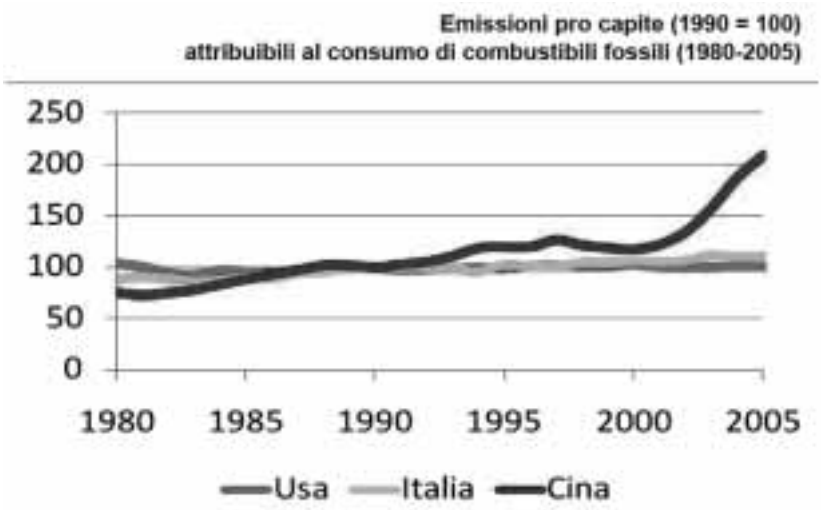



Grafico 2

Come si può vedere il dato sull'Italia e sugli Usa è significativo di una sostanziale stabilità delle emissioni procapite negli ultimi 25 anni, lo stesso vale per l'Europa, mentre la Cina e grossa parte del mondo in via di sviluppo sta accelerando in maniera massiccia le emissioni, quindi se volete intervenire sulle emissioni globali – presunta causa del riscaldamento globale – dovete convincere i cinesi perché la loro priorità è oggi, ovviamente e giustamente, raggiungere un tenore di vita simile a quello che abbiamo noi e non combattere contro il cattivo tempo.

C'è un'altra ragione per cui, a mio avviso, bisogna riflettere criticamente sugli obiettivi che ci siamo dati ed è quella di cui si è discusso in questi due giorni, l'evidenza scientifica è quanto meno complicata,

e non consente di arrivare a risultati ovvi. Ieri Roberto Vacca faceva alcuni esempi di bizzarrie che si possono riscontrare scambiando le correlazioni con le causalità. Vorrei darvene un altro per allarmarvi (v. graf. 3)

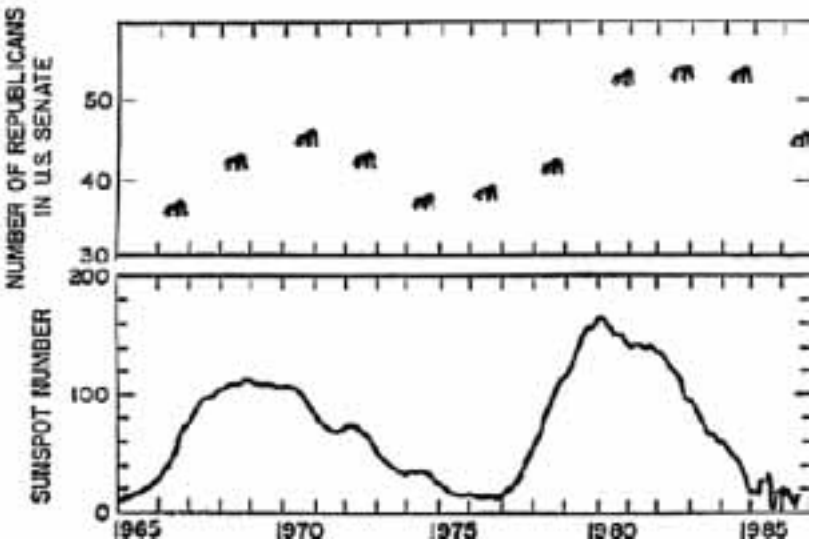



Grafico 3

Nel grafico in basso vediamo il numero di macchie solari che è correlato alle variazioni della temperatura sulla terra ed è stato considerato fino ad oggi una delle cause naturali del riscaldamento globale. Faccio notare che è strettamente correlato al numero di senatori repubblicani eletti al congresso, il che mi porta a dire che anche le cause naturali sono antropiche e che Obama ci salverà dal riscaldamento globale.

Oltre al riscaldamento globale c'è un altro tipo di riscaldamento che può essere invece controllato senza eccessivi costi ed è il "riscaldamento regolatorio". Come vediamo nel graf. 4, la curva esponenziale riporta il numero di norme ambientali che sono state promulgate dall'Unione Europea fino al 2003 (non ho trovato censimenti più re-

centi, ma non dubito che si tenda verso l'alto), e queste regole hanno un impatto non solo in termini puramente economici ma anche in termini di cambiamento degli effetti indesiderati delle strategie ambientali, in termini di riduzione del tenore di vita dei cittadini europei (rispetto alla tendenza inerziale).

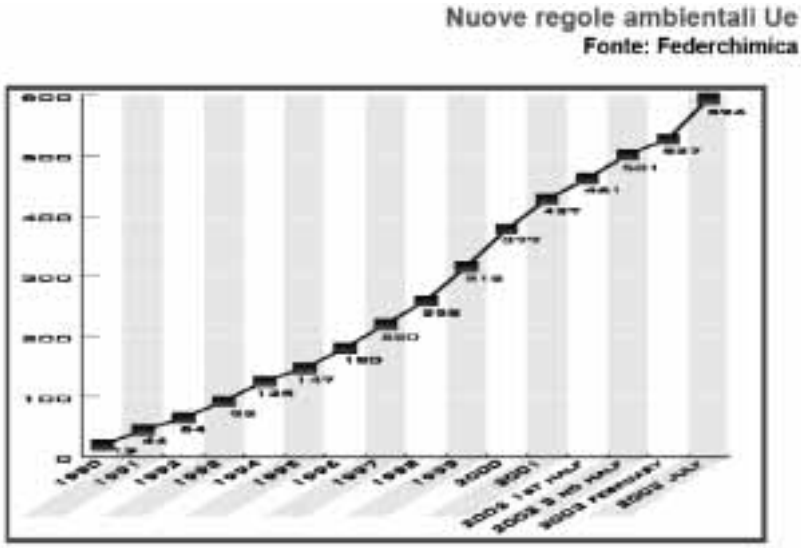



Grafico 4

Soprattutto hanno un effetto davvero drammatico rispetto agli investimenti nel settore energetico-ambientale, come dicevo prima l'incertezza è il peggior nemico degli investimenti, ma come si può investire, ad esempio nel 1994, se nel 1995 entreranno in vigore 30 norme nuove che potrebbero far saltare almeno in parte l'economicità del nostro investimento? Di fronte a questa domanda credo che i decisori politici italiani e soprattutto europei dovrebbero fermarsi a riflettere anche per comprendere che l'incertezza che in questa maniera creano danneggia non solo le imprese e i consumatori ma anche l'evoluzione tecnologica e quindi le prospettive di lungo termine per i risultati ambientali.

Grazie.

# CAMBIAMENTI CLIMATICI E SALUTE

Umberto TIRELLI
*Direttore Oncologia Medica – Istituto Nazionale Tumori di Aviano*

## Introduzione e dati disponibili

Le correlazioni tra i cambiamenti climatici (il riscaldamento globale) e la salute saranno senz'altro tra i problemi più importanti che si presenteranno all'attenzione dei medici, dei ricercatori e degli scienziati oltre che dell'intera opinione pubblica.

In particolare i CDC (Centers for Disease Control and Prevention) di Atlanta, l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) hanno espresso varie opinioni e preoccupazioni al riguardo. Anche se gli effetti sulla salute umana dei cambiamenti climatici rimangono ancora del tutto poco conosciuti e controversi, le organizzazioni internazionali succitate hanno evidenziato che i cambiamenti climatici avranno probabilmente un impatto significativo (negativo) sulla salute rispetto ai seguenti aspetti: gli effetti diretti del calore, gli effetti dovuti ad eventi atmosferici estremi, gli effetti dell'inquinamento, includendo per esempio anche i tumori polmonari e della cute, malattie allergiche, malattie infettive trasmesse dal cibo, dall'acqua e da vettori, la scarsità di acqua e cibo almeno per alcune popolazioni, problemi di salute mentale, l'impatto a lungo termine delle malattie croniche.

Secondo invece la NIPCC (Nongovernamental International Panel on Climate Change), che è un panel internazionale di scienziati non governativi (oltre 30.000 scienziati americani) che, a differenza dei ricercatori che fanno parte dell'IPCC non sono in carriere che si basano su contratti governativi e su grants che provengono dai governi per supportare le loro attività, ma sono del tutto indipendenti:

1. L'IPCC dichiara che "il cambiamento climatico attualmente contribuisce al carico globale di malattia e morti premature" e " incrementerà malnutrizione e malattie conseguenti". Invece, l'evidenza dimostra che temperature più alte e aumento dei livelli di $CO_2$ hanno giocato un ruolo indispensabile nel rendere possibile alimentare un crescente numero di popolazioni nel mondo senza intaccare gli ecosistemi naturali.
2. Il riscaldamento globale riduce l'incidenza di malattie cardiovascolari legate alle basse temperature e al clima invernale in modo molto maggiore di quanto non incrementi l'incidenza di malattie cardiocircolatorie dovute alle alte temperature e alle ondate di calore estive.
3. La mortalità causata delle malattie respiratorie diminuisce con l'aumentare delle temperature così come con il declinare della variabilità delle temperature.
4. Affermazioni che malaria e malattie causate dalle zecche si stiano diffondendo o si diffonderanno come risultato del riscaldamento causato dalla $CO_2$ non sono supportate nella letteratura scientifica.
5. La mortalità correlata al caldo è stato dimostrato essere minore nei climi più miti e di non aver subito alcun effetto dall'aumento delle temperature durante il ventesimo secolo.
6. Lo storico aumento della $CO_2$ nell'aria ha migliorato la nutrizione umana aumentando il rendimento dei campi agricoli durante gli ultimi 150 anni rispettivamente del 70% per il frumento, 28% per i cereali, 33% per la frutta ed i meloni, 62% per i legumi, 67% per tuberi e radici, e 51% per le verdure.
7. La qualità delle piante nel mondo arricchito di $CO_2$ del futuro, per quanto riguarda il contenuto di proteine e antiossidanti (vitamine), non sarà minore, anzi probabilmente maggiore che nel passato.
8. Ci sono evidenze che alcune sostanze medicinali nelle piante saranno presenti in concentrazioni significativamente superiori, e

certamente in maggiori quantità assolute di quanto siano correntemente.

9. Lo storico aumento di $CO_2$ nell'aria ha probabilmente aiutato l'allungamento della vita già dall'avvento della Rivoluzione Industriale, e il suo continuo rialzo molto probabilmente avrà lo stesso beneficio.

**Considerazioni personali al riguardo**

I fattori che vengono riportati dai CDC di Atlanta, dall'IPCC e dall'OMS hanno un impatto significativamente diverso tra i paesi in via di sviluppo ed i paesi sviluppati. Nei primi avremo come ovvio un impatto nettamente superiore, in particolare sulla popolazione povera, sui bambini e sulle donne. Inoltre, va rilevato che nei paesi in via di sviluppo non sarà possibile intervenire in maniera efficace anche per le condizioni di scarsa sensibilità ai problemi sanitari che già esistono e per la corruzione dilagante che impedisce tali interventi. Nei paesi sviluppati invece la situazione può profilarsi del tutto diversa. Infatti la tecnologia esistente, la sensibilità della popolazione a queste problematiche, le capacità di intervento delle strutture sanitarie potranno portare per esempio ad attivare in tutti gli ambienti dove vivono i soggetti più a rischio la refrigerazione necessaria, e così a superare più facilmente i problemi dell'aumento del caldo e delle onde di calore che potrebbero svilupparsi. Questo varrà anche per controbattere al meglio i problemi inerenti all'inquinamento, o alle infezioni che eventualmente dovessero verificarsi in relazione al riscaldamento globale.

Purtroppo, né i CDC di Atlanta, né l'OMS, né l'IPCC ricordano anche quelli che potrebbero essere gli effetti positivi del riscaldamento globale, come fa invece l'NIPCC. Per esempio nelle popolazioni che vivono in climi molto freddi come quelle dell'Artico (Alaska negli USA, nord del Canada, Groenlandia, Islanda, nord della Norvegia, Finlandia, Svezia e nord della Russia), potranno senz'altro beneficiare di una riduzione degli effetti avversi sulla salute del freddo che potrebbe essere mitigato con il riscaldamento globale. In queste regioni infatti le basse temperature che ci sono tra gennaio e luglio sono associate ad un significativo aumento di mortalità per malattie respirato-

rie, per malattie cardiovascolari, per mortalità perinatale, per mortalità dei bambini.

In conclusione, tutti sanno che i ricchi americani e i ricchi europei che vivono in paesi freddi tendono durante i periodi invernali e molto freddi a recarsi nei paesi più caldi, in particolare gli americani in Florida e gli europei in Costa Azzurra, tutto questo perché soprattutto per gli anziani è più benefico il clima caldo che non quello freddo a cui invece sarebbero esposti rimanendo nelle loro abitazioni usuali. È infatti ben conosciuto che per le malattie reumatiche ed artrosiche, per le malattie cardiorespiratorie, per la depressione un clima più temperato e caldo è molto migliore che un clima freddo. Quindi ci dobbiamo aspettare che un segmento significativo della popolazione, in particolare quella degli anziani, che tenderà tra l'altro ad aumentare significativamente nei prossimi decenni, e coloro che soffrono di malattie croniche, quali le malattie reumatiche ed artrosiche, le malattie cardiovascolari e polmonari e le malattie depressive, potrebbero beneficiare significativamente dall'innalzamento della temperatura che si verificherà, almeno in Europa e nei paesi avanzati. Inoltre già la natura ci dice tutto ciò: gli animali che se lo possono permettere, cioè quelli con le ali, tendono abitualmente a trasferirsi dai climi freddi a quelli più caldi sobbarcandosi giornate e giornate di viaggio, con anche una certa mortalità associata, ma certamente non rinunciano al clima più temperato e caldo rispetto al clima più freddo ed umido.

In conclusione, tutto quanto viene oggi comunque riferito in maniera spesso catastrofica e negativa dalle organizzazioni mondiali deputate al controllo della salute, rimangono comunque nient'altro che previsioni e non certezze e su questa linea dobbiamo comportarci nell'ambito della salute. Senza escludere peraltro che il riscaldamento del pianeta possa beneficiare almeno una parte della popolazione.

# CENTRALITÀ DELL'AGRICOLTURA ED EFFETTO DELLE VARIAZIONI CLIMATICHE SUGLI ECOSISTEMI

Enrico PORCEDDU
*Università di Viterbo*

## Centralità dell'agricoltura

Il valore dell'agricoltura è sempre più sottovalutato in molti paesi industrializzati, malgrado il ruolo centrale che essa riveste nella società. Da oltre 10 mila anni essa fornisce, infatti, derrate alimentari ed altri beni, come vestiario, legno, ecc. Il suo fallimento si è inevitabilmente tradotto in carestie e a lungo andare in declino delle civiltà e degli stati. L'agricoltura è inoltre al centro di un sistema, il sistema agricolo, cui fanno capo attività ed imprese che non si sarebbero sviluppate in assenza di un'agricoltura forte, quale è ad esempio l'industria delle macchine per l'industria alimentare in Emilia. Gli stati fortemente industrializzati hanno anche un sistema agricolo forte, valga per tutti l'esempio degli USA il cui sistema agricolo fornisce un apprezzabile contributo al PIL.

Negli ultimi 50-60 anni, la produzione alimentare mondiale è cresciuta del 170%, mentre quella umana è cresciuta del 100%, mettendo idealmente a disposizione di ogni essere umano una quantità crescente di alimenti (+40%) a prezzi nettamente in diminuzione (-60%). Purtroppo non tutti gli esseri umani hanno potuto usufruire di queste disponibilità per mancanza di equità nella distribuzione ed in particolare per il mancato potere di acquisto da parte degli strati più diseredati.

A livello planetario, l'attività agricola occupa ancora 40-50% della popolazione attiva, con punte di 70-80% in alcuni paesi, per cui un aumento anche modesto della sua produzione significa un passo notevole nel benessere delle popolazioni e nella ricchezza delle nazioni.

Negli ultimi anni, l'aumento dei prezzi degli alimenti di prima ne-

cessità - dovuto alla diminuzione dell'incremento produttivo, risultato di un decremento nell'impegno in ricerca agricola, erroneamente ritenuta matura, la conseguente diminuzione delle riserve ed la distrazione di derrate dal settore alimentare per destinarle a quello energetico - ha determinato un aumento del numero di quanti non possono permettersi il minimo per vivere, una crisi generale e sollevamenti e rivolte delle popolazioni in numerosi paesi.

L'aumento numerico della popolazione mondiale, che fra qualche decennio potrebbe raggiungere i nove miliardi, ed il cambiamento nelle abitudini alimentari verso il consumo di prodotti fini e di carne fanno stimare che, nel contempo, la produzione alimentare debba aumentare del 70-100%. Il traguardo dovrà essere raggiunto con una quantità di risorse inferiore e nel rispetto dell'ambiente; le difficoltà verranno acuite dal cambiamento climatico in atto.

**Agricoltura e cambiamento climatico**

L'agricoltura è l'attività umana che cattura energia solare, la trasforma, combinando insieme acqua e anidride carbonica, in energia chimica, che viene utilizzata per prelevare composti chimici dal terreno e combinarli nella costruzione della materia organica che costituisce la produzione agricola. Ogni variazione in uno dei fattori della produzione – energia solare, acqua, anidride carbonica ed elementi nutritivi del terreno – ha le sue ripercussioni sui sistemi agro-forestali, i quali a loro volta possono influire sull'entità e qualità di questi fattori in un processo in cui essi sono contemporaneamente vittima e causa del male. I sistemi agroforestali si troveranno quindi a dover fornire una maggior quantità di beni adattandosi alle nuove situazioni.

Le condizioni climatiche interagiscono con i sistemi agro-forestali mediante una serie di meccanismi che vanno dalla formazione e fertilità del terreno, agli effetti della concentrazione della $CO_2$ sulla fotosintesi e traspirazione delle piante, alla sopravvivenza e distribuzione delle popolazioni di insetti e microrganismi, utili e dannosi, alle esigenze di riparo per gli animali superiori, alla localizzazione della produzione. Un cambiamento nelle condizioni climatiche provoca una serie di interrogativi che riguardano la stessa entità e direzione del cambiamento e quindi le ripercussioni sugli ecosistemi.

Malgrado gli approfondimenti che la ricerca ha condotto, grazie anche ad una strumentazione più precisa e rapida, è opinione di molti che i progressi raggiunti non consentano proiezioni a lunga scadenza. Le incertezze riguardano l'entità e la distribuzione geografica dell'aumento della temperatura, l'entità, l'intensità e la distribuzione delle precipitazioni durante l'anno, le risposte fisiologiche delle piante e della vita intorno ad esse, alla variazione di questi fattori. Le previsioni circa le conseguenze sono rese incerte anche dai sistemi socioeconomici che governano la domanda ed il rifornimento agroalimentare.

I sistemi agro-forestali sono diversi, perché diverse sono le specie animali e vegetali che li compongono e diversi sono mezzi tecnici utilizzati; molto diversa è quindi la loro risposta al cambiamento climatico. Non meno complessa è la risposta dei sistemi socio-economici che governano la domanda e il rifornimento agroalimentare; la risposta può essere quella di allargare la coltivazione ad altri terreni o di abbandonarli, intensificare o rallentare l'uso dei mezzi tecnici, ecc.

I dati degli ultimo tre lustri prospettano benefici e danni da un aumento della temperatura. Fra i primi può essere ricordato, per lo meno per il Centro e Nord Europa, più lunghi periodi con il terreno libero da ghiaccio e quindi estensione della stagione vegetativa ed un aumento delle precipitazioni, fra i secondi, che dovrebbero interessare la regione Mediterranea spiccano invece i fenomeni di siccità più frequenti ed intensi, crescita più rapida e cicli vegetativi più brevi, il che significa minor accumulo dei prodotti della fotosintesi e quindi minori produzioni, fenomeni di allagamento e di salinità.

Sull'argomento sono state organizzate conferenze, ma la risposta scientifica è resa difficile, fra l'altro, dalla limitazione temporale dei dati disponibili, dai problemi di scala, dovendo trasportare le conoscenze puntuali dal livello di organo di una pianta a quelle delle dimensioni di pieno campo. Non è questa la sede per una trattazione organica anche sommaria sull'argomento; sarà sufficiente ricordare alcuni punti che, in un'ottica di sistema, sembrano di particolare rilievo, a partire dal terreno, la matrice da cui le piante traggono acqua ed elementi nutritivi.

*Il terreno*. Il terreno è la matrice che fornisce acqua e nutrienti agli ecosistemi terrestri, che regola la distribuzione delle specie vegetali, la

produttività degli ecosistemi, i cicli bio-geo-chimici, che agisce come filtro dell'acqua. Non sorprende quindi che i cambiamenti nelle proprietà del terreno, derivanti dal cambiamento climatico, abbiano profonde implicazioni sugli ecosistemi. Il terreno è inoltre una risorsa non rinnovabile, nei tempi brevi e a costi ragionevoli, per cui le dinamiche che vi si insediano sono diventate oggetto di grande attenzione. Ma mentre alcuni aspetti, come ad esempio l'evoluzione della materia organica e l'erosione sono tema di attente ricerche, altri, come ad esempio quelli che richiedono tempi molto lunghi ma sono anche meno reversibili, sono stati affrontati in modo meno intenso. La situazione è ulteriormente complicata dalla grande varietà di terreni e dalla diversità delle zone climatiche in cui essi insistono e dalle interazioni tra i diversi processi che portano alla pressoché impossibilità di fare generalizzazioni e trarre risposte univoche.

Le proprietà del terreno sono determinate da una serie di processi fisici, chimici e biologici che hanno diversa velocità e interagiscono in modo diverso. La risposta del terreno al cambiamento climatico deriva essenzialmente dai cambiamenti quantitativi di questi processi.

Cambiamenti nelle precipitazioni, temperatura e concentrazione della $CO_2$ possono agire direttamente, modificando il regime idrico e quindi la crescita della vegetazione, ed indirettamente, facendo modificare l'uso del territorio e la sua gestione. Si tratta peraltro di modifiche che influiscono sulla composizione e struttura dell'ecosistema e quindi sul clima stesso.

Importanza primaria è rivestita dal contenuto idrico del terreno, da cui dipendono il verificarsi e l'intensità di molti processi ed in definitiva dall'uso che si fa del terreno. I cambiamenti nei flussi idrici possono infatti rendere più asciutto il terreno e quindi aggravare e persino rendere permanente le condizioni di siccità di un'area ed aumentarne la temperatura dell'aria, che a sua volta influenza la temperatura del terreno, anche se il flusso di calore in quest'ultimo è mediato anche dal suo contenuto in minerali ed in materia organica, dall'albedo e dalla vegetazione.

Anche la temperatura influisce sulla velocità dei processi che si verificano nel terreno, specie quelli biologici. Un innalzamento termico del terreno può avere profondi effetti sugli ecosistemi delle regioni ad elevata latitudine; allungando il periodo dell'anno in cui è possibile

un'attiva vegetazione, si possono diffondere nuove specie, spontanee o coltivate, o varietà con diversa fenologia, aprendo la possibilità o costringendo a modificare l'impostazione delle coltivazioni. Variazioni in umidità e temperatura possono determinare cambiamenti nella struttura del terreno, ossia sullo stato di aggregazione delle particelle elementari, e quindi sulla circolazione in esso di gas ed acqua, accelerando i processi di degradazione dei residui organici e di evoluzione della materia organica e quindi della fertilità del terreno stesso.

A risentire del cambiamento climatico possono essere i terreni con elevato contenuto di argilla ed in particolare i vertisuoli, con l'aumento del numero e delle dimensioni delle fessure. Il fenomeno può avere effetti particolarmente rilevanti negli ambienti temperati, nei quali tradizionalmente non è molto marcato. Gli oltre 260 milioni di ha di vertisuoli esistenti nel mondo sono, già di per se, fra i più difficili da gestire ed il cambiamento climatico potrebbe modificarne la capacità di sostenere la vegetazione e le potenzialità agricole. Un'altra conseguenza di queste fessurazioni potrebbe essere un più rapido e diretto movimento dell'acqua e dei soluti dalla superficie verso gli strati sottostanti, e quindi la mancanza dell'efficace azione filtro che il terreno esercita, un aumento della possibilità di percolazione di sostanze nutritive e/o inquinanti nelle falde, con aumento del rischio di contaminazione organica e microbica nelle aree in cui massiccio è l'uso di letame o dei liquami animali.

Può aumentare, nel contempo, l'impatto della salinità e dei ristagni idrici che già compromettono circa 25% del potenziale produttivo delle colture. Un aumento di temperatura associato ad una ridotta precipitazione porta a movimenti dell'acqua verso l'alto con accumulo di sali negli strati superficiali del terreno. Tali effetti potrebbero essere magnificati dall'uso di acque di irrigazione poco idonee. Al contrario nei terreni con un buon drenaggio un aumento della quantità e intensità delle precipitazioni potrebbe far aumentare i processi di percolazione, trasportando i cationi verso il basso e dando luogo a fenomeni di acidificazione.

Un aumento della frequenza ed intensità delle precipitazioni potrebbe esporre il terreno anche ad un aumento dell'erosione idrica ed eolica, specie nelle aree ove il cambiamento climatico dovesse determinare cambiamenti nell'utilizzazione del terreno e nel suo contenuto

in materia organica. Su quest'ultima, da cui dipende la sua stabilità fisica e la fertilità il cambiamento climatico potrebbe avere effetti a lunga scadenza. Potrebbe essere modificata la disponibilità idrica, la propensione all'erosione, la capacità di immagazzinare macro e micro nutrienti, far variare le popolazioni di animali, la microflora, i microrganismi e la capacità di immobilizzare gas serra, come ossido di azoto e metano le cui unità corrispondono rispettivamente a 310 e 23 unità di $CO_2$. Quest'aspetto non è da trascurare perché il terreno svolge un ruolo importantissimo nella regolazione della concentrazione dell'anidride carbonica, dato che in esso vi sono trattenuti 158 Gt di carbonio, pari a circa due volte il carbonio presente nell'atmosfera e più di quanto non sia contenuto nella vegetazione e nell'atmosfera messe insieme (136 Gt di C) . Questa capacità di assorbire e rilasciare gas serra rende la materia organica un attore principale nei processi inerenti il cambiamento climatico; non a caso il suo accumulo/degradazione in funzione del cambiamento della concentrazione della $CO_2$ atmosferica, dei valori di temperatura ed umidità sono oggetto di attento studio. Aumenti di temperatura e di $CO_2$ atmosferica che dovessero determinare un aumento della produttività primaria netta dovrebbero promuovere anche un aumento della capacità del terreno di sequestrare gas serra, mentre una poco appropriata o inopportuna introduzione o estensione di sistemi agroforestali in aree ove il clima e le condizioni edafiche non sono in grado di sostenerli e richiedono elevato impegno gestionale potrebbero dar luogo al rilascio di $CO_2$, metano e ossido di azoto. Non a caso il raccorciamento dei periodi di riposo ed allungamento di quelli di coltivazione nei 1200 milioni di ha in cui viene praticata l'agricoltura itinerante sono ritenuti fra le maggiori cause di degrado dei terreni nelle zone tropicali umide; è interessante notare, a questo proposito, che le tecniche agronomiche basate sulla lavorazione minima e la non lavorazione, che si stanno diffondendo anche nei nostri ambienti, si stanno dimostrando capaci di determinare un raddoppio della concentrazione della $CO_2$ nel terreno in un arco di appena dieci anni.

*Le piante*. La stima degli effetti del cambiamento climatico sulla vegetazione presuppone la conoscenza dei diversi processi che regolano la vita delle singole piante e delle interazioni che si stabiliscono tra le

piante della stessa specie e tra quelle di diverse specie presenti in un sistema. Si tratta purtroppo di conoscenze ancora molto limitate, per cui le risposte che ne derivano hanno ampi margini di oscillazione.

Da un punto di vista della fisiologia di base, le piante possono essere suddivise in tre grandi gruppi sulla base dei processi metabolici con cui operano la fotosintesi clorofilliana e di conseguenza del modo con cui rispondono alle variazioni nella concentrazione dell'anidride carbonica e nella temperatura dell'aria. Ma anche nell'ambito di ognuno di questi gruppi esistono grandi differenze legate alle aree geografiche in cui si sono evolute o in cui sono state selezionate in millenni di coltivazione e/o di gestione.

La maggior parte delle piante coltivate hanno ciclo foto sintetico C3, salvo alcune specie di origine tropicale come mais, sorgo e canna da zucchero, che sono C4. Inoltre la maggior parte delle piante coltivate sono annuali ed è quindi l'agricoltore che ne regola il ciclo vegetativo, dalla semina al raccolto, la competizione intra- e inter-specifica, con le cure colturali. Fanno eccezione le piante arboree da frutto che sono polienni, ma anch'esse sono protette dall'agricoltore con la potatura, l'irrigazione, la concimazione, ecc.

Le risposte al variare dei fattori climatici non possono quindi che essere diverse. Comunque dal punto di vista fisiologico la concentrazione della $CO_2$ atmosferica è il fattore limitante la fotosintesi nelle piante C3, per cui un aumento della sua concentrazione stimola la trasformazione dell'energia solare in energia chimica, la sintesi di zuccheri. Tuttavia le piante C3 hanno anche il fenomeno della foto-respirazione per cui una parte cospicua di questi zuccheri viene degradata e la saturazione viene raggiunta a concentrazioni molto elevate. Al contrario nelle piante C4 la foto-respirazione non è presente per cui la fotosintesi è pressoché massima all'attuale concentrazione di $CO_2$, per cui la loro risposta all'aumento della concentrazione dell'anidride carbonica è molto limitata.

In entrambi i tipi di piante, tuttavia, un'elevata concentrazione di $CO_2$ stimola la chiusura degli stomi, per cui diminuisce la perdita di acqua per traspirazione e quindi migliora la capacità produttiva in condizioni di modesta carenza idrica.

Ma le cose sono più complesse di quanto non appaia a prima vista. La crescita delle piante conseguente all'aumento di $CO_2$ può infatti

determinare una più folta vegetazione, con fenomeni di ombreggiamento, che da un lato determinano la diminuzione della fotosintesi e della foto-respirazione e dall'altro la diminuzione della traspirazione con aumento della temperatura fogliare e quindi un'accelerazione dell'invecchiamento fogliare, con raccorciamento del ciclo vegetativo e minor produzione complessiva. Notevole è, in questa serie di reazioni, l'influenza del contenuto in fosforo e potassio. Una crescita più rapida può anche modificare le qualità nutrizionali della vegetazione, spingendo erbivori superiori ed insetti ad un maggior consumo di massa verde per ottenere lo stesso livello di nutrizione minerale.

La ridotta apertura stomatica, dovuta all'aumento della concentrazione della $CO_2$, può determinare un minor assorbimento di inquinanti atmosferici, come NOx, $SO_2$ e $O_3$, e quindi limita, da un lato, i danni che questi gas causano alla vegetazione e, dall'altro, l'effetto disinquinante che le piante hanno, in particolare le specie a lungo ciclo.

**Effetti sugli ecosistemi**

Si è fatto ripetutamente riferimento a come l'azione della $CO_2$ sulle piante sia legata alla temperatura, ma è abbastanza difficile correlare gli effetti fisiologici dovuti ad un aumento di temperatura a livello di ecosistema, perché la più elevata temperatura è concomitante ad un più elevato irraggiamento e maggiori consumi idrici. Inoltre l'azione della temperatura può essere diversa nelle diverse aree della terra. Le più elevate temperature in zone in cui l'acqua scarseggia possono aggravare le situazioni di siccità, mentre nelle zone tropicali umide possono favorire o ostacolare la possibilità di una seconda o terza coltivazione, come avviene in molte zone risicole o ad alternanza frumento riso.

Insieme a più elevati valori di temperatura, il cambiamento climatico può dar luogo ad una maggior variabilità, con importanti conseguenze sugli ecosistemi naturali e coltivati, ed anche le varietà nell'ambito della specie possono avere differenti ottimi termici.

L'aumento di temperatura può interessare anche la sola fase notturna, ed infatti si ritiene che una parte cospicua dell'aumento di temperatura registratosi durante gli ultimi 50-60 anni sia da ascrivere a questo fatto. La conseguente riduzione dell'oscillazione termica gior-

naliera può avere ripercussioni a livello produttivo nelle piante dotate di pronunciato termo-periodismo; in queste piante la fase oscura, in cui avvengono le reazioni esotermiche per la traslocazione degli assimilati, deve essere accompagnata da temperature più basse di quelle della fase luminosa, pena la perdita di produzione.

Per le piante coltivate è importante anche un'intensificazione del ciclo idrologico, caratterizzato da più elevata evaporazione, umidità dell'aria e precipitazioni. Particolare rilievo nell'agricoltura asciutta hanno la distribuzione ed intensità di queste ultime, da metter in relazione con le caratteristiche del terreno, come si è già visto.

A livello di ecosistema, la produttività primaria netta dei sistemi naturali e coltivati dipende quindi dalle interazioni che si stabiliscono tra le diverse variabili climatiche. L'integrazione dell'azione di queste variabili è operata attraverso modelli di crescita della vegetazione naturale, nei diversi periodi dell'anno, e delle colture, dalla semina al raccolto. Molti modelli sono specifici per determinate colture in particolari aree, altri sono invece più generici; alcuni, come ad esempio quelli relativi alle aree in cui sono presenti pronunciate oscillazioni idriche e di nutrienti, richiedono una più elevata massa di dati, non sempre presenti, mentre più precisi sono quelli costruiti per le aree in cui queste oscillazioni sono limitate. Per questi motivi i modelli devono essere ben calibrati ed i loro risultati oggetto di accurate interpretazioni; non sono rari i casi in cui l'interpretazione dei risultati ha stimolato la scoperta o la necessità di includere nel modello variabili in precedenza ritenute di limitata importanza.

## Conclusioni

I cambiamenti nelle variabili climatiche e le possibili risposte nelle piante, a cui si è fatto cenno, portano ad alcune considerazioni che vengono proposte come conclusione.

Da un punto di vista geografico l'aumento della concentrazione della $CO_2$ dovrebbe essere abbastanza generalizzata con poche differenze nelle diverse parti del mondo, mentre le differenze per quanto riguarda la disponibilità di acqua ed i valori termici dovrebbero essere maggiori. Nei climi secchi come quelli mediterranei ed in assenza di fonti idriche diverse dalle precipitazioni, gli effetti maggiori del cam-

biamento climatico dovrebbero verificarsi nel periodo secco, che di solito è anche quello con maggior irraggiamento e con più elevate temperature; durante questi periodi saranno più difficili la coltivazione e le operazioni colturali. Al contrario nei climi umidi, spesso associati a limitato irraggiamento e temperatura diurne, come quelli del centro e nord Europa e nord America, le difficoltà maggiori derivano dall'eccessiva umidità e dalla limitata trafficabilità del terreno. Nelle regioni dell'estremo oriente potrebbero aumentare le oscillazioni produttive annuali anche se la produzione media dovrebbe aumentare, in contrasto con quelli attesi per i climi mediterranei, in cui l'aumento delle oscillazioni annuali è accompagnato da una diminuzione nelle produzioni.

Purtroppo le ragioni di queste oscillazioni produttive sono ancora poco chiare, per cui sono necessarie analisi accurate delle interazioni della crescita e sviluppo della vegetazione con il clima delle località e le pratiche agricole. In una situazione di cambiamento climatico si rendono necessarie modifiche alla gestione dei diversi ecosistemi per ridurre la probabilità di insuccesso sia nelle zone siccitose che in quelle umide. Un mancato adattamento delle pratiche gestionali in presenza di cambiamenti climatici potrebbe determinare nei tempi lunghi un calo produttivo rilevante nelle aree ad elevato potenziale e la scomparsa dell'intero ecosistema agroforestale nelle regioni produttivamente marginali.

# AGRICOLTURA COME GOVERNO DEL CICLO DEL CARBONIO

Luigi MARIANI
*Università degli Studi di Milano*
*Dipartimento di Produzione Vegetale*

## 1. Introduzione

Nel 1804, Nicholas Theodore de Saussure formulava la teoria sulla nutrizione carbonica delle piante attraverso l'atmosfera mentre nel 1896 Svante Arrhenius metteva a punto la sua teoria che individuava nella $CO_2$ l'elemento centrale dell'effetto serra del nostro pianeta. Da allora le conoscenze sono cresciute enormemente e tuttavia le teorie dei due scienziati ottocenteschi rappresentano ancor oggi un valido *entry point* per il tema delle relazioni fra anidride carbonica e vegetali.

## 2. Stato dell'arte dell'argomento presentato

### *2.1 $CO_2$ come gas serra*

I livelli di anidride carbonica in atmosfera hanno manifestato un graduale aumento negli ultimi 150 anni, passando dalle 280 ppm del 1880 alle 380 ppm del 2008. Tale fenomeno legato almeno in parte alle attività umane, desta preoccupazione per le ripercussioni climatiche ed in particolare per l'amplificazione artificiale dell'effetto serra. In merito al ruolo di $CO_2$ come gas serra i livelli di conoscenza attuali consentono di elencare i seguenti dati di fatto:

- l'effetto serra è fenomeno benefico e che rende abitabile un pianeta che in sua assenza avrebbe una temperatura media di superficie di –19°C
- l'effetto serra è il risultato dei processi di assorbimento / riemissione della radiazione a onda lunga emessa dal pianeta ad opera

di una vasta gamma di sostanze, gassose e non. Si tratta di processi complessi e rispetto ai quali i livelli di conoscenza sono tutt'altro che sufficienti (si veda ad esempio Serio e Masiello, Esperimento per lo studio delle proprietà ottiche nel lontano infrarosso del vapore acqueo a Plateau Rosa, Rivista di Meteorologia Aeronautica, n. 2, aprile-giugno 2009)

- I principali attori dell'effetto serra sono il vapore acqueo e le nubi, che insieme determinano grossomodo l'80% dell'intero effetto mentre l'anidride carbonica è accreditata grossomodo del 14% ed il restante 6% afferisce a pulviscolo atmosferico, metano, protossido d'azoto, ossigeno bi e triatomico, ecc.
- Da quanto detto al punto precedente consegue che senza un'amplificazione da parte del vapore acqueo e delle nubi, a fronte del raddoppio dei livelli di $CO_2$ rispetto a quelli pre-industriali è possibile prevedere solo alcuni decimi di °C di aumento delle temperature globali (+0.47 da oggi al raddoppio della $CO_2$ se si stima il forcing da $CO_2$ con il modello empirico di Myhre et al. del 1998 e poi si applica la legge di Stefan Boltzmann per stimare l'effetto termico di tale forcing aggiuntivo).
- i pochi decimi di grado stimati al punto precedente possono trasformarsi nei 4-6°C di incremento delle temperature medie planetarie in 100 anni previsto dai modelli matematici di simulazione utilizzati dall'IPCC (Global Climatic Models - GCM) in virtù di una serie di amplificazioni (feed-back positivi) le principali delle quali sono legate al vapore acqueo e alle nubi. In sostanza al crescere di $CO_2$ dovrebbe aumentare il contenuto atmosferico in vapore acqueo e diminuire la nuvolosità medio-bassa.

Sono i feed-back di cui al punto 5 a cui fanno ricorso i GCM a sollevare dubbi nella parte della comunità scientifica più fedele al motto secondo cui "ogni convinzione è cosa vana senza la verifica sperimentale". Tali critiche nascono dal fatto che:

- la nostra capacità limitata di prevedere il comportamento futuro e delle nubi (Stephens, 2005)
- altrettanto limitata è la capacità di prevedere il comportamento futuro del vapore acqueo. L'acqua evapora dagli oceani ed eva-

pora e traspira dalle superfici vegetate spinta dalla radiazione solare, dalla ventosità, dall'umidità relativa e dalla temperatura. Ipotizzare che qualche decimo di °C di incremento della temperatura sia indotto dalla $CO_2$ è quanto meno da dimostrare

- il trend di aumento del vapore acqueo e di diminuzione delle nubi spinto dalla graduale crescita di $CO_2$ in atmosfera non trova per ora conferma nei dati osservativi. In proposito occorre dire che è assai problematico ottenere misure del quantitativo di vapore acqueo presente in atmosfera poiché tale gas tende con estrema facilità a condensare ed a precipitare; lo stesso dicasi per le stime di copertura nuvolosa globale, in virtù dell'enorme variabilità spazio-temporale a tutte le scale che presentano le nubi. Ciò premesso si deve comunque osservare che misure globali eseguite con satellite (figura 1) non mostrano si-

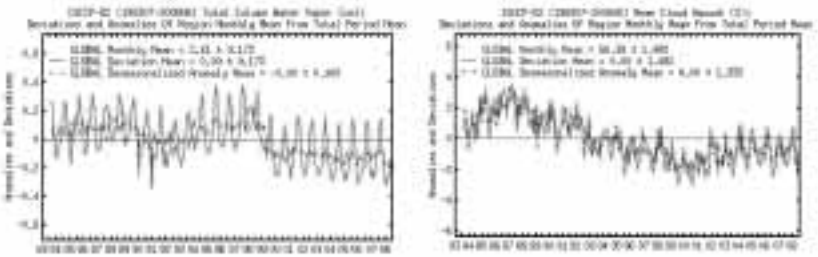


Figura 1 – Andamento globale del vapore acqueo in cm di colonna d'acqua (a sinistra) e della copertura nuvolosa in decimi di cielo coperto (a destra) [fonte: International Satellite Climatology Program - ISCCP].

gnificativi incrementi nei tenori di vapore acqueo sull'intero profilo atmosferico dal 1983 ad oggi. Sempre da satellite è possibile osservare l'andamento della copertura nuvolosa globale dal 1983 ad oggi. In questo caso si osserva una correlazione significativa fra copertura nuvolosa e temperature globali (figura 2), nel senso che la copertura media è andata gradualmente calando man mano che le temperature salivano (e cioè dal 1983 al 1998) mentre la successiva fase di stazionarietà delle temperature globali si è accompagnata alla stazionarietà della copertura nuvolosa globale (figura 2).

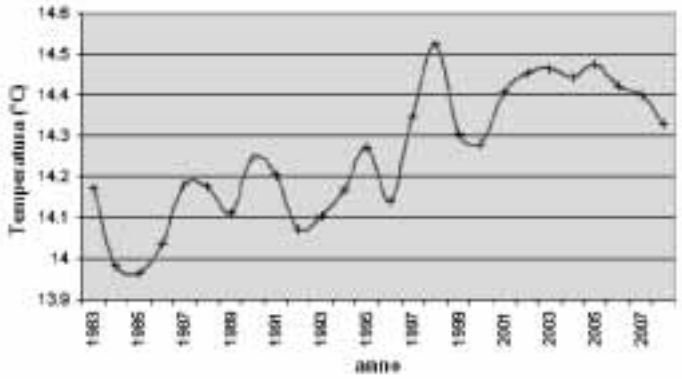



Figura 2 – Andamento delle temperature globali dal 1983 al 2008 (Fonte: Hadley centre - Hadcrut3v).

### *2.2 $CO_2$ come elemento fondamentale per la nutrizione delle piante*

E veniamo ora a discutere della rilevanza dell'anidride carbonica come mattone della vita. L'anidride carbonica è un gas fondamentale per gli autotrofi (vegetali in primis) e dunque per tutti gli eterotrofi (uomo incluso) che dalle catene alimentari, alla cui base stanno gli autotrofi, dipendono per il loro sostentamento.

L'importanza discende dalla reazione chimica per cui 6 molecole di $CO_2$ + 6 molecole d'acqua danno origine ad una molecola di glucosio e 6 molecole di ossigeno.

$6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energia -> $C_6H_{12}\ O_6 + 6\ O_2$

Tale reazione è il cuore del processo di fotosintesi e l'energia necessaria al processo è data da una sessantina di fotoni (quanti di luce solare) per ogni molecola di glucosio assimilata.

Altrettanto necessario per la vita è il processo inverso (respirazione) attraverso il quale l'energia immagazzinata negli zuccheri con la fotosintesi viene liberata a vantaggio di tutti gli organismi viventi (piante, animali, uomo).

Queste cose, note ai più fin dalle scuole elementari, dovrebbero portare a diffidare profondamente da chi individua nella $CO_2$ un pericoloso inquinante. Chi nutrisse qualche dubbio in proposito è pregato di chiederlo alle piante o alle sue stesse cellule.

Qui di seguito si citano i principali passi evolutivi che hanno portato a tale rapporto fra $CO_2$ e piante:

- 2,7 miliardi di anni fa: primi batteri in grado di svolgere la fotosintesi
- 1,9 miliardi di anni fa: prime alghe rosse
- 490 milioni di anni fa: comparsa delle piante vascolari con xilema e tessuti (oggi di gran lunga i primi produttori di biomassa vegetale nelle terre emerse)
- 400 milioni di anni fa: comparsa degli stomi
- 300 milioni di anni fa: comparsa delle foreste e delle piante con semi.
- 120 milioni di anni fa: comparsa delle piante con fiori.

Da notare che quando fecero la loro comparsa le piante vascolari, che oggi dominano incontrastate nella grande maggioranza degli ecosistemi, il nostro pianeta presentava un'atmosfera con 2000-6000 ppm di $CO_2$ (contro le 380 ppm attuali) mentre le temperature non erano molto diverse da quelle attuali. E poiché il sistema fotosintetico nel 95% delle specie vegetali (quelle che i fisiologi chiamano piante C3) è cambiato assai poco rispetto ad allora, le piante vascolari si sentono ancor oggi "orfane" di un'età dell'oro in cui la $CO_2$ scorreva a fiumi. La conseguenza è che se alle piante odierne si somministrano 2000 – 3000 ppm (concimazione carbonica) la produzione aumenta, cresce la resistenza alla siccità, e parimenti cresce il rapporto radici/chioma e di conseguenza la possibilità di accumulo di $CO_2$ nei suoli.

In virtù di tali evidenze emerge una definizione alternativa di agricoltura. Infatti alla definizione classica (coltivazione di piante e allevamento di animali finalizzato a produrre cibo e beni di consumo) si può affiancare una definizione fisiologica secondo cui l'agricoltura è da intendere come "governo del ciclo del carbonio nelle due fasi di fotosintesi e respirazione".

Per "governare" si intende qui chiudere il ciclo del carbonio mantenendo in condizioni di relativa stazionarietà i suoi valori nei diversi comparti (atmosfera, terreno, acque, ecc.). E mentre è ben compreso il ruolo dell'agricoltura per quanto concerne il carbonio nel suolo (al terreno ritornano i residui colturali ed i reflui zootecnici e lo stesso avveniva in passato con i reflui urbani i quali purtroppo oggi sfuggono ad un tale utilizzo per ragioni che sarebbe qui troppo lungo indagare)

tarda a essere colto il ruolo che l'agricoltura gioca e ancor più potrebbe in futuro giocare nei confronti del carbonio atmosferico.

## 3. Conoscenze fin qui assodate

### *3.1 L'agricoltura e il governo globale del ciclo del carbonio*

Abbiamo visto che l'agricoltura è da intendere come governo del ciclo del carbonio da parte dell'uomo. Abbiamo anche visto che la crescita del contenuto di $CO_2$ in atmosfera non può essere al momento accreditato come sintomo di una catastrofe imminente. Non ci nascondiamo comunque che la crescita di $CO_2$ in atmosfera è comunque sintomo di squilibrio. E allora perché non considerare l'agricoltura come strumento per ripristinare l'equilibrio perduto?

Molti ostacoli si frappongono rispetto ad una tale prospettiva: ad esempio le iniziative nel settore della geo-ingegneria (sequestro del carbonio nelle profondità della Terra) si risolvono nel coinvolgimento di poche grandi ditte mentre ogni iniziativa che si fondi sull'agricoltura deve prevedere il coinvolgimento di centinaia di milioni di agricoltori.

Tuttavia non si possono trascurare i semplici conteggi riportati in tabella 1, dai quali emerge che un ettaro di mais allo "stato dell'arte", che produce 14 t/ha di granella, garantisce l'assorbimento di ben 12.9 tonnellate di carbonio al netto delle perdite legate alla respirazione del terreno e ai consumi energetici (macchinari, concimi, diserbanti, ecc.). Valori inferiori ma sempre rilevanti di assorbimento netto di carbonio (9.8 t/ha) si riscontrano ad esempio per un frumento che produce 8 t/ha. Se si pensa che attualmente la superficie agraria totale mondiale è di circa 1.5 miliardi di ettari, è chiaro che il processo produttivo agricolo diviene quanto mai interessante in termini di utilizzazione della $CO_2$ atmosferica. Ciò anche perché mentre uno stoccaggio basato sull'assorbimento della $CO_2$ in profondità è del tutto sterile, quello basato sulle colture può produrre cibo, materie prime e generi di consumo di cui il mondo ha più che mai necessità.

Ecco allora che una proposta di stabilizzazione dei livelli di $CO_2$ in atmosfera basata sull'incremento delle produzioni agricole dovrebbe essere a nostro avviso presa in considerazione e valutata con la dovuta attenzione.

Ogni anno gli ecosistemi terrestri sottraggono all'atmosfera con la fotosintesi una quantità enorme di carbonio (circa 120 GigaTonnellate di Carbonio - GTC); parallelamente le attività umane rilasciano in atmosfera 9.5 GTC, di cui 7.5 di origine fossile (combustibili vari) e 2 di altra origine (produzione cementiera, cambiamenti di uso del suolo, ecc). L'incremento annuo in atmosfera è invece pari a circa 3.0 GTC, il che equivale a dire che sono attivi sink naturali in grado di assorbire 6.0 GTC. E qui tornano in mente le parole del geniale fisico Freeman Dyson: "To stop the carbon in the atmosphere from increasing, we only need to grow the biomass.....the problem of carbon dioxide in the atmosphere is a problem of land management, not a problem of meteorology." (Freeman Dyson, 2007. Many Colored Glass: Reflections on the Place of Life in the Universe, University of Virgina Press).

**Tabella 1 – Bilancio del carbonio per mais da granella e frumento tenero, dati riferiti all'ettaro di superficie per mais (resa areica in granella di 14 t/ha e HI riferito all'intera pianta - radici incluse - di 0.4) e frumento (resa areica 8 t/ha di granella e HI di 0.4).**

| | Mais (t/ha di carbonio) | frumento tenero (t/ha di carbonio) |
|---|---|---|
| Emissioni da parte del suolo (*) | -0.1 | -0.1 |
| Input produttivi (carburanti, concimi, antiparassitari, ecc.) (**) | -0.9 | -0.5 |
| Granella | 5.6 | 3.2 |
| Parti restanti della pianta (fusto, radici) | 14.0 | 7.1 |
| Assorbimento netto | 12.9 | 9.8 |

(*)Stime basate sui dati di Dobermann A., Walters D.T., Adviento-Borbe M.A.A., 2008, Global Warming Potential of High-Yielding Continuous Corn and Corn-Soybean Systems, Better Crops/Vol. 91 (2007, No. 3), 16-19.
(**) Stime basate su dati di Loomis e Connors, 1992. Productivity and management of agric. Systems, Cambridge Univ. Press.

**Tabella 2 – Ipotesi produttive al 2030 in vista della stabilizzazione dei livelli di $CO_2$ atmosferici. L'ipotesi 1 considera il mantenimento della superficie degli arativi ai livelli odierni (1.5 M.di di ha) ed una contemporanea triplicazione delle rese unitarie rispetto ai valori attuali. L'ipotesi 2 considera invece il pasaggio a 2.2 M.di di ha della superficie degli arativi ed il contemporaneo raddoppio delle rese unitarie rispetto ai valori attuali.**

| | Attualità 2008 | Ipotesi 1 2030 | Ipotesi 2 2030 |
|---|---|---|---|
| Superficie agraria totale (M.di di ha) | 1.5 | 1.5 | 2.2 |
| Produzione totale | 6.9 | 20.7 | 20.2 |
| Produzione utile | 2.8 | 10.4 | 10.1 |
| Produzione utile per scopi alimentari | 2.2 | 5.2 | 5.1 |
| Produzione fissata in materiali stabili | 0.6 | 5.2 | 5.1 |
| Residui colturali che ritornano al terreno | 4.1 | 10.4 | 10.1 |
| Arricchimento in humus | 0.4 | 2.6 | 2.5 |
| Consumi (energia per lavorazioni, sementi, fertilizz, fitofarmaci, ecc) | 0.4 | 1.2 | 1.2 |
| rilascio netto in atmosfera | 6.4 | 14.2 | 13.9 |
| Sequestro di carbonio da parte dell'agricoltura | 0.5 | 6.5 | 6.4 |

**Tabella 3 – Valutazione del contributo dell'agricoltura alla stabilizzazione del carbonio in atmosfera al realizzarsi delle ipotesi indicate in tabella 2. Si osservi che l'agricoltura, passando a 6.4 o 6.5 GTC assorbite può fornire un contributo sostanziale alla stabilizzazione. Valori espressi in GTC.**

| | 2005 | 2030 ipotesi1 | 2030 ipotesi2 |
|---|---|---|---|
| Emissioni antropiche di carbonio | 9.5 | 16.0* | 16.0* |
| Sequestro di carbonio da parte dell'agricoltura | -0.5 | -6.4 | -6.5 |
| Sequestro da sink naturali (foreste, praterie, ecc.) (ipotesi stazionaria) | -6.0 | -6.0 | -6.0 |
| Incremento annuo di C in atmosfera | 3.0 | 3.6 | 3.5 |

(*) Stime delle emissioni antropiche fornite dall'Agenzia Internazionale per l'Energia. Stime sensibilmente inferiori sono indicate in McKitrick, 2003. Emission scenarios and recent global warming projections, Fraser Forum, 14-16.

### *3.2 Due ipotesi per il 2030: analisi critica*

Nelle tabelle 2 e 3 sono presentate due ipotesi produttive agricole globali per il 2030 che consentirebbero di superare le 6 GTC di assorbimento netto di carbonio da parte dell'agro-ecosistema, garantendo un consistente sequestro di carbonio atmosferico .

Il raddoppio o la triplicazione delle rese previsto dalle due ipotesi potrà apparire a prima vista inverosimile e tuttavia si deve considerare che nel corso del 20° secolo le agricolture evolute hanno visto le rese di colture come mais, frumento e riso quadruplicarsi o quintuplicarsi, grazie agli enormi progressi registrati nel settore delle genetica agraria e delle tecniche colturali. Per inciso tali progressi si registrarono in assenza di applicazione generalizzata di biotecnologie innovative, che oggi garantirebbero una ben più consistente accelerazione dei processi di miglioramento genetico.

Altrettanto inverosimile può a prima vista apparire l'incremento di 0.7 miliardi di ha delle superfici agricole previsto dall'ipotesi 2. Tale incremento è subordinato alla nostra capacità di impostare e condurre:

- politiche di valorizzazione delle risorse idriche che consentano di mettere a coltura territori oggi prossimi ad aree desertiche
- politiche di valorizzazione dei territori che si sono resi disponibili per l'agricoltura grazie alla mitigazione del clima registratasi nel 20° secolo
- politiche di contenimento dell'espansione di aree urbane che sono oggi responsabili della distruzione di milioni di ettari di terra fertile.

## 4. Lacune conoscitive e necessari sviluppi

Le due ipotesi sopra delineate hanno caratteri di larga massima e necessiteranno di analisi di maggior dettaglio per valutarne l'effettiva praticabilità.

È indubbio tuttavia il fatto che la realizzazione di una delle due ipotesi delineate è subordinata al realizzarsi dei seguenti presupposti:

- che l'agricoltura sia vista come una tecnologia evoluta (no a vagheggiamenti bucolici)

- che l'agricoltura sia considerata in senso esteso (foreste incluse)
- che si attivi una politica globale di tutela e valorizzazione delle risorse idriche
- che si attivi una politica globale di tutela dei suoli
- che le filiere chimiche oggi alimentate con il fossile vengano alimentate con biomassa vegetale
- che si registri un'evoluzione radicale della tecnica colturale per potenziare il sink del terreno (agricoltura conservativa)
- che una "rivoluzione copernicana" raggiunga i cittadini e gli agricoltori. In particolare è necessario far crescere culturalmente gli agricoltori perché senza la loro partecipazione attiva a tale processo, lo stesso è destinato al fallimento.

Si osservi che, al realizzarsi di una delle due ipotesi, l'incremento annuo in atmosfera sarebbe assai simile a quello attuale (rispettivamente 3.6 e 3.5 GTC). È nostra convinzione tuttavia che tale incremento residuo possa essere agevolmente contenuto grazie all'impiego di tecnologie di produzione energetica oggi alla nostra portata quali la tecnologia nucleare.

Si sottolinea infine che aldilà dei meriti in termini di sequestro del carbonio le due ipotesi qui delineate rappresentano una risposta concreta alle esigenze di cibo, di materie prime e di acqua che l'umanità intera già oggi esprime e che sempre di più esprimerà in futuro.

# LE PREVEDIBILI GRAVI CONSEGUENZE DEL PESANTE DIRIGISMO POLITICO ORMAI PREVALENTE NEL MONDO OCCIDENTALE AL RIGUARDO DEL RISCALDAMENTO GLOBALE IN ATTO

Guido POSSA
*Presidente della Commissione Cultura del Senato*

Buongiorno a tutti e un ringraziamento agli organizzatori dell'Associazione Galileo 2001 per averci dato una possibilità di un incontro di alto livello su un tema scottante sotto tanti aspetti.

**Una minaccia per la libertà**

Quello che esprimerò oggi è una mia opinione personale. Io ritengo che noi abbiamo a che fare oggi in Europa con una questione che incide sulla delicatissima tutela della libertà, un fiore delicato da curare sempre con la massima attenzione. Talora l'insidia alla libertà si presenta ammantata da nobili finalità e non è perciò facile da riconoscere. Nell'Europa del XXI secolo la libertà non è più insidiata dal comunismo, dal fascismo, dai carri armati e cannoni ma è minacciata da nuove intolleranti ideologie, le povertà dovute alla troppo rapida globalizzazione delle economie, la spesso scadente informazione dei media, nuovi poteri istituiti senza adeguato quadro costituzionale, facili a iper-regolamentazioni e dirigismi.

*Preoccupa l'atteggiamento radicale di lotta al riscaldamento globale (Global Warming – GW)* assunto in questi ultimi anni dall'Unione Europea e da importanti Governi. Il fine pienamente condivisibile della tutela dell'ambiente *non giustifica* i pesanti e tecnocratici mezzi coercitivi decisi e in via di decisione, privi di adeguato controllo democratico.

**Uno tsunami!**

In pochissimi anni la questione del Global Warming è entrata nelle prime pagine dei media di tutto il mondo, attrae la preoccupata atten-

zione di milioni e milioni di cittadini, pervade la pubblicità commerciale, ha raggiunto la massima priorità nelle agende delle decisioni politiche. E ora, senza dibattito, senza opposizione, stiamo decidendo di passare alla low carbon economy! Una rivoluzione, una costosissima rivoluzione!

Le tappe principali di questo tsunami sono nel 1988 la costituzione dell'IPCC, nel 1997 il Protocollo di Kyoto, nel 2007 la Direttiva 20-20-20 dell'U.E. e nel 2009 l'impegno solenne del G8 a ridurre al 20% nel 2050 il consumo dei combustibili fossili, a patto che i Paesi in via di sviluppo accettino di limitare il loro consumo.

**Come mai questo tsunami?**

Un imminente pericolo mortale minaccia la Terra? No! A causare questo fenomeno straordinario è un incredibile impasto di buona scienza e cattiva scienza, di ideologie socialdemocra-tiche autoritarie e dirigistiche, di ideologie verdi intolleranti, di uso spropositato del principio di precauzione, del formidabile gradimento dei media e dei cittadini nei confronti del catastrofismo climatico, della volontà dell'U.E. di sottrarsi al "ricatto" dei Paesi fornitori di combustibili fossili, della volontà di dell'U.E., spinta da alcuni suoi Governi e leader (in primis Tony Blair e Angela Merkel), di essere la prima della classe su questo problema, della volontà franco-tedesca di affermare una egemonia europea tramite la burocrazia di Bruxelles, di pressioni di lobby industriali.

**I fatti sul riscaldamento globale**

I fatti li conosciamo bene: la temperatura media globale dell'atmosfera terreste al suolo è aumentata di 4-5 decimi di grado negli ultimi tre decenni del XX secolo (0,7-0,8 decimi dal 1780); è tuttavia rimasta pressoché costante a partire dal 1998 (anno in cui si è verificato El Nino); l'aumento di temperatura è nettamente maggiore nell'emisfero nord (boreale); la $CO_2$ – il secondo per importanza dei gas serra dopo il vapor d'acqua – aumenta ogni anno di 2-3 ppm ed ha raggiunto i 380 ppm (280 all'inizio dell'era industriale); il livello del mare nel secolo scorso si è innalzato di 17 cm e ora cresce al ritmo di circa 3,1 cm

al decennio; i ghiacciai delle Alpi stanno cospicuamente riducendosi; non risultano variazione dei ghiacciai dell'Antartide; il manto ghiacciato della Groenlandia non sta sciogliendosi; non è stato riscontrato negli anni recenti nessun peggioramento della frequenza e dell'intensità di cicloni, uragani, tifoni, ecc. rispetto alle serie storiche.

**La base scientifica è debole**

Su questi temi vi è ora una esplosione di studi, ricerche e prese di posizione politiche. Non vi è alcun dubbio che sia in atto un riscaldamento climatico globale (GW), ma la sua precisa misura e caratterizzazione è molto difficile e tutt'altro che soddisfacente. I punti di misura sono pochi. Le serie storiche delle misure di temperatura dell'atmosfera al suolo inadeguate.

Quanto alla diagnosi delle cause del GW, la scienza non ha ancora raggiunto conclusioni definitive. Vari scienziati sostengono che il GW osservato è almeno in parte "naturale". Un contributo importante potrebbe essere dovuto alle variazioni dell'attività del Sole, di cui si conoscono poco gli effetti. Ma l'IPCC non ha alcun dubbio. Nel Technical Report 4ARWG1 attribuisce la colpa del GW ai gas serra antropogenici, in particolare alla $CO_2$ da combustione di carbone, petrolio e metano ("very likely").

Se la diagnosi è poco sicura, *molto più incerta e discutibile è la prognosi del GW*, cioè la previsione dell'andamento del clima terrestre di qui al 2100, previsione ovviamente fondamentale per le decisioni politiche. Ciò per tre ordini di motivi: 1) la fisica dell'atmosfera non è conosciuta a sufficienza, 2) le interazioni energetiche che hanno luogo sulla superficie della Terra determinandone il suo clima, sono di una straordinaria complessità; 3) il calcolo matematico dell'evoluzione temporale di un fenomeno – un calcolo estremamente difficile per il clima - è affetto da un errore rapidamente crescente con la distanza dal tempo iniziale, tanto più grave quanto meno conosciute sono le condizioni al tale tempo iniziale. Nonostante queste oggettive difficoltà, l'IPCC *non esita a slanciarsi nelle previsioni del clima* al 2100. E le sue previsioni (cospicuo riscaldamento, gravi sconvolgimenti climatici) sono assunte come oro colato dai politici.

Non solo, ma l'IPCC si spinge senza esitazioni a un'altra difficilissi-

ma previsione, quella dell'impatto delle future variazioni del clima sul sistema sociale ed economico mondiale. Ma come si fa a prevedere le reazioni delle popolazioni alle variazioni del clima? E come prevedere l'evoluzione delle tecnologie? Chi può dire come sarà il mondo nel 2100? Nel 1900 non si conoscevano: aerei, computer, internet, antibiotici, dna, energia nucleare, bomba atomica, radio, televisione, laser, dvd. Fatto 100 il PIL mondiale nel 2000, nel 2100 il PIL mondiale si prevede potrà raggiungere quota 1000!

Su questo problema l'UE e la Commissione Europea hanno nella massima considerazione anche il rapporto Stern ("The Economics of Climate Change"), promosso dal Governo Blair, un rapporto supercatastrofista, adottato senza alcun dibattito. *Le previsioni del rapporto Stern al 2100*, se non si interviene, sono: un aumento della temperatura dell'atmosfera fino a 5-6 °C; lo scioglimento di parte del ghiaccio delle calotte polari; l'innalzamento del livello del mare di svariati metri (IPCC: 18-59 cm.); l'aumento del numero e della violenza degli eventi estremi, siccità, inondazioni, onde di calore; sconvolgimento generale del clima; desertificazione; estesa diffusione di malattie tropicali (malaria, dengue); grave impoverimento della biodiversità; gravi danni soprattutto alle agricolture dei Paesi in via di sviluppo.

Centrale nel rapporto economico tra presente e futuro è il tasso di attualizzazione, e in ogni caso l'investimento odierno perché sia sensato deve essere inferiore al valore del danno, attualizzato ad oggi, e nel rapporto Stern si assume un valore molto basso per il tasso di attualizzazione per giustificare elevati valori degli investimenti da fare oggi come interventi di mitigazione.

**Il quadro delle decisioni già prese**

Per far fronte a queste previsioni sono già stati adottati una serie di accordi e di decisioni quali: *il Protocollo di Kyoto del 1997*, un accordo internazionale sottoscritto da un gran numero di Paesi, che limita le emissioni di gas serra (sopratutto $CO_2$) per gli anni 2008-2012 in molti Paesi industriali (-5,2% rispetto al 1990)

*La decisione 20-20-20 assunta dall'Unione Europea* nel marzo 2007, riguardante gli anni 2013-2020 (prescrivente un forte incremento dei consumi energetici da fonti rinnovabili, una forte riduzione delle

emissioni di gas serra, una rilevante adozione di biocarburanti, nonché riduzione non vincolante dei consumi energetici).

*I regolamenti della Commissione Europea* emanati e di prossima emanazione per le produzioni ecocompatibili e per la riduzione delle emissioni di $CO_2$ delle autovetture.

## Il Protocollo di Kyoto

Il Protocollo di Kyoto ha come obiettivo la riduzione delle emissioni del 5,2% rispetto alle emissioni 1990, un obiettivo limitato e con minime conseguenze sulla temperatura mondiale (elimina il 2,5% delle emissioni 1990, cresciute del 45% nel 2008).

L'U.E. ha sottoscritto una riduzione più pesante, dell' 8%, e poi ha discusso con ciascuno dei paesi firmatari (15 poi diventati 26) il tetto alle emissioni. Ogni Paese ha sottoscritto un proprio "tetto" (o "cap") di emissioni. Il metodo di controllo adottato è il "cap and trade", un "tetto e diritti di emissione". Per i 27 Paesi dell'UE il "cap" è stato convenuto Paese per Paese (ad es.:-21% per Germania, 0% per Francia, -6,5% per Italia). L'Italia è molto penalizzata (sia come diritti di emissione procapite, 30% in meno dei tedeschi, sia come diritti di emissione per unità di PIL). Il calcolo dell'effettiva emissione di gas serra di un dato Paese dell'UE in un certo anno, calcolo ovviamente molto complesso, è effettuato sulla base dei dati Eurostat di consumo dei combustibili fossili, eccetera. Se per ipotesi in un dato anno un Paese non rispetta il "cap" deve comperare o ottenere diritti di emissione (mediante forestazione, Ji, CDM, eccetera) fioccano pesanti sanzioni.

La Commissione Europea ha inoltre stabilito top down per ogni Paese un "cap" riguardante il solo settore delle industrie energivore (35-40% del totale delle emissioni), detto settore ETS (European Trading System), e ha istituito in tale settore un mercato dei diritti di emissione: "cap and trade" . Nel settore ETS i diritti di emissione sono assegnati a ciascun Paese secondo il suddetto "cap", inizialmente a titolo gratuito. *Il mercato ETS, distorce la concorrenza europea*. Gli operatori italiani nel 2008 hanno dovuto comperare sul mercato i diritti mancanti, pagando 10-20 euro a tonnellata di $CO_2$.

La scelta del 1990 come anno base penalizza fortemente l'Italia,

che ha avuto in precedenza un comportamento virtuoso. Il metodo del "cap" scelto comporta inevitabilmente il controllo burocratico delle emissioni e nell'U.E. questo controllo è stato interpretato in modo molto severo attivando un'*asfissiante burocrazia centralizzata* per la quale i Paesi membri hanno dovuto sottoporre per l'approvazione dettagliati piani nazionali di assegnazione di diritti di emissione. Sono stati censiti tutti gli impianti industriali emettenti $CO_2$ con potenze superiori a 20 MW. In Italia nel 2004 l'emissione di $CO_2$ eq è stata maggiore dell'11,7% di quella del 1990.

In sintesi, l'esperienza del protocollo di Kyoto è risultata assai negativa, avendo comportato: una pervasiva burocrazia centralizzata e autoritaria; costi cospicui per gli operatori italiani per l'approvvigionamento dei diritti di emissione, costi ribaltati ovviamente sui consumatori (0,55 miliardi di euro nel 2008); impossibilità di incrementare l'uso del carbone; nessun beneficio per l'ambiente (nel periodo 1990-2008 le emissioni di $CO_2$ nel mondo, non si sono affatto ridotte, passando da 21 a 30 miliardi di tonnellate); rilevanti abusi del meccanismo CDM (Clean Development Mechanisms) da parte dei Paesi in via di sviluppo (in particolare dalla Cina); grave rischio di delocalizzazione fuori dall'UE degli impianti energivori che emettono $CO_2$; distorsione della concorrenza europea nel mercato dell'energia elettrica dove noi abbiamo avuto, per colpa di questo mercato, una posizione di priorità rispetto ai tedeschi e infine la grave distorsione della concorrenza nel mercato delle energie rinnovabili (qui l'U.E. consente aiuti di Stato).

**Gli obiettivi U.E.: 20-20-20**

La Direttiva UE 20-20-20 rappresenta la seconda azione decisa (per ora solo dall'UE) contro il GW, e riguarda il periodo post-Kyoto 2013-2020. Essa è stata decisa con un blitz nel Consiglio Europeo del marzo 2007 e le decisioni assunte, molto importanti per la nostra economia e società, *NON sono mai state discusse nel Parlamento italiano*.

Tre gli obiettivi vincolanti da raggiungere entro il 2020: 1) la riduzione delle emissioni di $CO_2$ del 20% rispetto al 1990, 2) l'aumento al 20% dei consumi finali di energie rinnovabili sul mix energetico, 3) l'aumento al 10% dei biocombustibili nei combustibili per autotrazio-

ne, e infine, come raccomandazione, la diminuzione del 20% almeno del consumo di energia rispetto al trend naturale.

Circa l'obiettivo della diminuzione del 20% delle emissioni di gas serra al 2020 rispetto al 1990, la Commissione Europea non ha ancora proceduto al calcolo delle quote nazionali, riservandosi tale calcolo dopo Copenaghen (per cui l'U.E. è disposta ad aumentare al 30% la riduzione rispetto al 1990, se i Paesi in via di sviluppo "collaboreranno"). In ogni caso i permessi di emissione per il settore elettrico saranno venduti tramite asta. I relativi costi saranno ovviamente ribaltati sugli utenti. Il meccanismo di controllo del raggiungimento di questo obiettivo è quello del Protocollo di Kyoto: "cap and trade", con tutti i gravi difetti di questo meccanismo. Circa l'appesantimento burocratico connesso a questo obiettivo, invito a leggere la Direttiva 2009/29/CE del 23 aprile 2009.

Estremamente gravoso risulta *l'obiettivo dell'UE del 20% di consumi da fonti rinnovabili da conseguire entro il 2020* perchè l'UE non ha tenuto in adeguato conto la grande differenza delle situazioni geografiche e sociali tra i 27 paesi membri. Per l'Italia tale obiettivo è stato così definito: 17% di quota da fonti rinnovabili sul consumo finale di energia (nel 2005 tale quota era pari al 5,2%. Veramente singolare e opinabile è il modo di conteggiare le energie sui consumi finali: si sommano le energie elettriche, comunque prodotte, con le energie termiche consumate come tali, conteggio che tende tra l'altro a sottostimare il pregio dell'energia idro-elettrica e a sovrastimare il pregio dell'energia termica da biomasse. Il conseguimento di tale obiettivo richiederà una grande incentivazione delle energie eolica e solare e dell'energia da biomasse e un enorme impulso al risparmio energetico. La Commissione Europea controllerà l'avanzamento verso questo obiettivo mediante i Governi nazionali, obbligati a fornire un grandissimo numero di informazioni anno per anno (vedi la Direttiva 2009/28/CE e l'ossessivo modulo di cui al documento C(2009) 475 del 30 giugno scorso.

Anche l'obiettivo del 10% di biocombustibile presenta rilevanti problemi. Si vuole giustamente evitare che esso venga conseguito a scapito della produzione di derrate alimentari, riducendo la foresta tropicale e la biodiversità. La garanzia contro tali evenienze, che certamente si verificherebbero se il mercato venisse lasciato libero, com-

porterà una meticolosa verifica burocratica circa l'origine dei prodotti agricoli utilizzati per i biocombustibili. Vedi gli art. 17 e 18 della Direttiva 2009/28/CEE.

**I regolamenti dell'UE**

Abbiamo dato carta bianca alla Commissione Europea senza alcun passaggio al Parlamento di regolamentare tutte le produzioni che sono importanti dal punto di vista energetico. La Direttiva 2005/32/CE consente infatti alla Commissione Europea di emanare *direttamente* i regolamenti concernenti specifiche vincolanti per la progettazione ecocompatibile di prodotti aventi impatto energetico.

Essa ha preparato un dettagliato piano di lavoro 2009-2011 sulla progettazione eco-compatibile (documento COM(2008) 660 del 21/10/08), in base al quale verranno emessi regolamenti per decine e decine di gruppi di prodotti. Esempi di tali regolamenti è sono il n° 244/2009 sulla progettazione delle lampadine per uso domestico e quello n°443/2009 che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture. Eccessivi.

Siamo in presenza di una gigantesca operazione tecnocratica, sostanzialmente priva di controllo. È bastata una clausola in una Direttiva (la n°32 del 2005)!

**L'obiettivo dei 2 °C**

L'Unione Europea ha continuamente sostenuto in documenti ufficiali la necessità che il G.W. non produca un incremento di temperatura media mondiale dell'atmosfera maggiore di 2°C rispetto al livello preindustriale (0,7°C sono già stati "consumati"). Si tratta di uno pseudo-obiettivo, di significato solo mediatico, *sostanzialmente manipolatorio*: la temperatura media mondiale dell'atmosfera si muove infatti per suo conto. Non è mai stato nemmeno minimamente accennato dall'UE e dalla Commissione Europea quale sia il codice di calcolo "ufficiale" a cui affidarsi per la previsione dell'evoluzione della temperatura in dipendenza della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera.

Nel rapporto Stern si prevede che al livello di 550 ppm di $CO_2$ eq (attualmente siamo a 430 ppm eq), livello che potrebbe essere rag-

giunto nel 2035, vi è come minimo il 77% di probabilità di raggiungere un incremento di 2°C.

**L'obiettivo del G8 per il 2050**

Il documento conclusivo del G8 dell'Aquila contiene, in previsione di Copenaghen (dicembre 2009), l'impegno per i firmatari (e, si vorrebbe, anche per i Paesi Sviluppati) a ridurre le emissioni di gas serra al 20% rispetto al 1990 nel 2050, a condizione però che anche i Paesi in via di sviluppo limitino le loro emissioni, in modo che al 2050 l'emissione mondiale scenda al 50% di quella del 1990. *Ma questa strategia è realistica?* Per i Paesi sviluppati l'impegno è rivoluzionario. La sua implementazione richiederà forti misure coercitive e dirigistiche a 360° su tutta l'attività economica. Le conseguenze economiche non potrebbero non essere pesanti (perdita di competitività, aumento dei costi produttivi, perdita di posti di lavoro, calo del PIL, molte limitazione per i cittadini).

L'UK peraltro si è già impegnata per legge a questa drastica riduzione.

**Deriva anti liberalitaria dell'UE e della Commissione Europea**

La deriva anti liberalitaria dell'UE e della Commissione Europea è evidente dall'assunzione totalmente acritica delle previsioni dell'IPCC, dal continuo riferimento nei propri documenti al rapporto Stern, un rapporto di parte molto discutibile, dalla sistematica sottostima nei propri documenti dei costi della mitigazione, dal tacito supporto, è questo è molto grave, al catastrofismo climatico, dalla manipolazione mediatica dello pseudo-obiettivo dei 2 gradi, dal gravissimo appesantimento burocratico centralizzato per la verifica dell'effettiva progressione verso il conseguimento degli obiettivi vincolanti, dall'emanazione di Direttive a maglia sempre più stretta, da recepire nelle legislazioni nazionali in tempi sempre più ridotti, dalla determinazione di notevoli distorsioni anticoncorrenziali dei mercati europei dell'energia elettrica e delle energie rinnovabili (per cui sono stati resi possibili gli aiuti di Stato) nella regolamentazione degli obblighi del Protocollo di Kyoto, dal pervasivo dirigismo tecnocratico nella vo-

lontà di regolamentazione (mediante regolamenti della Commissione Europea) di tutti i gruppi di prodotto aventi impatto energetico con una conseguente gigantesca azione sullo sviluppo naturale del mercato. Nessuna considerazione viene dedicata al ruolo ancora esercitato dai Parlamenti Nazionali nella rappresentanza dei cittadini né alla marcata progressiva riduzione del ruolo dei Governi nazionali a quello di articolazioni periferiche del Governo centrale della Commissione Europea. (vedi le infinite richieste di Piani nazionali, di obblighi informativi, eccetera).

**Lo sviluppo di una patologia antilibertaria**

Le condizioni favorevoli allo sviluppo della patologia antilibertaria in atto riguardano l'oggettiva debolezza della Scienza sul problema del riscaldamento globale (la climatologia è una scienza recente, sintesi di decine e decine di specifiche discipline e solo pochi laboratori in tutto il mondo possono permettersi rigorose indagini in questo campo. I mezzi strumentali sono onerosissimi) e la profonda penetrazione di idee neo-malthusiane sui limiti dello sviluppo delle élites dei principali Paesi occidentali. Vi concorrono anche l'inadeguatezza del quadro costituzionale in cui è stata concepita l'UE (vedi certi eccessivi conferimenti di potere alla Commissione Europea previsti nel Trattato di Maastricht (1993) e nel Trattato di Lisbona), una certa volontà di primazia di Francia e Germania e la tendenza del potere politico a divenire mera gestione verticistica dei problemi, attenta solo alle reazioni dei cittadini e dei media. È entrato in crisi il concetto di rappresentanza politica dei cittadini nei Parlamenti (a fronte della pseudo rappresentanza di sondaggi e della televisione).

**Le forze che premono per iperregolare le emissioni**

Le forze che premono per iperregolare le emissioni sono in generale la sinistra europea (e italiana), sia con le socialdemocrazie, storiche paladine dello sviluppo sostenibile, sia con il movimento dei "verdi" dalla ben nota intollerante ideologia; il partito popolare europeo dominato dai tedeschi della CDU, profondamente ispirato dal luteranesimo; i leaders Tony Blair, Angela Merkel e in misura minore Sarkozy;

l'Unione Europea, con la sua smania di leadership mondiale sul problema e la volontà di affermarsi come potere sovranazionale; gli interessi di governi di singoli Paesi che vogliono aprire nuovi mercati alle proprie industrie (D), togliere spazio ai "verdi" (D e F), promuovere il nucleare (UK), apparire creatori di nuovi posti di lavoro, eccetera; le industrie che intravedono possibilità di nuovo mercato in certe azioni dirigistiche (ad es. le lampadine) e naturalmente in primis le industrie delle energie rinnovabili (solare, eolico), tutte assistite, che premono per continuare ad esserlo (per mezzo del trasferimento degli oneri degli incentivi sui cittadini utenti).

**Gli obiettivi politici principali**

I principali obiettivi politici consistono nell'indirizzare l'umanità verso una società tecnologica a basso consumo di combustibili fossili (low carbon economy), a sviluppo sostenibile e a far adottare ai cittadini dei paesi sviluppati comportamenti caratterizzati da consumi energetici sobri se non austeri, comunque limitati al massimo, a ridurre la dipendenza dei paesi sviluppati dai paesi che producono combustibili fossili e, per far sopportare ai cittadini i pesanti oneri di questa trasformazione, si alimenterà una diffusa paura di sconvolgimenti climatici (il catastrofismo).

Si mira anche a sviluppare una leadership dell'UE sia verso gli altri paesi del mondo, sia verso i paesi membri a dare incisiva consistenza a una prima forma di governo mondiale. È "evidente" che di fronte ad obiettivi di tale importanza l'oggettiva debolezza della base fisica della questione del GW non "deve" più avere rilievo.

**Gli elementi chiave della dinamica**

Gli elementi chiave per conseguire questi obiettivi sono, oltre all'imponente coacervo di forze a favore: l'autoreferenzialità monopolistica dell'IPCC (prima volta nella storia della scienza). La fisica del clima è data per scontata (è politically non correct porre domande a riguardo) e comunque è ormai in secondo piano. Molti scienziati sono intolleranti nei riguardi di chi obietta all'attribuzione all'uomo del GW. Fanno seguito una micidiale macchina burocratica-politica post demo-

cratica dell'UE e della Commissione, caratterizzata da top down centralistico tecnocratico; la facilità con cui la favola del prossimo grave sconvolgimento climatico si è diffusa tra i cittadini (per la generale mancanza di spirito critico); l'enorme amplificazione che i media hanno dato al catastrofismo climatico (le paure fanno audience); il potente supporto a queste politiche dirigistiche di molte importanti istituzioni laterali (il premio Nobel ad Al Gore e all'IPCC) e la facilità con cui sono stati nascosti o minimizzati i costi di questa radicale mitigazione.

**Le conseguenze economiche**

Il costo del kWh elettrico, un costo fondamentale in particolare per il comparto produttivo, aumenterà. Le cause principali saranno: 1) l'incentivazione delle fonti rinnovabili e i costi connessi alla loro utilizzazione, 2) l'acquisto alle aste o sul mercato ETS dei diritti di emissione della $CO_2$, 3) le limitazioni all'uso del carbone, 4) i costi connessi alla messa fuori esercizio di impianti non ammortizzati. Numerosi impianti energivori verranno delocalizzati.

Inevitabilmente la competitività dei Paesi sviluppati diminuirà (a fronte dei Paesi in via di sviluppo), con le conseguenze di minor occupazione, minore sviluppo, peggioramento delle condizioni socioeconomiche. Verrà aumentata l'imposizione fiscale, onde sovvenzionare i Paesi in via di sviluppo per convincerli a limitare le loro emissioni di $CO_2$. Ma Cina e India hanno enorme bisogno di energia e la producono con il carbone. Come pretendere di limitare il loro sviluppo? I Paesi in via di sviluppo, specialmente quelli più poveri, non si accontenteranno facilmente: accuseranno i Paesi sviluppati di avvelenamento dell'atmosfera, pretendendo gravosi indennizzi (richiesta di questi giorni: tra 150 e 400 miliardi di dollari all'anno).

**Un paio di commenti attuali**

Avviandomi alla conclusione voglio infine citare due importanti considerazioni, scientifica la prima, politica la seconda:

"Le generazioni future si meraviglieranno, attonite, di come agli inizi del XXI secolo il mondo sviluppato sia stato colpito da panico isterico per un aumento della temperatura a livello mondiale di pochi

decimi di grado, e di come, sulla base di grossolane esagerazioni di proiezioni fatte al computer, assai incerte e combinate in catene di conseguenze non plausibili, abbia proceduto a completare un totale rovesciamento dell'era industriale." (R. S. Lindzen, scienziato del clima, professore al MIT).

E il commento di V. Kraus, l'unico politico di alto livello che si sia opposto a questo trend in Europa, e che si rifiuta di firmare il trattato di Lisbona: "la più grande minaccia alla libertà, alla democrazia, all'economia di mercato e alla prosperità all'inizio del XXI secolo non è più il socialismo ma l'ideologia ambientalista, ambiziosa, arrogante e priva di scrupoli. Il movimento ambientalista vuole cambiare comportamenti, struttura della società, sistema dei valori. L'obiettivo è sostituire l'evoluzione libera e spontanea dell'umanità con una pianificazione pseudo ottimale, centrale, globale dello sviluppo del mondo. L'unica via per realizzare questo approccio utopistico è la restrizione della libertà e l'imposizione della volontà di una minoranza piccole ed elitaria ad una maggioranza enormemente più vasta. Per questo è essenziale evocare il senso del pericolo, prevedere una minaccia di portata inimmaginabile e mostrarne la gravità. Una volta creato questo tipo di clima emerge l'obbligo di agire rapidamente senza prestare attenzione ai dettagli o ai costi delle misure adottate, omettendo le usuali procedure della democrazia rappresentativa, imputando loro una eccessiva lentezza." (V. Kraus, Presidente della Cekia)

**In conclusione: che fare?**

*Ci attende una difficilissima battaglia in difesa della libertà*, per la quale occorre, in primo luogo, riaffermare la necessità:

- del ripristino del controllo democratico dei Parlamenti Nazionali sulle politiche riguardanti il problema del G.W. (dell'Unione Europea e del G8);
- dell'attribuzione alla scienza climatologica libera, non ingabbiata dalla struttura autoreferenziale dell'IPCC, della centralità sulla questione del R.G; di strutture scientifiche in grado di effettuare accurate misura del clima e della sua evoluzione, per poter intervenire all'occorrenza; di un forte incremento degli studi e delle ricerche sul clima;

- di un ragionevole risparmio energetico, una ragionevole incentivazione delle fonti rinnovabili e del nucleare e di investimenti in R&S in tecnologie energetiche;
- di studio delle enormi possibilità dell'adattamento.

E contestualmente occorre opporsi al terrorismo catastrofista, all'assunzione del rapporto Stern come vangelo indiscutibile, all'obiettivo mediatico dei 2°C, al dirigismo centralistico dell'UE e della Commissione Europea e infine all'assurda costrizione e penalizzazione dei nostri sistemi industriali.

Grazie

# IL GOVERNO DELL'AMBIENTE

Paolo TOGNI
Direttore della Scuola Superiore Territorio, Ambiente, Management (SSTAM) dell'Università di Perugia

Compito della Pubblica Amministrazione è condurre gli affari pubblici nell'interesse generale, definito come tale dalla volontà del popolo espressa dai suoi rappresentanti scelti col voto, nel rispetto del diritto naturale, delle regole costituzionali e delle leggi vigenti. In questa definizione rientra un insieme assai complesso di attività, che la scienza dell'amministrazione ha organizzato articolandone la gestione in settori omogenei, ai quali corrispondono entità operative distinte poste sotto l'autorità di un organo superiore che le indirizza e le coordina. Per quanto riguarda le attività di grado più elevato, che interessano l'intera comunità nazionale e l'insieme delle istituzioni che ne fanno parte, l'organo che le gestisce è il Governo, anch'esso articolato secondo competenze diverse, suscettibili di essere modificate nel tempo in ragione dell'emergere di esigenze nuove o che richiedano di essere gestite diversamente di quanto avvenuto per il passato. Anche il Governo ha una struttura interna, nella quale un vertice, comunemente chiamato Presidenza, coordina, indirizza e controlla le attività degli altri organi, comunemente chiamati Ministeri, ad ognuno dei quali vengono assegnate le competenze relative a determinate materie.

L'esigenza di affrontare in maniera nuova, più specifica e coordinata le problematiche ambientali sorse in Italia, come negli altri Paesi sviluppati, nella seconda metà del secolo scorso. Dall'inizio della rivoluzione industriale e all'inizio della fase di vivacissimo sviluppo industriale e produttivo iniziata con la fine della Seconda Guerra mondiale nessuno si era posto troppi problemi rispetto alle conseguenze sull'ambiente delle attività in essere, fin quando il Presidente USA Richard Nixon, nel 1969, con il *National Environmental Policy Act* isti-

tuì l'EPA; analoghe iniziative seguirono quella americana, e nel 1986 fu istituito anche in Italia il Ministero dell'Ambiente, peraltro già in essere sia pure con diversa denominazione, dato che nei tre anni precedenti (Governo Craxi) c'era stato il Ministro per l'Ecologia, senza portafoglio.

Occorre qui ricordare ancora che un efficace governo dell'ambiente non si realizza tramite un piccolo ministero di spesa con moderate capacità di incidere sulla programmazione e sullo svolgimento delle attività del Governo, come nei fatti è avvenuto: in ragione delle competenze generali e trasversali rispetto ad ogni strumento di programmazione e ad ogni attività, esso deve essere gestito da un soggetto capace di condizionare il complesso delle attività del Governo. In una parola, la responsabilità degli aspetti generali e complessivi della tutela ambientale deve essere allocata a livello della Presidenza del Consiglio, eventualmente costituendo un apposito Dipartimento che potrebbe essere gestito anche da un sottosegretario dotato di competenze specifiche, mentre la parte direttamente gestionale avrebbe potuto trovare la sua collocazione ideale all'interno delle competenze di una Agenzia.

Nella realtà del nostro Paese, l'attribuzione di competenze al nuovo dicastero non fu un esercizio di raffinata tecnica dell'amministrazione. La materia ambientale, per sua natura, interseca praticamente tutti gli aspetti e i settori dell'attività del Governo: dovrebbe infatti apparire evidente che il Ministero delle Infrastrutture, o quello dello Sviluppo Economico, non dovrebbero poter agire prescindendo dal quadro di ammissibilità (sostenibilità?) definito dall'Ambiente, e così anche, praticamente, tutte le altre amministrazioni. Questa considerazione avrebbe dovuto spingere ad istituire la funzione ambientale come articolazione della Presidenza del Consiglio, e in quanto tale comprenderla tra le attività di coordinamento tra le diverse amministrazioni che di essa sono proprie: si preferì, invece, costituire un piccolo ministero di spesa, che poteva garantire la tutela degli interessi ambientali attraverso un'attività di interdizione e attraverso la proposta di nuove normative. A seguito di questa collocazione, quando è stato gestito da politici di ispirazione paleo ambientalista o sensibili alle istanze paleo ambientaliste (Ruffolo, Spini, Ronchi, Bordon, Pecoraro Scanio) il Ministero dell'Ambiente si è qualificato come "Ministero del

no", abbandonando il ruolo di "Ministero del come" che gli sarebbe stato proprio in una logica di sviluppo sostenibile del Sistema Italia; questo approccio ha bloccato o fortemente ritardato realizzazioni che sarebbero state essenziali per l'aggiornamento delle decrepite reti infrastrutturali ed energetiche del nostro Paese. Oltretutto la scarsa cultura amministrativa spesso evidenziata dai responsabili del Ministero dell'Ambiente ha fatti si che in molti casi l'effettiva gestione del dicastero fosse nelle mani dei vertici amministrativi, caratterizzati da una scarsissima considerazione per l'interesse generale, e da una forte propensione ad agire secondo logiche particolari. Tale situazione, peraltro, non è stata peculiare dei responsabili dell'Ambiente: purtroppo la grave insufficienza di cultura amministrativa e della conseguente capacità di guidare l'amministrazione si è dimostrata, negli ultimi quindici/venti anni, una caratteristica strutturale della classe politica, comune a tutti gli schieramenti, rispetto alla quale si sono evidenziate rare eccezioni.

Posso ricordare che non esiste nessun tipo di potere in grado di resistere al potere politico, il quale può quindi ottenere i risultati voluti solo qualora si verifichino due condizioni: che lo si sappia usare, e che lo si voglia usare. Se non lo si vuole usare, esista o meno la capacità necessaria ad ottenere risultati, l'esito è l'assenza di azione amministrativa; se lo si vuole usare senza sapere come si fa, non c'è corretta azione amministrativa, ma prepotenza e illegalità. Le due condizioni raramente si sono avverate insieme negli ultimi tempi: c'è stata spesso la voglia di ottenere dei risultati senza aver sufficiente capacità di ottenerli, e più spesso ancora sono mancate tutte e due le condizioni che ho sopra definite. Il risultato è stata la sostanziale inattività pratica dei vari governi che è sotto gli occhi di tutto, che si è spesso tentato di mascherare attraverso un catalogo di cose che si pretendono fatte, ma che sono state fatte male, senza che ne scaturiscano concreti risultati. Ciò è successo e sta succedendo anche nella gestione dell'ambiente.

Rispetto alla quale va fatta un'aggiunta: per poter agire correttamente in questo campo, è necessario muoversi sotto la stretta ispirazione di una seria e corretta informazione scientifica. È delittuoso agire a tutela dell'ambiente dicendo che lo si fa nell'interesse pubblico, ed orientare l'azione amministrativa o giurisdizionale secondo parole d'ordine mediatiche prive di qualunque base scientifica. Gli inceneri-

tori causano il cancro; il nucleare è pericoloso; l'elettrosmog genera leucemie e altre malattie; con la raccolta differenziata si risolve il problema dei rifiuti; l'aumento delle temperature terrestri è causato dall'attività dell'uomo; i cibi biologici sono più sani di quelli tradizionali; gli OGM sono pericolosi: quante volte abbiamo sentito ripetere queste baggianate e altre consimili, accomunate dall'essere prive di consistenza? E, soprattutto, quante mai leggi sono state approvate, quante sentenze sono state pronunziate, quanti provvedimenti sono stati assunti che hanno come premessa, dichiarata o meno, una delle demenziali affermazioni sopra ricordate?

Riportare le conoscenze scientifiche ad essere base dell'attività di Governo in campo ambientale e riportare la scienza dell'amministrazione ad essere base dell'attività amministrativa di tutti gli organi pubblici: solo questo ci potrà salvare dall'ignoranza, dalla protervia e dall'illegalità.

Paolo Togni è Presidente dell'Associazione Viva per la diffusione di una corretta informazione ambientale, ed è stato, dal 2001 al 2006, Capo di Gabinetto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

# SECONDA TAVOLA ROTONDA

Ezio BUSSOLETTI

Voglio ringraziare innanzitutto tutti i relatori che hanno parlato fino ad ora. In questi due giorni abbiamo ascoltato le due posizioni del pro e del contro rispetto ai risultati e alle valutazioni del Global Warming per certi versi e, per altro verso, abbiamo avuto tutta una serie di interventi ieri e, soprattutto oggi, che forse hanno chiarito quelli che possono essere i contributi positivi di chi si occupa di scienza per dare delle indicazioni nei confronti dei politici.

Io voglio ricordare l'intervento di Guido Possa ora e l'intervento di Corrado Clini ieri che, presi insieme, danno conto di una realtà assolutamente agghiacciante. Guido Possa ha indicato tutti i problemi che emergono dalla mancanza di sensibilità e della politica e della tempistica della politica che non è la stessa di chi si occupa di fare della ricerca. Il messaggio che ieri Corrado Clini ci ha dato lo trovo personalmente particolarmente agghiacciante perché ha detto essenzialmente che ormai i giochi sono fatti, le posizioni sono state assunte, c'è una linea che va seguita, se vogliamo, come scienza, entrare nel carrozzone e magari discuterne. Facciamolo pure ma il succo della faccenda è che intanto si va avanti, purtroppo nolenti o volenti, senza di noi. Questo è un fatto grave.

Qualcuno prima ha detto che bisogna farsi sentire, è vero, ma il problema banale è che Sartori parla di clima impazzito e tutti gli danno credito perché ovviamente il catastrofismo paga; è molto più facile parlare e fare del catastrofismo; se invece si dice che la situazione non è così tragica come viene descritta e che, al contrario, si possono risolvere i problemi è chiaro che questo non interessa.

Qui vedo che entrano i nostri giornalisti che ringrazio per aver accettato l'invito a partecipare a questa tavola rotonda. I media in gene-

rale hanno un grosso peso in quello che sta avvenendo. La situazione globale è che oggi quello che è descritto dai media prevale sulla realtà effettiva e lo abbiamo visto da due anni a questa parte: Al Gore prende il premio Nobel per la pace, l'IPCC prende il Nobel per la pace, ricordiamocelo perché molto spesso si parla di premio Nobel ma non della Scienza e quindi c'è il rischio che vengano giudicati i loro interventi indipendentemente dalla loro qualità scientifica che è discutibile o almeno è in discussione. L'altro ieri il Nobel l'ha avuto Obama sulle riforme che vuole "eventualmente" fare; auguriamoci che alla fine di questi due giorni probabilmente se noi diamo un contributo scientifico un po' più avanzato di quello di Obama per la scienza forse anche l'Associazione Galileo 2001 l'anno prossimo avrà il premio Nobel per la pace.

Il metro e il peso di quello che è lo stato dei fatti è questo e personalmente lo trovo drammatico perché vedo che sto dando ai miei figli un lascito veramente vergognoso.

Tornando al nostro discorso: Kyoto è stato un buco nell'acqua o almeno molto poco positivo a meno che qualcuno non ci convinca che questo non è vero; stiamo andando verso Copenaghen che presenta già un rischio di un nulla di fatto e allora la prima cosa che vorrei che voi diate come contributo è "come vedete Copenaghen e cosa ci aspettiamo. Lascio ora la parola a voi giornalisti".

Elisabetta DURANTE
*Giornalista scientifico*

Come giornalista scientifica ho avuto la fortuna di lavorare non solo nel mondo dei media, ma anche come consulente di realtà scientifiche, laboratori, università e imprese.

Avrei tanto da dire, ma mi limito a poche cose che credo valga la pena di chiarire subito, dal mio punto di vista. E parto da un semplice dato di cronaca, uno qualunque dei molti episodi, simili tra loro, che potrei portarvi ad esempio.

Poco fa qualcuno parlava qui di tsunami, e mi è tornato in mente che, al tempo del grande tsunami del 2004, la conduttrice di uno speciale Rai 1, in prima serata, pose all'esperto dell'INGV, che aveva ospite in studio, una domanda che suonava sostanzialmente così : "Professore, che peso può aver avuto nello scatenarsi di questa catastrofe, il fatto che questo sia un anno bisestile?". Il poverino reagì con evidente disagio, ma, forse per buona educazione o forse per mancanza di spirito, abbozzò.

La domanda era veramente terribile, come terribile fu il fatto che nessuno, nè in quella circostanza nè dopo, si sia minimamente scandalizzato, dimostrando che una domanda del genere, tutto sommato, può essere considerata legittima. Comunque, io trovo ancor più terribile che un uomo di scienza abbia abbozzato. La scienza non può abbozzare: non può, non deve prestare il fianco a queste palesi dimostrazioni di ignoranza: così facendo, confonde la sua voce col gran rumore di fondo, e rinuncia a quella che dev'essere la 'sua' nota distintiva, come invece richiede il suo ruolo.

Certo, provando a recuperare la sua antica autorevolezza, la scienza potrebbe essere accusata di autoreferenzialità. Si è sempre pronti a tacciare la scienza di autoreferenzialità: ma non si dice mai che il sistema più autoreferenziale è quello della stampa, che può dire e scrivere qualunque cosa, senza rispondere mai di niente davanti a nessuno (ad eccezione, naturalmente, dei poteri forti che spesso ne muovono le fila). Questa stampa che parla e scrive di scienza è –ovviamente con le

dovute eccezioni- ideologica, manichea, schiava di stereotipi, combattiva in apparenza quanto conformista in sostanza, e produce quotidianamente grandi baggianate che si riverberano all'infinito.

A ben vedere, il problema non sorge solo con gli argomenti scientifici più difficili come quelli che riguardano il clima e l'ambiente: nei giorni scorsi, tutti i media si sono occupati del CERN per riferire di uno scienziato, dipendente del CERN, che con estrema facilità avrebbe trafugato dati sensibili, per impiegarli a fini terroristici: bene, non era uno scienziato, non era un dipendente del CERN, non aveva accesso ad alcun dato importante, e al CERN, comunque, non ci sono dati sensibili in termini di sicurezza, salvo che non si voglia scambiare il CERN vero con quello di Dan Brown. Ecco che anche su una notizia semplice, banale, si è riusciti a costruire una sciocchezza colossale.
Allora, di fronte a una questione di estrema complessità, di fronte a fenomeni violentemente non lineari come quelli che qui si stanno dibattendo, in cui è praticamente impossibile costruire un quadro integrato dei dati, com'è possibile dialogare costruttivamente col sistema dell'informazione? E perché poi, una scienza che per decenni ha sottovalutato il problema della comunicazione, proprio su un tema tanto delicato e difficile, in cui essa stessa è palesemente divisa e persino schierata, si aspetta che questi media privi di conoscenze scientifiche, non dico specialistiche ma anche solo di base, facciano i miracoli?

Chicco TESTA
*Presidente Forum Nucleare Italiano*

Aggiungo due considerazioni. C'è qualche cosa di incredibile, che forse i giornalisti potrebbero aiutare a spiegare, nel vedere che i potenti del mondo si occupano dei problemi climatici, si occupano di trovare degli accordi, perché so che sulla forza effettiva dell'effetto serra e del contributo umano ci sono opinioni molto discordanti. E c'è qualche cosa di incredibile nel fatto che ci si occupi di quanti gradi potrà aumentare la temperatura del pianeta. Questo francamente io lo trovo fantastico e capisco come nessuno spieghi che non c'è alcuna possibilità per il genere umano, che faccia tanta $CO_2$ o che ne faccia poca, di stabilire che il clima del pianeta possa aumentare di 1 grado, di un grado e mezzo… Questo deve essere oggetto di discussione diplomatica, ci si siede intorno ad un tavolo e si discute: se si fa in una certa maniera la temperatura aumenta di 3 gradi se facciamo in un altro modo aumenta solo di 1 grado, per cui ci si accorda per cercare di farla aumentare solo di 1 grado. Guardate che il pubblico non bada molto appresso a queste cose. Secondo me se continua così la discussione sull'effetto serra, l'opinione pubblica se ne è già ampiamente scocciata, per usare una espressione molto colorita.

Seconda considerazione. Pur sapendo che ci sono diversità profonde nel mondo scientifico, io ad esempio ho ascoltato più di una volta Lindzen, ne cito uno per tanti, titolare della cattedra di climatologia all'MIT, sostenere che non vi è alcuna correlazione tra la produzione di $CO_2$ umana e l'effetto serra, tuttavia penso che da questa discussione, anziché contrapporsi, se ne potrebbero trarre tutti gli aspetti positivi perché comunque le misure che dovrebbero essere prese per combattere l'effetto serra, "se fatte ragionevolmente", sono in grande parte misure da non pentirsi.

Ricordiamoci, ad esempio, che per quanto riguarda la combustione dei combustibili fossili abbiamo secondo l'OMS un milione di morti all'anno nel ciclo carbone, gas metano, olio combustibile, nel ciclo totale compreso l'inquinamento, le miniere, ecc.

Quindi fare efficienza energetica, e vedere se riusciamo a fare ricerca seria. Premetto che io sono azionista di una società che fa fonti rinnovabili, ma certamente quando sento Ortis dire che nel 2020 i nostri incentivi raggiungeranno la somma, prevedendo una diminuzione del 50% del valore medio dell'incentivo, di 7 miliardi all'anno, ci si domanda che forse se questi 7 miliardi li prendessimo ora e facessimo un programma di ricerca avremmo il più grande progetto di ricerca al mondo sulle fonti rinnovabili, che sarebbe il modo migliore per spendere i soldi. Però ripeto "no regret": cerchiamo di tirar fuori tutto il meglio possibile dal fatto che comunque spingere verso un'economia "decarbonizzata" può avere tutta una serie di effetti positivi per la salute dell'uomo e per la ricerca scientifica.

L'ultima cosa che vorrei dire è che ho sentito quasi tutto l'intervento di Elisabetta Durante e lo condivido al 300%. Voi citate Sartori che è un politologo che scrive "sciocchezze" ma a me è capitato di telefonare ad Alberto Ronchey, che è normalmente un giornalista serio e documentato, dopo che ho letto un suo articolo sul Corriere della Sera che la Germania faceva il 30% dell'energia con il fotovoltaico. L'ho chiamato e, siccome siamo amici, gli ho detto "ma cosa hai scritto?" e gli ho mandato dei documenti da dove risultava chiaro che il contributo del fotovoltaico elettrico tedesco è dello 0,7%. Mi ha risposto che aveva sbagliato e voleva vedere perché, dicendomi "ho qua una lettera che mi ha mandato un mio amico ingegnere, scusami la prossima volto scriverò meglio". Dal 30% allo 0,7%, non c'è bisogno di essere un fisico per capire. Peccato che 3 giorni dopo la stessa cosa l'abbia scritta Dacia Maraini ripetendo lo stesso errore. Quindi scrivo anche alla Maraini la quale mi risponde che si era sbagliata, era vero che non è il 30% però la Germania vuole arrivare al 30%.

Però ora oltre che lamentarci che l'Italia è un paese brutto, io penso che l'Italia sia un paese quasi finito non per colpa di Berlusconi ma per colpa di tante cose di cui siamo responsabili forse un pochino tutti. E se vogliamo reagire a questo tipo di cose ci vuole una strategia intelligente. Per esempio la contrapposizione fra scienza e mondo normale è una contrapposizione che non funziona. Parlando di energia nucleare vi ricordo che non c'è posizione antinucleare che non citi l'attuale premio Nobel per la fisica italiana che si chiama Carlo Rubbia e che è un vostro collega. Non stiamo parlando di oscuri ricercato-

ri del CNR, di cui sono pieni i siti internet, che hanno trovato forme magnifiche per produrre energia elettrica con i modo più immaginifici del mondo. C'è il Prof. Carlo Rubbia che una volta sì e una volta no, in modo molto ambiguo, dice sostanzialmente che il nucleare da fissione non va bene e che è molto meglio fare il solare termodinamico in Africa. Quindi stiamo parlando del vostro collega più titolato, diciamo agli occhi del pubblico comune, da questo punto di vista. Non voglio discutere se Rubbia ha ragione o no, dico che rispetto alla metodologia dei ragionamenti non c'è dubbio che il mondo scientifico ha un approccio al problema che è metodologicamente più fondato, ma se vogliamo discutere di opinioni, dobbiamo sapere che nel mondo scientifico le opinioni sono molto diverse anche quando diventano politica. Non sono solo opinioni scientifiche sulla validità o no nei secoli avvenire della forza di gravità, sono opinioni diverse su cosa dobbiamo fare con la forza di gravità oggi.

Stiamo parlando del rapporto tra il pensiero scientifico e l'opinione pubblica, alla quale non si può chiedere cos'è il consenso scientifico o quante sono le citazioni del Prof. Bernardini rispetto alle citazioni del Prof. Rubbia. L'opinione pubblica dice che uno ha preso il Nobel, sta al CERN, è laureato e dice che il nucleare fa male. Cosa deve pensare mio figlio o la donna che passa per strada? Bisogna dirgli che vadano ad un convegno dei fisici nucleari per cercare di capire qual'è la verità?

Ma non è vero che la battaglia è perduta, è questo che voglio dire, ci sono due cose che bisogna fare. Primo: bisogna comunicare i fatti con estrema chiarezza e con estrema semplicità, e ci sono gli spazi. C'è un collega di Foresta Martin che lavora a Repubblica, lui ha scritto un articolo "pessimo" sull'energia nucleare un anno fa, da allora io gli mando regolarmente le notiziole, gli segnalo che quello che ha detto non è vero e siccome è una persona fondamentalmente onesta dal punto di vista metodologico, non so se l'ho influenzato io o si è influenzato da solo, ma vedo che il suo pensiero evolve perché anche un giornalista – attenzione ci sono anche giornalisti militanti che potete dimostrargli qualsiasi cosa non cambieranno mai idea – ma la gran parte dei giornalisti messi davanti in maniera semplice e chiara al fatto che l'affermazione che hanno fatto non è fondata, non dico scientificamente, ma nemmeno fattualmente, cioè la Dacia Maraini non scri-

verà più che c'è il 30% di energia rinnovabile fatta in Germania e nemmeno Alberto Ronchey perché se qualcuno gli fa vedere un numero o un dato per lo meno se ne vergognano.

Secondo: oltre che fare una battaglia sui numeri e sui fatti, bisogna in qualche modo essere in grado anche di mobilitare le contrapposizioni, come si fa questo? È difficile ma bisogna farlo, perché altrimenti immaginate una contrapposizione dove da una parte c'è un grande oncologo italiano (Umberto Veronesi), poi prendiamo un premio Nobel per la fisica che non sia Rubbia ma che sia per esempio Chu che ha una posizione moderatamente favorevole all'energia nucleare, poi metteteci un terzo grande scienziato a vostra scelta (facciamo rivivere Fermi e diciamo che c'è Fermi), e questa è la squadra delle persone favorevoli al nucleare; dall'altra parte mettiamo Beppe Grillo, Adriano Celentano e la Luciana Litizzetto. Secondo voi a chi daranno ascolto?

Camillo ZACCARINI BONELLI
*Ministero dell'Agricoltura e Foreste*

Il Ministro Zaia, per impegni istituzionali, non potrà essere oggi presente. Ho molto apprezzato l'intervento di ieri del Dr. Clini il quale ha accennato al fatto che il Ministero dell'Agricoltura è anch'esso coinvolto verso Copenaghen nel tam tam che prepara una posizione per la Commissione Europea.

Devo dire, e posso confermare, che le conclusioni del Consiglio Ambiente stanno terminando proprio in queste ore e le determinazioni sono quelle che abbiamo appena sentito: si negozia su 2°C ma poi si danno molte affermazioni di principio ad addetti ai lavori, ed io da agronomo che segue concretamente queste cose, posso asserire che il momento topico sarà il giorno dopo Copenaghen. Penso, per inserirmi sul discorso della ricerca, che a Copenaghen verranno mandati alcuni messaggi politici (questo lo farà la Francia), ma si apriranno nella logica di una revisione del Protocollo di Kyoto, scenari su cui la ricerca dovrà avere un ruolo decisivo nel tirare fuori una capacità di interpretare la realtà.

Sarò molto veloce nel dirvi che il mondo dello sviluppo rurale delle politiche agricole giocherà nel post Kyoto, qualunque sia la visione giusta o sbagliata, un ruolo centrale. Sappiate che il 92% del territorio italiano è definito rurale, la grossa concentrazione sta nelle città ma il 92% del territorio è rurale dove si producono produzioni per l'energia. La posizione del Ministro Zaia, che noi portiamo in vista di Copenaghen, è quella di far giocare al mondo agricolo un ruolo centrale nella revisione. Fino ad oggi non è stato così. Si è parlato solo di riduzione delle emissioni, ancorché anche presenti in altri settori, ma non si è parlato di osservatori di carbonio in maniera forte se non quelli forestali, il presidente della Società dei Geologi parlava dell'importanza del suolo, nessuno ha mai parlato delle potenzialità che con una gestione sostenibile del territorio gli agricoltori possono incamerare molta $CO_2$ all'interno dei terreni in un'Italia e in un'Europa che hanno visto perdere la consistenza organica nella maggior parte dei terreni,

stiamo perdendo fertilità giorno dopo giorno. Secondo quanto ha detto il Dr. Testa mi sembra di capire che dobbiamo cogliere nelle visioni diverse (politiche e non) una opportunità. L'opportunità è che al di là del momento mediatico che molti cavalcano, nella storia del clima è giunto il momento di fare una riflessione: in Italia, e forse anche in Europa, è mancata fino ad oggi la capacità di sintesi cioè non c'è la capacità di affrontare temi complessi in maniera sistemica. Anche stamane sono intervenuti molti accademici, ognuno ha la sua verità, ma il momento di sintesi, soprattutto su temi globali del clima, è difficile trarli in breve e allora io penso che attraverso la capacità del mondo della ricerca di trovare momenti di sintesi come ha fatto questa Associazione, perché mettere insieme tanti esperti su vari segmenti è già un successo, la forza e la nostra capacità (come sistema Paese) di riuscire a fare una sintesi penso che sia forse il messaggio più importante che ci viene richiesto da questa tempesta mediatica.

Un'ultima cosa, il 29 ottobre, quindi fra qualche giorno, ci sarà un convegno a Roma a Piazza della Repubblica nel quale cercheremo di dire ufficialmente, con tutto il mondo di attori rurali, qual'è il ruolo delle politiche agricole rurali per mitigare ed adattarsi ai cambiamenti climatici e su questo punto sappiate che per la ricerca e l'agricoltura il ruolo più importante non è tanto mitigare ma adattarsi al cambiamento. Il cambiamento del clima porta oggi ad investire sulla ricerca genetica per adattarsi al cambiamento e il discorso che gli ulivi li troveremo in Inghilterra non è poi così lontano da noi. Quindi cambieranno gli scenari, cambierà la geografia delle produzioni agricole, ma il vero messaggio sarà quello di dare un futuro ai nostri figli.

Ludovica MANUSARDI CARLESI
*Giornalista scientifico*

Sono giornalista scientifico ed ho una laurea scientifica. Volevo rispondere in parte ad Elisabetta Durante e in parte aggiungere qualche considerazione. Cito un tema di grande attualità: questa influenza suina di cui si parla dal mese di maggio-aprile, la definirei una influenza mediatica; ma non sono la sola, anche altri illustri personaggi del mondo della medicina la definiscono una influenza mediatica. Questo fatto sta a simboleggiare che alcune notizie che fanno leva sull'emotività della gente hanno una grossa eco, vengono amplificate, modificate e strumentalizzate; mentre altre notizie altrettanto importanti, ma a minor impatto mediatico non vengono diffuse.

Io collaboro per un giornale, un quotidiano abbastanza importante: un giornale di Confindustria. Quando nel nostro Paese si è incominciato a parlare del risveglio del nucleare proposi di intervistare qualcuno, di sentire i pro e i contro, di stimolare l'attenzione della pubblica opinione su questo tema, per informare la gente comune che di fatto si deve poi esprimere su temi e problematiche vitali per lo sviluppo e il progresso di una nazione moderna. Mi fu risposto che non era opportuno risvegliare questa sensibilità, che la redazione aveva altre priorità. Di questo convegno al quale sono stata gentilmente invitata e durante il quale ho sentito delle cose molto interessanti, non credo che riuscirò a scrivere una riga perché " i convegni non interessano".

Ecco allora che risulta estremamente difficile trasmettere informazioni importanti, citare costi, benefici, i pro e i contro di scelte fondamentali per il nostro futuro. Prima è stato citato Sartori e ripeto con lui: chi sono i nemici della scienza? I nemici della scienza sono tantissimi, prima di tutto i tuttologi: costituzionalisti, economisti, scrittori, vincitori di premi letterali, ex ambasciatori, soubrettes; tutti coloro che per il solo fatto di essere noti al pubblico pensano di potersi esprimere su qualunque tema.

Quello però che non si capisce è perché se c'è un programma di approfondimento sul calcio vengono invitati esperti del calcio, mentre

quando si fanno discussioni sulla scienza e sulle sue ricadute nella società le persone veramente competenti vengono tenute rigorosamente alla larga, quasi sempre. Può anche darsi che la scienza non sappia comunicare; è certamente difficile parlare di scienza, sia sui giornali che in televisione, dove viene premiata la battuta e la demagogia a scapito dell'onestà intellettuale. Tuttavia prego vivamente gli scienziati qui presenti di far sentire in modo più incisivo la propria voce perché, malgrado il manifesto che fu scritto a Ciampi dall'Associazione Galileo 2001 in favore del ritorno al nucleare, mi pare che la voce degli addetti ai lavori sia stata successivamente abbastanza tiepida.

Noi giornalisti facciamo molta fatica a scrivere di scienza, i motivi sono molteplici: il direttore del giornale non è appassionato, gli spazi sono ristretti, arriva una notizia di cronaca che fa saltare il pezzo sulla ricerca. È quasi sempre la scienza a essere sacrificata. Credo tuttavia che la comunità scientifica dovrebbe fare un po' di autocritica, far sentire di più la propria voce, intervenire maggiormente sui media, partecipare anche a convegni che denigrano la scienza proprio per controbattere con affermazioni serie e motivate.

Franco FORESTA MARTIN
*Giornalista Corriere della Sera*

Apro il mio intervento cercando di rispondere alla domanda finora rimasta senza risposta su Copenaghen. Copenaghen, secondo me e faccio una previsione, si risolverà come tanti altri appuntamenti internazionali decisivi di questi ultimi anni, con un accordo politico-diplomatico per salvare la faccia. Non so se fisserà esattamente nuovi e vincolanti impegni per i prossimi anni e se si passerà da una riduzione media del 5% a una cifra più alta per il futuro, ma sicuramente darà l'impressione che i grandi della Terra, a partire da Obama, sono sensibili al problema del cambiamento climatico e che continuano in qualche modo, o con azioni volontarie o con impegni vincolanti, il percorso che è stato aperto (non dimentichiamolo) ben prima di Kyoto, a Rio de Janeiro nel 1992, quando fu firmata quella che è la madre del protocollo di Kyoto. Non dimentichiamoci che il tema della riduzione delle emissioni nasce a Rio nel 1992 con la firma della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici, firmata all'unanimità da tutti i paesi partecipanti, compresi gli Stati Uniti. Allora c'era Bush padre e la Convenzione conteneva una frase del tipo "dobbiamo far sì che le emissioni antropogeniche non vadano oltre quei limiti al di là dei quali si provocano dannose interferenze con il sistema climatico". Questa era, più o meno, la frase contenuta nella Convenzione Quadro.

Quindi Copenaghen sarà un accordo per salvare la faccia, ma visto che parliamo di Copenaghen e che ho ascoltato con molto interesse l'intervento del Sen. Possa, che è stato viceMinistro in un Governo Berlusconi e che ho seguito anche attraverso interviste, vorrei fargli una domanda specifica. Io, pur essendo verso la conclusione del mio ciclo professionale in questo giornale, perché ai limiti della pensione, lavoro al Corriere della Sera da 34 anni, ma ricordo (se non sbaglio) che nel secondo governo Berlusconi, raccolsi una intervista del Prof. Brunetta, che a quel tempo non era ancora Ministro, ma Consulente Economico di Berlusconi, che mi diede una notizia, sulla quale il mio caporedattore fece un titolo a piena pagina (una pagina interna chiaramente), tipo: "Abbiamo già preso contatto con le can-

cellerie europee per far si che l'Italia esca dal Protocollo di Kyoto". Questo era l'orientamento del secondo Governo Berlusconi, così mi dichiarò Brunetta, non smentito il giorno dopo. Quindi non è tanto vero che "pacta sunt servanda" e il Governo Berlusconi è passato attraverso una serie alternata di adesione sofferta al Protocollo di Kyoto e un forte desiderio di uscirne fuori. E tutto il comportamento di Ministri e Sottosegretari è stato dettato da questa altalena. E vorrei che, su questo punto, il Sen. Possa mi illuminasse, avendo precisi ricordi documentati appunto da interviste. Cioè come mai un giorno si decide di star dentro e un altro si pensa di uscirne fuori; forse ci vorrebbe una maggior coerenza?

Vorrei dire anche due parole sull'IPCC e sentire la vostra opinione di scienziati sull'IPCC, un organismo per me fondamentale. Io ho tentato diverse volte dalle pagine del mio giornale di far capire, senza riuscirvi, che l'IPCC non è un'Associazione privata di scienziati, che si sono autonominati detentori del sapere e dettano legge su quello che è lo stato del cambiamento climatico e l'interferenza antropogenica sul clima. No, l'IPCC è un organismo delle Nazioni Unite, che raccoglie scienziati di tantissimi paesi provenienti, per ciascun paese, da Università e Istituzioni pubbliche e private. Questo sembra, apparentemente, un criterio di reclutamento abbastanza democratico, che lascia spazio a più voci, a più indirizzi, e non si può dire un momento che è un organismo ideologico, tale che se qualcuno si alza e dice di voler aderire a questo Comitato per portare un suo contributo, questa persona poi può venir cooptata. E allora mi chiedo, perché coloro – e ora sono tanti – che hanno opinioni diverse rispetto all'IPCC continuano a fare (con una frase un po' sorpassata) gli extraparlamentari del clima, e se ne stanno riuniti in associazioni che non entrano nell'IPCC per far sentire la loro voce?

Ora che tipo di lavoro fa l'IPCC? Elabora in proprio teorie sui cambiamento climatici? Mi risulta che esso passa in rassegna gli articoli scientifici sull'argomento, pubblicati negli anni precedenti, e di questi ne fa una sintesi. Certamente qualunque sintesi può essere orientata in un senso o nell'altro, ma in pratica l'IPCC fa solo una rassegna di letteratura scientifica. Allora dobbiamo essere coerenti. Perché invece si afferma che l'IPCC è diventato improvvisamente un organismo che fa ideologia anziché scienza. Qui mi fermo perché vorrei avere le vostre risposte.

Bruno PAMPALONI
*Giornalista scientifico*

Sono Bruno Pampaloni del GR Parlamento. Poiché il Sen. Possa ha detto che l'Italia ha un solo rappresentante nell'IPCC, quindi credo comunque che sia un problema anche di quanto viene valutata la produzione di ricerca applicata nel nostro paese, certo è un problema di rapporto di forza ma è anche un problema del valore che viene dato alla ricerca nel nostro paese. Questa è una mia opinione e chiedo il conforto. Non è che al di la dei problemi della politica che ostacolerebbe in qualche maniera e porrebbe un freno alla ricerca, il problema è interno al sistema dell'Università? Non è vero che forse un sistema – almeno nelle lauree scientifiche – ultradecennale è controproducente in quanto all'estero si produce una ricerca in tempi molto più brevi e il rapporto fra aziende e quindi decisori, in qualche maniera, è molto più rapido e osmotico? Ci sono delle responsabilità delle Università in questo? Mi interesserebbe capire se questi sono problemi interni all'Università perché poi noi ci confrontiamo all'estero. Mi capita di viaggiare molto nei paesi del Medio Oriente e mi sono sentito molto provinciale perché vedo quanto questi paesi stanno investendo nella formazione dei loro giovani, stanno spedendo i loro giovani, che formeranno la loro classe intellettuale, nelle migliori Università estere riconosciute come leader in campo tecnologico (Stati Uniti, Germania, Gran Bretagna, Giappone, ecc). La ricerca vive di reciprocità, quanti sono gli studenti stranieri che vengono a formarsi in Italia perché secondo me è anche questo un punto. Io vi invito ad una riflessione, l'Arabia Saudita ha allocato lo scorso anno 20 miliardi di dollari alla ricerca, recentemente è stata inaugurata una Università vicino al Mar Rosso che ha messo sul piatto 2 miliardi e mezzo di dollari in attrezzature scientifiche. Questi, secondo me, sono alcuni dati che da un punto di vista geo-politico, hanno coinvolgimenti anche da un punto di vista di rapporti internazionali, di forza, di esclusione del nostro Paese rispetto a quello che accade nel mondo perché questo è il punto sul quale a me interessa riflettere.

# DISCUSSIONE SECONDA TAVOLA ROTONDA

**Ezio BUSSOLETTI**

Siamo d'accordo, con due puntualizzazioni. Da una parte il settore scientifico non riesce a comunicare bene e, senza dubbio, in Italia meno bene degli anglosassoni. Lo vediamo in maniera lampante dato che è molto più facile parlare di veline che non di problemi scientifici che possano interessare il pubblico. Dall'altra, seconda considerazione, rimane il fatto che il catastrofismo ovviamente paga e ribadiamo che se noi oggi vogliamo fare uscire una notizia su questo convegno, siamo già d'accordo con il Presidente Ricci, che per una notizia di questo tipo lui verrà sgozzato in pubblico davanti a questa sala alla fine della conferenza e quindi finalmente domani avremo, su un titolo a nove colonne, che a causa del riscaldamento climatico il Presidente Ricci si è immolato. E questo è l'unico modo per avere un messaggio scientifico.

Ora cerchiamo di riportare il discorso sulla domando relativa a Copenaghen: dove stiamo andando? Andiamo da qualche parte?

**Guido POSSA**

Le domande che ha posto il Dr. Foresta Martin sono due in sostanza: 1) ma quale atteggiamento avete voi del centro destra del Governo Berlusconi nei confronti del Protocollo di Kyoto? In effetti Brunetta non era allora esponente del Governo e quindi non aveva nemmeno il titolo di portavoce del Governo, aveva solo delle sue opinioni. Io so solamente che ci siamo trovati con un accordo fatto, stipulato da Edo Ronchi e riconfermato all'inizio del 2001 dal Ministro Bordon. Dopo-

diché nel 2002 si trattava di ratificarlo e lì effettivamente vi è stato il dubbio se ratificare o non ratificare il Protocollo di Kyoto, ma ci fu anche una pressione fortissima da parte degli altri paesi europei perché fosse ratificato e il Ministro Matteoli lo portò in Parlamento. Quindi fu una decisione non accolta con estremo favore però in qualche modo, per motivi di vario tipo, presa in una certa direzione quando ormai era stata molto configurata.

La seconda domanda riguarda l'IPCC. È una domanda molto difficile, tanto per cominciare nell'Intergovernmental Panel on Climate Change, l'Italia ha un solo rappresentante ed è di nomina del Ministro dell'Ambiente. Questo singolarissimo Istituto è un comparto scientifico di grande complessità. Perché riguarda gli aspetti fisici e socio-economici di un problema di prognosi pazzesca dal punto di vista matematico al 2100, che è stato affidato ad un organo che, e non lo dico solo io, non può funzionare in modo scientifico; la scienza non procede così, la scienza procede in modo diverso. Purtroppo qui c'è da fare una considerazione: la climatologia è una scienza recentissima, estremamente difficile, non praticata se non in 4-5 posti in tutto il mondo perché richiede mezzi strumentali così complessi come i supercalcolatori che sono ancora insufficienti, richiede l'assembramento di decine e decine di discipline scientifiche, questa è la debolezza. Ebbene l'organizzazione mondiale meteorologica dell'ONU ha istituito questo Istituto stranissimo ed autoreferenziale dotato di un compito che doveva, a mio avviso, rifiutare perché è un compito impossibile da eseguire.

**Stefano TIBALDI**

Io mi chiamo Stefano Tibaldi e sono il Direttore Generale dell'ARPA Emilia-Romagna e prima facevo il climatologo. Ho una domanda per il Sen. Possa e una per Carlo Bernardini.

Per il Sen. Possa la domanda è: come mai i Governi di entrambi i colori che si sono alternati negli ultimi 20 anni non hanno mai nemmeno lontanamente dotato la ricerca italiana di una capacità di modellistica climatica all'altezza di quella degli altri Paesi paragonabili (Germania, Francia, Gran Bretagna) e come mai il Governo Berlusconi ha svuotato e depauperato le capacità operative del Ministero dell'Ambiente? Forse questa ignoranza scientifica nazionale e questa

inadeguatezza ministeriale possono essere alla base delle indecisioni politiche pubbliche del ruolo dell'Italia e nell'UE e nell'IPCC, e cioè il Protocollo di Kyoto e tutto il resto?

Per il Prof. Bernardini la seconda domanda: come mai l'accademia italiana in generale e la comunità dei fisici in particolare ha sempre considerato le scienze dell'atmosfera e del clima come discipline del tutto secondarie e marginali da mantenere sempre al di sotto della massa critica, da utilizzare come parcheggio dei fisici di altre discipline in attesa di altre collocazioni?

**Guido POSSA**

La domanda è molto interessante e do' due termini di risposta. Primo: durante il periodo in cui sono stato Vice Ministro con delega alla ricerca, abbiamo deciso la costituzione di un Centro Mediterraneo per lo studio del clima e in questo centro c'è stata una certa sensibilità. Poi in generale c'è da dire che da noi la torta è quella che è, non è che ci siano possibilità di aggiungere quattrini. Ma la distribuzione della torta è abbastanza individuata fra i singoli grandi Enti di Ricerca e purtroppo è molto difficile poter riuscire a dirottare risorse da discipline che hanno ormai raggiunto un grado di attività notevole rispetto a discipline come questa che invece avrebbe bisogno di grossi finanziamenti. Gli altri l'hanno fatto perché avevano le risorse, noi siamo un paese di serie C.

**Ezio BUSSOLETTI**

A me personalmente va benissimo che dibattiamo sui problemi della ricerca ma non è questo, a mio avviso, il momento. Possiamo rispondere alla seconda domanda in altra sede, ora dedichiamoci soltanto al tema del nostro convegno.

**Alfonso SUTERA**

Io ho un altro problema, oltre al clima che è diventato questo disastro di cui tutti discutono, anche le università sono diventate un disastro, è uno sport nazionale. Il vero problema è che nel vostro mestiere

voi giornalisti non invitate gli studenti a frequentare le facoltà scientifiche e si divulga un modello sociale in cui la scienza è irrilevante. Si continua a parlare delle università ma poi non riusciamo nemmeno a reclutare gli italiani per venire a fare scienza, figuriamoci gli stranieri! E non perché gli italiani siano inferiori, il mio Dipartimento di Fisica è il Dipartimento di Fermi, ma come italiani abbiamo un difetto sociale profondo per cui le carriere scientifiche non sono considerate convenienti, sia dal punto di vista etico, sia dal punto di vista monetario. Questo è il riflesso di un paese che ha delle crisi di vocazione profonde sulla scienza perché i modelli che vengono offerti non sono compatibili con la scienza. Voi giornalisti parlate di campi trattando dell'IPCC, di campi avversi, ma quali campi avversi? La scienza non è fatta così, che uno la pensa in una maniera e un altro la pensa in un'altra maniera. I tempi della scienza non sono uguali ai tempi della politica o ai tempi dei giornali. Newton ha scoperto le leggi fondamentali e ancora oggi noi diciamo ai nostri studenti F = MA, fino ad adesso, no, fino a domani!

**Bruno PAMPALONI**

Ma questo non vieta che scienza e società si possano parlare.

**Carlo STAGNARO**

Vorrei fare solo una chiosa a quello che ha detto Franco Foresta Martin sull'IPCC. Se l'IPCC fosse quello che dice lui non sarebbe l'IPCC ma sarebbe la Word Meteorologic Society o altro.

L'IPCC è l'IPCC in quanto – e cito dal suo sito scusandomi per l'italiano approssimativo – l'IPCC è un corpo intergovernativo aperto a tutti i paesi membri delle Nazioni Unite e della Word Metheorologic Society. I governi sono coinvolti nei lavori dell'IPCC in quanto possono partecipare al processo di revisione e alle sessioni plenarie dell'IPCC dove vengono prese tutte le principali decisioni riguardo al programma di lavoro dell'IPCC e dove vengono accettati, adottati ed approvati i rapporti. Due anni fa (2007) la Camera dei Lord, nella Commissione ristretta sugli affari economici, ha condotto un'indagine sulle attività IPCC e leggo il paragrafo 161 delle conclusioni: "… non

vediamo alcuna giustificazione per la procedura dell'IPCC che ci colpisce in quanto apre la strada perché la scienza del clima e le economie del clima siano determinate, almeno in parte, dai requisiti politici anziché dall'evidenza."

**Carlo BERNARDINI**

Volevo notare che il pezzo più potente dei media mi sembra non ci sia, noi siamo messi a terra dalla televisione che sta distruggendo ogni forma di conoscenza scientifica che esisteva in questo paese. Questa trasmissione Voyager è criminale, diciamolo una volta per tutte, sia quando fa vedere il Rubbia di cui parlava Chicco Testa prima, sia quando fa vedere i Maya. Le casalinghe votano e non vedono nè Internet nè i giornali quotidiani scritti. Io vorrei proporre al Presidente Ricci, che farà le conclusioni, che Galileo si muova con un documento e lo dico adesso semplicemente perché ci sono i nostri amici giornalisti e quindi ci raccomandiamo alla loro bontà e lungimiranza se ci aiutano a mandarlo avanti.

**Elisabetta DURANTE**

Professore, mi permetta di dire che dovete imparare a dialogare direttamente, non sempre e per forza per interposta persona, questa è oggi la sfida della scienza.

**Carlo BERNARDINI**

Il documento lo facciamo noi vi chiediamo solo di farlo uscire

**Giuseppe QUARTIERI**

Io vorrei rispondere a Sutera. Ho insegnato e insegno in una piccola Università di Lugano e come tale rappresento in Europa l'Università per l'aspetto qualità e ambiente, ambiente nel campo universitario. Dal 1990 c'è un confronto sulla risoluzione di Bologna per il miglioramento della qualità nelle università con un processo estremamente più complesso delle cose dette da Sutera. È un processo in cui,

purtroppo, gli italiani mancano, ce ne sono pochi, anzi pochissimi. Pochi giorni fà si è discusso del sistema di ranking, per cui le università italiane arrivano 150me in tutta l'Europa nel campo della qualità. Il prossimo convegno si terrà a Copenaghen. Nel passato convegno a Budapest come nel precedente convegno a Roma di 2 anni fà sulla qualità delle università, si è sempre contestato tutto il sistema di ranking delle università internazionali in base al quale gli americani sono sempre i migliori, sono sempre tutti al primo posto, e poi arriva il Regno Unito. C'è un grande movimento che funziona a livello europeo di cui l'Italia fa parte, ma non gioca un ruolo preponderante.

**Uberto CRESCENTI**

Vorrei portare solo un piccolo contributo a quello che hanno detto le nostre gentili giornaliste quando hanno detto praticamente che la scienza non sa comunicare. È vero, io però di persona posso documentare che c'è anche una impenetrabilità da parte dei mass-media ad ascoltare la scienza. Come presidente della società geologica italiana per 6 anni, rettore della D'Annunzio per 12 anni, mi sono più volte rivolto alla stampa per poter far presente alcuni aspetti scientifici. Un esempio e concludo: Sartori a ferragosto ha sempre l'abitudine di fare un articolo catastrofista sul clima, e l'anno scorso io ho scritto, ho parlato, ho mandato e-mail al direttore Mieli del Corriere della Sera pregandolo di far presente un mio punto di vista contro questo modo di presentare il problema del clima e invitavo il Corriere della sera ad andare al Politecnico di Milano ad ascoltare la relazione di Fred Singer che, in nome dell'NIPCC, presentava un documento di 860 pagine tradotto in Italia con un sunto che ha avuto l'avallo di 31.000 scienziati di tutto il mondo. 31mila, non 1, che la pensano in modo diverso all'IPCC. Invitavo ad andare a presenziare per poi raccontarlo al pubblico, ma il Corriere della Sera è stato assente e non ha mai parlato dell'NIPCC. Questo vuol dire impenetrabilità anche da parte della stampa nei confronti della scienza.

**Fabio TERRIBILE**

Sono Professore ordinario al Federico II di Napoli. Tre flash contro i massimalismi: diciamo che io credo che nel campo della ricerca tanti ricercatori abbiano buon senso, qui non è questione di catastrofismo o non catastrofismo, certe catastrofi ci sono, le colate di fango ci sono, anche se se ne parla solo quando ci sono i morti. Però noi perdiamo delle cose importanti, ci sono delle perdite definitive di fertilità, cose che i nostri figli non avranno.

Circa il sequestro del carbonio è vero che le foreste possono dare moltissimo in questo senso e io credo che il Sen. Possa debba prendere atto di questo. Solo l'anno scorso è stato pubblicato sulla più importante rivista della Scienza del Suolo un lavoro sulla loro importanza come la maggiore fonte di sequestro di carbonio. Quindi diciamo che si tratta di avere buon senso e credo che il mondo della ricerca possa dare molto indipendentemente da qualsiasi ispirazione ideologica. Secondo me la discussione è troppo concentrata solamente sugli aspetti climatici, qui dobbiamo guardare al sistema: sole, piante, idrogeologia; dobbiamo avere un approccio più integrato. Anche nell'IPCC si parla solamente di due parametri ed è chiaro che si trascura tutta una serie di cose che noi possiamo rivendicare importantissime al fine del sequestro del carbonio.

Però qualcuno deve venirci incontro, perché stiamo dalla mattina alla sera a sfornare, tutti noi ricercatori, progetti per sopravvivere. Ma qualcuno dall'altra parte, prima di interrogarsi o parlare con tutti veda almeno se questi hanno i requisiti. Anche qui in questo convegno sono state invitate persone che, in qualche caso, non hanno neanche un articolo su riviste internazionali per poter parlare di certi argomenti. Questo mi sembra opportuno dirlo e voi avete gli strumenti per valutarci.

**Elisabetta DURANTE**

Il ragionamento del mio primo intervento è stato interrotto, perché si voleva arrivare a una previsione su Copenaghen. Per quel che possano interessare e valere queste predizioni, non vado oltre queste tre parole che bastano a esprimere il mio pensiero su Copenaghen: "Poli-

tically correct, but insignificant". Invece, concludendo rapidamente il ragionamento di prima, varrebbe la pena investire in una comunicazione forte ed efficace, che aiuti una stampa scientificamente poco attrezzata. Per quello che riguarda l'IPCC, la sua potenza di fuoco mediatico è innegabile: arrivano quotidianamente comunicati puntuali e professionali, alcuni dei quali molto interessanti. Manca, invece, la 'controparte' e questa controparte evidentemente si deve organizzare, deve trovare la voce. Una voce che non necessariamente deve raggiungere la medesima potenza di fuoco - anche perché bombardare le redazioni non è produttivo - ma certo deve essere capace di costruire messaggi chiari e forti.

**Franco FORESTA MARTIN**

Volevo dare una piccola testimonianza. Poco dopo l'uscita del terzo rapporto dell'IPCC vengo convocato come giornalista da un ricercatore dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia che si chiama Giuseppe Etiope, il quale stava facendo, ha fatto e ha svolto ricerche sulla valutazione dei gas serra di origine geologica. Mi dice che erano stati completamente ignorati nel terzo rapporto pur essendo molto rilevanti. Uscito il suo lavoro su due riviste internazionali, io le riprendo, Etiope è convocato dall'IPCC, il quarto rapporto include la sua correzione ai geogas che hanno effetto serra. Allora così bisogna fare, bisogna entrarci dentro e far sentire la vostra voce dall'interno, questo è il mio suggerimento. La voce si fa sentire dal parlamento non da fuori. E siccome l'IPCC l'ha costituito un organismo delle Nazioni Unite, non è una banda di malfattori.

# RELAZIONE DI CHIUSURA

Renato Angelo RICCI

Vorrei innanzi tutto esprimere una certa soddisfazione nel sottolineare che lo scopo che ci eravamo prefissi nell'organizzare questo Convegno è stato raggiunto. Non ci eravamo proposti, in effetti, di sostituirci a organismi ufficiali o a Istituzioni e rappresentanze specifiche di esperti e ricercatori impegnati professionalmente sui temi che qui abbiamo voluto affrontare. Ma abbiamo volute discutere, confrontare tesi e analisi diverse invitando autorevoli rappresentanti di tali comunità senza pregiudizio alcuno. In effetti le loro relazioni, i dati riportati e discussi, i confronti e le varie interpretazioni testimoniano la professionalità e l'onestà intellettuale dei vari interventi.

Ad essi è stata stata data la possibilità, come era richiesto, di enunciare lo stato delle loro conoscenze, di definire al meglio i dati osservazionali di cui erano portatori e di stabilire anche in un certo senso il rapporto fra questi dati e le possibili interpretazioni che ne derivano e quale sia il contributo che queste conoscenze possano dare eventualmente a decisioni politiche che riguardano il sistema socio economico.

E proprio per questa ragione il conseguente dibattito, come ad esempio durante la tavola rotonda, di ieri, è stato abbastanza vivace. Il che è fisiologico e più che normale e vitale in un serio dibattito scientifico ed è ciò che, a nostro parere, è mancato invece nelle istanze politico-istituzionali citate comunque e sempre dal circuito mass-mediatico. Qui il confronto dialettico c'è stato così come la consapevolezza che spesso le decisioni politiche prescindono dalle analisi tecniche approfondite e discusse.

Mi pare sia questo il senso che deriva dalle preoccupazioni espresse in questa sede sia dal Dr. Clini in apertura, sia da quanto detto dal

Sen. Possa, sia da quanto ci è stato comunicato da altri rappresentanti del Governo o dell'informazione, e cioè che "*i giochi sono fatti*". Ora accettare questo messaggio da parte di un consesso che è soprattutto scientifico non è certo nei nostri intenti e perciò intendiamo ribadire, senza la pretesa di sostituirci ad altri consessi che possono anche essere considerati più autorevoli, che questo è certamente uno dei più liberi e di questa libertà intende fare una questione di principio. Libera voce vuol dire che non si conta con i voti chi abbia ragione o chi abbia torto, perché qui nessuno ha avuto ragione o torto, abbiamo avuto un confronto in cui anche vivacemente abbiamo analizzato cose che riteniamo che siano stabilite e cose che non lo sono ma tutti siamo concordi nel ritenere che la scienza del clima e i risultati che questa scienza può portare e le osservazioni che sono state fatte anche da consessi che sono preposti allo scopo, sono lungi dall'essere definite in modo tale da poterne trarre delle conclusioni che siano incontrovertibili verità scientifiche. Purtroppo ci è stato detto e ripetuto, che ciò malgrado, le decisioni politiche ci sono e vengono prese comunque.

In altri termini, come qualcuno dice, che: "Rien ne va plus".

Sembra lecito quindi porsi un problema che non è solo di oggi, e mi rivolgo, in particolare, a Foresta Martin: a parte la questione di essere sufficientemente autorevoli per farci ascoltare come accade che spesso e volentieri questa voce rimane "*vox clamans in deserto*"?.

Chi le parla, come Lei sa perché ci conosciamo da anni, è stato Presidente della Società Italiana di Fisica per 17 anni ed ha quindi rappresentato, credo autorevolmente visto che sono stato rieletto per ben 7 volte, dai fisici italiani, buona e qualificata parte della comunità scientifica del nostro Paese. Tra le varie iniziative Lei ricorderà il Convegno a Roma su "**Energia, Sviluppo e Ambiente**" (per inciso questa terminologia fu coniata per la prima volta in quella sede), un mese prima della famosa Conferenza Nazionale sull'Energia tenutasi all'EUR, e qualche mese prima del famoso o meglio famigerato referendum surrettiziamente associato ad una posizione antinucleare del nostro paese.

Tale convegno si caratterizzò, oltre per l'alto contenuto delle relazioni tecnico-scientifiche anche per la formulazione di una Dichiarazione firmata dai membri di un Panel costituito, oltre che dal sottoscritto come Presidente della SIF, da Edoardo Amaldi, Fernando Amman, Nicola Cabibbo, Carlo Castagnoli, Donato Palumbo, Giorgio

Salvini e, tanto per memoria, Carlo Rubbia. Tale dichiarazione, che richiamava la necessità di non recedere dalla produzione e dall'utilizzo dell'energia elettronucleare, una delle fonti primarie più importanti scoperte dall'umanità, fu poi sottoscritta da circa 900 fisici italiani, il che dimostra, se ve ne fosse bisogno, la rappresentatività, oltre all'autorevolezza, di una significativa componente della Scienza del nostro Paese. Credo che questo sia stato uno dei maggiori successi "virtuali" della SIF al riguardo. Virtuali, dico, perché, come qualcuno ha già sottolineato, per quel che riguarda convegni di questo tipo ci si trova di fronte alla fine a decisioni prestabilite e a fatti compiuti. E non è più un problema di come venga trasmessa l'informazione e quali siano le responsabilità della scienza al riguardo, visto che la politica o almeno la politica culturalmente dominante (che non è detto coincida con le maggioranze di governo) con l'appoggio dei mass-media e la compiacenza di istanze corporativizzate si muove e decide indipendentemente dall'attenzione concessa ad un serio dibattito tecnico-scientifico.

Nella fattispecie, e ce lo ha detto francamente Corrado Clini, la Conferenza di Copenaghen discuterà sulle misure da prendere, ha ragione Chicco Testa, per limitare l'aumento di temperatura a 2 gradi dando per scontato che ciò sia dovuto essenzialmente a cause antropiche e che si possa fare. Io che sono un pochino scettico, direi magari più pragmatico, sul riscaldamento globale di origine antropica ma che però apprezzo e rispetto quanto qui è stato riferito in materia da ricercatori seri e qualificati, mi chiedo tuttavia se, per esempio un confronto come quello che abbiamo avuto qui possa avvenire altrove oppure se tutto questo non serva a nulla.

Noi però cerchiamo di essere un poco più ottimisti, e cioè speriamo di poter fare ancora qualche cosa perché anche su Copenaghen, sia prima che durante che dopo avremmo anche il diritto di dire la nostra almeno al nostro Parlamento, al nostro Governo, ai nostri politici di qualunque colore essi siano – e qui il problema non riguarda una specifica coloratura politica – e diremo di stare attenti e, se possibile, non ricommettere l'errore di sottoscrivere patti affrettati, perché se i patti sono scellerati si denunciano, ciò che non si è fatto per il Protocollo di Kyoto. Si potrà dire, nel mio caso, che posso permettermi di affermarlo, non avendo nessuno o niente cui rispondere. Ma ciò è vero perché sono arrivato alla veneranda età della pensione senza dover

render conto di prebende o poltrone di comodo e pagando di persona la possibilità di dire liberamente sempre quello che ho pensato e pensavo, e credo che qui ci siano molti che possono testimoniarlo, e possono con me affermarlo. Qui c'è gente che per anni ha svolto il suo lavoro, ha fatto anche la guardia al bidone in questo paese per quel che riguarda la ricerca, non è andata a portare il suo cervello in fuga anche se è stato invitato e ha collaborato ad attività all'estero, ma è rimasto qui ad organizzare la ricerca in Italia e a contribuire alla sua promozione e al suo sviluppo.

Vorrei rispondere anche alla domanda "Ma in fondo anche nel mondo scientifico c'è stata qualche sbavatura, per così dire". Certo che c'è stata, ne so qualcosa come ex Presidente della Società Italiana di Fisica. Non sempre si potevano mettere d'accordo i vari settori e le varie componenti disciplinari della Fisica, in particolare, e, più in generale della ricerca scientifica quando vi siano da distribuire le risorse (nel nostro Paese generalmente magre) e può essere successo che certi aspetti e settori siano stati sottovalutati, se non trascurati, visto che qui oggi parliamo di ricerche nel campo delle scienze climatiche. Io sono un fisico nucleare e cioè un fisico dei nuclei e la fisica dei nuclei in Italia all'interno dell'INFN, ad esempio, ha atteso 10 anni per uscire dalla posizione ancillare nei riguardi della fisica delle particelle. Però questo non significa che la fisica italiana nei punti di eccellenza dovesse in qualche modo essere penalizzata perché si dovevano promuovere altre discipline.

Ma questo è stato fatto, Amaldi per esempio lo ha fatto quando era presidente dell'INFN, estendendo le possibilità della ricerca; ad Amaldi si deve anche il fatto che in Italia sia stata promossa non soltanto la fisica delle particelle e la fisica nucleare ma anche la fisica dello stato solido ed altri campi di ricerca. Probabilmente occorreva anche avere l'occhio giusto per capire che uno degli aspetti fondamentali della ricerca sarebbe stata la climatologia. Puppi lo aveva capito ma anche Amaldi in un certo senso e anche qualcun altro nell'ambito della Società Italiana di Fisica, (basta ricordare lo sviluppo dato alla Fisica dell'atmosfera) malgrado forse una certa diffusa sottovalutazione. Si tratta però in tal caso di errori fisiologici nell'ambito di un contesto culturale quale quello delle comunità scientifiche. Ma ci sono errori che sono legati a responsabilità maggiori e queste responsabilità tocca-

no anche l'ambito scientifico quando si interpreta male il rapporto di interazione con il mondo politico e con il mondo dell'informazione, ma sono soprattuto la classe politica e l'informazione corrente, naturalmente con le debite eccezioni, ad aver non solo sottovalutato ma addirittura trascurato l'intervento della scienza su certi punti caldi di particolare rilevanza.

Parlo con cognizione di causa e mi limiterò a fare due esempi uno del passato e l'altro del presente. Forse perché "*repetita iuvant*" o meglio (peggio) all'*errare* si sovrappone il *perseverare.* Il primo riguarda la campagma mass-mediatica, con risvolti e sostegni politici e ideologici, in occasione del famoso (*famigerato)* referendum del 1987. In particolare la Televisione pubblica e privata si dette molto da fare e anch'io fui ingaggiato in un confronto *due contro due* (due pronucleare, l'ing.Zorzoli, allora dell'ENEL e il sottoscritto, Presidente della Società Italiana di Fisica, e due anti-nucleari Rodotà e l'ineffabile Gianni Mattioli circondato dall'aureola di cherubino anti-Amaldiano). È questo un classico della tecnica dei dibattiti televisivi ad *usum delphini*, quello di organizzare un confronto-scontro tra Orazi e Curiazi, tanti da una parte tanti dall'altra, come se, per esempio, la teoria della gravitazione universale si potesse vendere *un tanto al chilo*. Solo che *il trucco c'è e si vede. A fare da sottofondo visivo e spettacolare* si proietta il film "*La Sindrome Cinese"* e tu non hai neanche il tempo di contestare le *bufale e le provocazioni* ivi presenti oltre a replicare agli assiomi privi di fondamento dei tuoi competitori. E il gioco, ovverossia l'informazione che diventa disinformazione e la dialettica che diventa "*Io si e tu no",* è fatto.

Qualcuno qui, e Chicco Testa me lo consentirà, conosce la storia e se ha cambiato oggi idea, sia benvenuto. Così come lasciamo il diritto anche a Carlo Rubbia (siamo democratici e rispettosi delle opinioni altrui) di modificare il suo pensiero e di sostenere oggi che l'energia nucleare non conviene o che vi sono altre prospettive (vedremo) quando ieri, allora nel 1987, firmò insieme con me, Amaldi, Salvini, Castagnoli, Cabibbo, Villi e mille fisici italiani l'appello al Governo italiano perché non si abbandonasse la produzione di energia elettronucleare nel nostro Paese.

Il secondo esempio è recentissimo (*"Nihil sub sole novi")* ed è ovviamente legato alla *novità* di un Governo Italiano che mette in pro-

gramma e decide di far ripartire l'opzione nucleare in Italia con annessi e connessi (e questa volta l'industria non solo è d'accordo ma si muove di conseguenza). È coadiuvante al riguardo il problema dei cambiamenti climatici e il fatto che l'energia nucleare è esente, oltre che da problemi d'inquinamento, da emissioni di gas serra, anche se, a mio parere, il problema principale per il nostro Paese è la dipendenza energetica e il costo dell'energia elettrica. L'energia nucleare non sarà la panacea per tutti i mali ma dovrebbe ormai essere chiaro che non si tratta più di opzione ma di necessità. Pur restando anche al di qua delle prospettive implicite in una visione strategica a lungo termine, come illustrato oggi da Cesare Marchetti, questa necessità è ormai una esplicita chiave di lettura nell'economia globale. E tuttavia pare che la guerra degli "ultimi giapponesi" (questa volta sono loro) sia lungi dall'essere finita. E ripartono le grida di allarme contro il nucleare e il movimento anti-nuclearista, con la compiacenza purtroppo di ambienti politici che non riescono a togliersi di dosso questa battaglia di retroguardia, si è nuovamente scatenato. Ed ecco riapparire la versione "municipalizzata" dell'antinuclearismo politico-ideologico, con i Comuni allineati nella schiera della "*denuclearizzazione*". A Padova, città di grandi tradizioni universitarie e scientifiche, orgogliosa delle sue installazioni in città e in provincia e dei suoi laboratori di fisica nucleare e di attrezzature mediche e industriali all'avanguardia nell'applicazione delle tecnologie nucleari, il Consiglio Comunale ha votato a maggioranza una delibera che sancisce la denuclearizzazione della città dove ha insegnato Galileo. Questo fa eco alla campagna rinnovata dai Verdi, da Lega Ambiente e le sinistre che si accodano per aumentare la cassa di risonanza mass-mediatica (a proposito d'informazione).

La storia padovana è da raccontare perché all'indomani di Chernobyl, a seguito della valanga di delibere comunali, provinciali, regionali e chi più ne ha più ne metta, per la "DENUCLEARIZZAZIONE" del proprio territorio, come sapete vi fu una gara alla demonizzazione del termine "nucleare" culminante, tanto per dimostrare come l'idiozia possa albergare in tutti gli ambienti, nella famosa cancellazione dell'aggettivo *nucleare* nell'acronimo NMR (*Nuclear Magnetic Resonance)* nelle citazioni mediche con grande compiacimento, immagino per la nuova scoperta della non esistenza, per delibera, dei nuclei

atomici di cui, dovrebbe essere noto, è fatto il 99,9% della materia osservabile, compresa quella vivente.

Di queste elementari nozioni oltre che della portata scandalosa di una delibera ridicola in una città come Padova dove il termine nucleare significa attività e cultura, mi sono fatto portavoce in una lettera aperta al Sindaco e al Rettore Magnifico dell'Università di Padova. Attendo ancora una risposta.

Va comunque evidenziato, per la storia più che per la cronaca, che il Consiglio Comunale di Legnaro, dove risiedono, con soddisfazione ed orgoglio delle cittadinanze e delle amministrazioni locali, i *Laboratori Nazionali di Fisica Nuleare dell'INFN* (che io ho avuto l'onore di dirigere dal 1968 al 1979), pensoso ovviamente dell'evidente contraddizione al tempo delle storiche denuclearizzazioni degli ultimi anni 80, trovò l'escamotage geniale chiamando il Comune "*Libero da armi nucleari*". Il genio italico non si smentisce mai!

Qui ci sono rappresentanti del Governo e del Parlamento nonché dell'informazione. Che ne pensano? È possibile fare in modo di cancellare questo obbrobrio? Perché qui siamo al grottesco; tutti sono liberi di dire e di esprimere che sono contrari alle centrali nucleari o all'energia nucleare, ma qui si fa ancora una operazione di oscurantismo culturale e siccome il pubblico queste cose le riceve e le subisce, non è lecito pensare che le persone accorte possano riderci sopra; qui non c'è da ridere perché la cosa non è neanche più ridicola, è vero che la madre degli imbecilli è sempre incinta, ma è altrettanto vero che qui si sta strumentalizzando qualche cosa che va al di la di un ammissibile confronto di carattere scientifico.

Con questo vorrei anche dire che noi possiamo fare qualche cosa, lo faremo come propone Carlo Bernardini. Vedremo di esprimere in un documento la nostra posizione.

Un ultimo esempio: abbiamo assistito recentemente ad un fatto specifico di questa disinformazione, in una trasmissione di Report (dicasi Signora Gabanelli) in cui si è parlato dell'energia nucleare in un modo che anche un bambino delle scuole elementari si vergognerebbe. Come Galileo 2001 (in contemporanea con l'AIN) abbiamo mandato una puntualizzazione con tutte le risposte specifiche alle menzogne che sono state dette in quella trasmissione, abbiamo protestato presso la Commissione di vigilanza del Parlamento, presso il Consi-

glio di Amministrazione della RAI. Chi ci ha risposto? Una persona del Consiglio di Amministrazione. L'abbiamo mandata anche ai giornali. Chi ha pubblicato questo? Nessuno. Allora qui il problema non è più cosa facciamo noi per informare; il problema è di come l'informazione accetta o meno quello che noi siamo in grado e abbiamo il diritto di dire. Noi rivendichiamo questo diritto ad una informazione massmediadica più corretta e rispettosa nel momento in cui ci assumiamo il dovere di essere più puntuali nel confronto scientifico dando la parola a coloro che professionalmente sono impegnati nelle ricerche di cui stiamo parlando ed avendo rispetto per i risultati che questo comporta ammettendo però nel dibattito anche la controversia perché la controversia è un fatto sacro in ogni confronto scientifico.

Vorrei citare a questo riguardo le parole di uno scienziato e docente di grande valore e merito, Mario Ageno uno di fondatori della Biofisica in Italia, nel suo libro: "La Biofisica": "La scienza procede dentro un contesto fatto di scoperte e di errori, la quasi totalità delle *filosofie di singoli è semplicemente priva di senso. Ogni scienziato è influenzato dalle sue idee preconcette, dalle sue ideologie, dalla sua situazione familiare, da quella morale, religiosa, politica, sociale, economica, dell'ambiente in cui vive. Ma tutto ciò rimane nella sfera dell'opinione: la Scienza, che lentamente cristallizza separandosi da tale sfera circostante, non porta mai con sé questa zavorra. Ciò che rimane, rimane solo perché s'inquadra nella generale coerenza della costruzione scientifica e perché contribuisce al potere predittivo e operativo che la conoscenza assicura. Tutto il resto sparisce*". È proprio perché questo è il modo di fare scienza e di portare conoscenza che il rispetto e la correttezza dell'informazione dovrebbero essere doveroso.

Chiudo con un'ultima battuta: quando si parla del rapporto fra scienza, politica e informazione tenete presente che ciò che conta alla fine è la vertà dei fatti anche se spesso sono le parole a confondere le idee. Restano le conoscenze accertate, la zavorra si perde, meglio se prima possibile anche se nella complessità attuale degli strumenti d'informazione, ciò sembra difficile. Non so se nella scienza del Clima e nelle questioni energetiche io personalmente avrò il privilegio, data l'età, di assistere all'affermarsi di queste verità. Lo auguro a tutti voi.

E con ciò dichiaro chiuso il Convegno.

Grazie a tutti.

# DOCUMENTO DI SINTESI
## a seguito del convegno: "CLIMA, ENERGIA, SOCIETÀ" (Roma, 13-14 ottobre 2009))

L'Associazione Galileo 2001 per la libertà e la dignità della scienza, a seguito del Convegno "Clima, Energia, Società" da essa promosso e tenutosi a Roma, presso il CNR, il 13 e 14 ottobre 2009, ritiene di dover formulare le seguenti osservazioni e valutazioni, anche in relazione alle possibili decisioni che verranno prese in sede politica sia a livello nazionale che internazionale, con particolare riferimento ai prossimi appuntamenti quali la "United Nations Climate Change Conference", promossa dalle Nazioni Unite e che si terrà nel prossimo dicembre, a Copenhaghen:

1. il Convegno aveva innanzitutto lo scopo di portare un contributo, il più oggettivo possibile, alla comprensione di una materia assai complessa e problematica che necessita di un serio e corretto dibattito scientifico prima ancora che politico e ideologico.
2. durante il Convegno sono state presentate relazioni di alto significato scientifico e sono state poste a confronto conoscenze, valutazioni e interpretazioni relative ai vari aspetti in cui si configurano non solo la questione climatica ma anche le correlazioni e le conseguenze specifiche in materia di sviluppo economico e sociale e di approvvigionamento energetico.
3. le varie presentazioni, in particolare sulle modalità di relazione e di evoluzione dei sistemi atmosfera-oceani-biosfera, sull'importanza dell'evoluzione dei ghiacciai e della copertura nuvolosa, oltre che dei contributi di aerosol e di altri effetti oltre a quelli dei gas a effetto serra, hanno posto in termini più incisivi il problema di una comprensione globale sulla natura e sulle cause, naturali e antropiche, delle possibili variazioni termiche della superficie del pianeta.

4. le valutazioni delle cause dominanti delle variazioni climatiche, in particolare delle cause di origine antropica riferite essenzialmente alla crescita continua delle emissioni di biossido di carbonio($CO_2$) durante l'era industriale, insieme con le possibili proiezioni modellistiche, ancora in fase di evoluzione e miglioramento tecnico, sono state oggetto di vivace dibattito sia sugli aspetti qualitativi che quantitativi.
5. sono chiaramente emerse le differenze d'interpretazione sulla rilevanza e l'evoluzione delle variazioni climatiche e, in particolare sugli impatti potenziali derivanti da tali fenomeni e sulla eventuale necessità di mitigarne gli effetti negativi non sottovalutando quelli, anch'essi possibili, positivi. Ciò anche in relazione alla necessità o meno di interventi mitigatori, di misure di adattabilità, di nuove strategie energetiche e problemi di carattere sociale sanitario.
6. si è evidenziato che da una parte esiste un problema di consenso generale che rende difficili valutazioni univoche anche se sul fronte della rilevazione sperimentale e delle possibili estrapolazioni, sia pure parziali, si stanno facendo notevoli progressi, dall'altra, la scienza del clima, ancora lontana dalla sua piena maturità, necessita di una particolare attenzione che non deve essere intesa come un servizio reso a posizioni d'interesse politico o ideologico ma come messa a disposizione di mezzi e strumenti adeguati per una ricerca continua ed affidabile, senza presunzioni e pregiudizi di sorta. In questo contesto le ragioni e le richieste perché nel nostro paese tali attività di ricerca possano organizzarsi ed esplicarsi con strutture, mezzi e personale adeguati sono più che mai giustificate e richiedono interventi mirati ed efficaci.
7. un corollario essenziale è quello di una politica avveduta e responsabile che si richiami alle conoscenze scientifiche più aggiornate basate su dati e osservazioni affidabili e non soggette a vincoli politici o a pregiudizi ideologici che possono condurre a valutazioni o decisioni affrettate e non compatibili con una corretta e ben intesa valutazione del rapporto costi/benefici, che costituisce una ragionevole guida per un sano equilibrio tra la questione ambientale e il necessario sviluppo socio economico.
8. di non secondaria importanza appare la questione di un'informazione non solo esauriente e completa ma scevra da inutili ed allar-

manti catastrofismi che rendono la percezione di problemi di tale importanza da parte dell'opinione pubblica, non solo e non tanto deformata ma priva di consapevolezza razionale e incapace di portare un contributo ragionevole alle scelte dei propri rappresentanti politici, requisito fondamentale di ogni sistema democratico.

9. un esempio significativo è dato dal problema delle strategie energetiche in relazione anche con le questioni ambientali. Si è particolarmente sottolineato durante il Convegno - e lo si vuole qui ribadire - che politiche tese a diminuire drasticamente la produzione e l'utilizzo di energia da fonti fossili non può realisticamente effettuarsi che gradualmente e con strategie di riduzione che tengano conto dei limiti fisici di potenza e di una corretta economia di scala. Ciò, se da una parte significa incentivare e sostenere la ricerca mirata a nuove possibilità di produzione e ad una corretta impostazione dell'innovazione tecnologica, dall'altra, al fine di orientarsi verso un corretto mix energetico, impone come scelta necessaria ed indilazionabile per il nostro paese, la produzione di energia nucleare. È importante sottolineare, tra l'altro, che, contribuendo essa principalmente al carico di base, faciliterebbe l'apporto di quote crescenti di fonti rinnovabili intermittenti.
10. l'Associazione Galileo 2001 auspica pertanto che il Governo e il Parlamento italiano sappiano trovare una sintesi ragionevole tra la necessità di contribuire alle decisioni che vorranno essere prese nelle istanze internazionali in merito alla questione climatica e alle conseguenti strategie energetiche ed economiche e la consapevole valutazione delle conoscenze scientifiche disponibili, delle loro possibilità di previsione così come delle loro incertezze evitando di anticipare decisioni che non siano corroborate da oggettivi riscontri scientifici e potenziando semmai l'organizzazione della ricerca in settori, come quello della scienze climatiche e delle tecnologie energetiche, in armonia con le esigenze di sviluppo sociale ed economico.

A cura del Consiglio Direttivo dell'Associazione Galileo 2001:
***Presidente***
Prof. Renato Angelo RICCI
***Presidenti Onorari***
Prof. Tullio REGGE

Prof. Giorgio SALVINI
Prof. Umberto VERONESI

***Vice Presidente Vicario***
Prof. Giovanni Vittorio PALLOTTINO

***Vice Presidenti***
Prof. Carlo BERNARDINI
Prof. Ezio BUSSOLETTI
Prof.a Cinzia CAPORALE

***Consiglieri***
Prof. Luciano CAGLIOTI
Prof. Roberto HABEL
Dr.a Francesca QUERCIA
Dr.-a Angela ROSATI
Prof. Gian Tommaso SCARASCIA MUGNOZZA
Ing. Ugo SPEZIA
Prof. Umberto TIRELLI
Prof. Giorgio Nazzareno TRENTA
*Segretario Generale*

# LETTERA APERTA

## LA SCIENZA È AL SERVIZIO SOLO DELLA CONOSCENZA

La Conferenza di Copenaghen sul Clima del dicembre scorso, è stata presentata come un Summit mondiale di proporzioni inusitate, proclamato dai media come "*occasione unica per salvare il pianeta"* e *" decisivo per le generazioni future".* Con toni apocalittici ed enfasi catastrofista che rendono un pessimo servizio a decisioni sagge e ponderate e ad interventi responsabili.

Il risultato della Conferenza? Non solo non ha prodotto gli accordi enfaticamente attesi, ma ha purtroppo messo in ombra il lavoro di ricerca delle comunità scientifiche impegnate a studiare e a cercare di comprendere fenomeni, quali le *variazioni climatiche, da sempre tipiche della dinamica del Pianeta,* che costituiscono materia assai complessa e ben lungi dall'essere pienamente compresa. Fenomeni che necessitano, come dimostrato anche da recenti confronti tra esperti, come il Convegno della nostra Associazione su "Clima, Energia, Società" tenutosi a Roma il 13-14 ottobre, un serio e corretto dibattito scientifico prima ancora che politico o ideologico, e un ulteriore impegno di ricerca.

Inoltre, da qualche tempo, si susseguono notizie inquietanti che gettano ombra sulla correttezza delle stesse dichiarazioni ufficiali di organismi dell'ONU, in primis l'IPCC, in merito ai pericoli del *Riscaldamento Globale* e alle corrispondenti responsabilità umane, e di conseguenza alla necessità di drastiche e costose riduzioni delle emissioni di gas serra di origine antropica.

È ormai di dominio pubblico, anche se a quanto pare sottovalutato dai media e dagli Organi ufficiali, il cosiddetto "*scandalo del climagate"* che ha coinvolto gli scienziati dell'Università di East Anglia responsabili di manipolazione di dati sulle variazioni della temperatura

terrestre per "spingere" nella direzione delle tesi di un forte riscaldamento del pianeta ritenuto sostanzialmente di origine antropogenica. Poiché tali ricerche risultano essere finanziate dall'ONU, il sospetto dell'"*orientamento"* preventivo di tali ricerche diventa legittimo.

Vi è di più. Impressionanti rapporti (Daily Telegraph del 20 dicembre e articoli apparsi sulla La Stampa e su Repubblica) su presunti conflitti d'interesse e attività connesse con la cosiddetta nuova " *industria del clima "* del presidente dell'IPCC Dr. R. Pachauri, e la presenza di fortissimi interessi finanziari in un "*business ambientale"* sempre più rilevante, quali il meccanismo delle compravendite dei diritti di emettere $CO_2$ e gli investimenti in ricerche non sempre rispondenti al criterio di non essere politicamente orientate, mettono in forte dubbio la correttezza della linea perseguita dagli organismi dell'ONU.

In effetti il caso del *"Riscaldamento Globale"* risulta tuttora di non facile comprensione sia nella sua effettiva entità che nelle sue cause. In particolare, la relazione di *causa-effetto* tra le emissioni di biossido di Carbonio ($CO_2$) dovute ad attività umane a partire dall'era industriale ed eventuali fenomeni di riscaldamento è ancora sostanzialmente aperta, e quindi non dimostrata, malgrado i progressi nelle osservazioni sperimentali e i miglioramenti delle tecniche modellistiche. E infatti ciò costituisce oggetto attuale di vivaci discussioni fra gli studiosi. Di qui le differenze che emergono nell'interpretazione degli impatti potenziali derivanti da tali fenomeni e sulla eventuale possibilità di mitigarne gli effetti negativi non sottovalutando quelli, anch'essi possibili, positivi. Ciò anche in relazione alla necessità o meno di interventi appropriati, di nuove strategie energetiche e di misure di adattabilità di carattere sociale sanitario. Mentre l'inquinamento politico, ideologico e mediatico, ha creato una insolita divisione nella stessa comunità scientifica con artificiose contrapposizioni: da una parte i *catastrofisti* allineati rigorosamente alle posizioni dell'ONU e dall'altra i *negazionisti*, gli scettici che vi si oppongono vivacemente. Il che contrasta con la libera dialettica della scienza, che deve sempre alimentarsi di dubbi, dialettica e confronti.

In conclusione, Galileo 2001 sostiene la necessità di una politica avveduta e responsabile che si richiami alle conoscenze scientifiche più aggiornate basate su dati e osservazioni affidabili, scevre da illazioni intempestive che potrebbero condurre a valutazioni e decisioni af-

frettate e non compatibili con un corretto rapporto costi/benefici, sola ragionevole guida ad un sano equilibrio tra la questione ambientale e il necessario sviluppo socio-economico.

Sono proprio queste, del resto, le conclusioni del Convegno promosso dalla nostra Associazione, che ha dato spazio critico alle diverse tesi con la partecipazione di eminenti studiosi del clima, e che ha ribadito quanto sia indispensabile la ricerca e la sua corretta organizzazione. Evitando quindi che i governi fondino le decisioni su interessi non conformi al bene comune pretendendo dagli esperti attività orientate ad uso della contrattazione internazionale piuttosto che un libero lavoro rivolto al progresso delle conoscenze allo scopo di fornire indicazioni per un dialogo razionale ed evitare messaggi mediatici infondati che possano scatenare nell'opinione pubblica pregiudizi e paure irrazionali.

**Renato Angelo RICCI** – Presidente Associazione Galileo 2001 per la libertà e dignità della scienza

# GALILEO 2001
# PER LA LIBERTÀ E LA DIGNITÀ DELLA SCIENZA

## MANIFESTO

Un fantasma si aggira da tempo nel Paese, un fantasma che sparge allarmi ed evoca catastrofi, terrorizza le persone, addita la scienza e la tecnologia astrattamente intese come nemiche dell'Uomo e della Natura e induce ad atteggiamenti antiscientifici facendo leva su ingiustificate paure che oscurano le vie della ragione.

Questo fantasma si chiama oscurantismo. Si manifesta in varie forme, tra cui le più pericolose per contenuto regressivo ed irrazionale sono il fondamentalismo ambientalista e l'opposizione al progresso tecnico-scientifico. Ambedue influenzano l'opinione pubblica e la politica attraverso una comunicazione subdola: l'invocazione ingiustificata del *Principio di Precauzione* nell'applicare nuove conoscenze e tecnologie diviene una copertura per lanciare anatemi contro il progresso, profetizzare catastrofi, demonizzare la scienza.

Non si tratta, quindi, di una giustificabile preoccupazione per le ripercussioni indesiderate di uno sviluppo industriale ed economico non sempre controllato, ma di un vero e proprio attacco contro il progresso. L'arroganza e la demagogia che lo caratterizzano non solo umiliano la ricerca scientifica –attribuendole significati pericolosi ed imponendole vincoli aprioristici ed arbitrari - ma calpestano il patrimonio di conoscenze che le comunità scientifiche vanno accumulando e verificando, senza pretese dogmatiche, con la consapevolezza di offrire *ragionevoli certezze* basate su dati *statisticamente affidabili e sperimentalmente controllabili.*

Il fatto che le conoscenze scientifiche, per la natura stessa del metodo di indagine e di verifica dei risultati, si accreditino con spazi di dubbio, sempre ridicibili ma mai eliminabili, costituisce l'antidoto principale – che è proprio dell'attività scientifica - verso ogni forma di

dogmatismo, scientismo, intolleranza e illiberalità; ma non può giustificare il considerare tali conoscenze opinabili o, peggio, inattendibili.

La voce della scienza è certamente più affidabile e anche umanamente – oltre che intellettualmente - più consapevole delle voci incontrollate e dogmatiche che, fuori di ogni rilevanza scientifica, pretendono di affermare "verità" basate sull'emotività irrazionale tipica delle culture oscurantiste.

Da questa cultura regressiva nascono, ad esempio:

- l'attribuzione quasi esclusivamente alle attività antropiche di effetti, pur preoccupanti data la posta in gioco, quali i cambiamenti climatici che da milioni di anni sono caratteristici del pianeta Terra, mentre il problema della loro origine è tuttora aperto;
- le limitazioni alla ricerca biotecnologica che impediscono ai nostri ricercatori di cooperare al raggiungimento di conquiste scientifiche che potrebbero, tra l'altro, combattere gravi patologie e contribuire ad alleviare i problemi di alimentazione dell'umanità;
- la ricerca e l'esaltazione acritica di pratiche mediche miracolistiche che sono ritenute affidabili solo perché "alternative" alla medicina scientifica;
- il terrorismo sui rischi sanitari dei campi elettromagnetici, che vuole imporre limiti precauzionali ingiustificati, enormemente più bassi di quelli accreditati dalla comunità scientifica internazionale e adottati in tutti i paesi industriali;
- il permanere di una condizione di emergenza nel trattamento e nello smaltimento dei rifiuti di ogni tipo, condizione che è figlia del rifiuto aprioristico di soluzioni tecnologiche adottate da decenni in tutti i paesi industriali avanzati;
- la sistematica opposizione ad ogni tentativo di dotare il Paese di infrastrutture vitali per la continuità dello sviluppo e per il miglioramento della qualità della vita della popolazione;
- la preclusione dogmatica dell'energia nucleare, che penalizza il Paese non solo sul piano economico e dello sviluppo, ma anche nel raggiungimento di obiettivi di razionalizzazione e compatibilità ambientale nel sistema energetico.

Il clima di oscurantismo in atto rischia di contribuire all'allontanamento dei giovani dai corsi di studio a indirizzo scientifico, ormai connotati di significati antiumanitari e antiambientali, alimentando un

processo che rischia di prefigurare un futuro di dipendenza anche culturale, oltre che economica, del Paese.

La scienza non produce miracoli e non è, di per sè, foriera di catastrofi. Da sempre essa è parte integrante e trainante dell'evoluzione della società umana, motore primario di progresso sociale, economico, sanitario e ambientale.

Sulla base di questa consapevolezza, scienziati, ricercatori, tecnici di ogni estrazione culturale e di ogni credo, estranei ad ogni interesse industriale e consci del fatto che l'impegno scientifico non deve confondersi con le pur legittime convinzioni di ordine ideologico, politico e religioso, si levano a contrastare questa opera di disinformazione e di arretramento culturale, rivendicando il valore della scienza come fonte primaria delle conoscenze funzionali al progresso civile, senza distorsioni e filtri inaccettabili.

Ci costituiamo nel movimento ***Galileo 2001 per la libertà e la dignità della Scienza***, aperti alle adesioni più qualificate, sincere e disinteressate.

Chiediamo alle Associazioni scientifiche e culturali di impegnarsi disinteressatamente, assieme alle Istituzioni, in una indifferibile battaglia per un'informazione competente e deontologicamente corretta.

Ci rivolgiamo alla società civile, agli operatori dell'informazione più attenti e ai rappresentanti politici più avveduti perché sappiano raccogliere questo messaggio e ci aiutino a superare le barriere del fondamentalismo e della disinformazione.

Vogliamo che il nuovo secolo sia anche per il nostro Paese – che ha dato i natali a Galileo, Volta, Marconi e Fermi - quello della *verità scientifica* e della *ragione*, tanto più consapevoli quanto più basate sulle conoscenze e sul sapere. Esse forse non saranno sufficienti, ma sono certamente necessarie.

**Membri Fondatori**:
*Franco Battaglia,* Università di Roma *Tre*
*Carlo Bernardini,* Università di Roma *La Sapienza*
*Tullio Regge,* Premio Einstein per la Fisica
*Renato Angelo Ricci,* Presidente onorario Società Italiana di Fisica; già Presidente Società Europea di Fisica

*Giorgio Salvini*, Accademico dei Lincei, già Ministro della Ricerca Scientifica
*Gian Tommaso Scarascia Mugnozza,* Professore emerito, Università della Tuscia; Accademia Nazionale delle Scienze
*Ugo Spezia,* Segretario Generale Centro Internazionale per la Documentazione e l'Informazione Scientifica (CIDIS)
*Umberto Tirelli,* Direttore Divisione Oncologia Medica, Istituto Nazionale Tumori di Aviano

**Membri del Comitato Promotore:**
*Franco Bassani,* Presidente Società Italiana di Fisica
*Argeo Benco,* già Presidente Associazione Italiana di Radioprotezione
*Paolo Blasi,* già Rettore Università di Firenze
*Edoardo Boncinelli,* Istituto San Raffaele, Milano
*Luciano Caglioti,* Università di Roma *La Sapienza*
*Cinzia Caporale,* Università di Siena
*Giovanni Carboni,* Università di Roma *Tor Vergata*
*Francesco Cognetti,* Presidente Associazione Italiana di Oncologia Medica
*Guido Fano,* Università di Bologna
*Gianni Fochi,* Scuola Normale Superiore di Pisa, Università di Pisa
*Andrea Frova,* Università di Roma *La Sapienza*
*Silvio Garattini,* Istituto Mario Negri, Milano
*Roberto Irsuti,* Direttore *21mo Secolo*, Milano
*Silvio Monfardini,* Direttore Divisione Oncologia Medica, Ospedale Universitario di Padova
*Giovanni Vittorio Pallottino,* Università di Roma *La Sapienza*
*Franco Panizon,* Professore emerito, Università di Trieste
*Ernesto Pedrocchi,* Politecnico di Milano
*Carlo A. Pelanda,* Condirettore Globis, University of Georgia, USA
*Carlo Salvetti,* Vice-Presidente Associazione Italiana Nucleare
*Paolo Sequi,* Presidente della Società Italiana per la Scienza del Suolo
*Angelo Spena,* Università di Verona
*Paolo Vecchia,* Dirigente di Ricerca, Istituto Superiore di Sanità
*Giancarlo Vecchio,* Università di Napoli, Presidente Società Italiana di Cancerologia
*Igino Zavatti,* Coordinatore Associazione *Nuova Civiltà delle Macchine*

**CONSIGLIO DIRETTIVO**
**dal 19 settembre 2008 al 18 settembre 2011**

| | |
|---|---|
| Prof. Renato Angelo **RICCI** | Presidente |
| Prof. Tullio **REGGE** | Presidente Onorario |
| Prof. Giorgio **SALVINI** | Presidente Onorario |
| Prof. Umberto **VERONESI** | Presidente Onorario |
| Prof. Giovanni Vittorio **PALLOTTINO** | Vice Presidente Vicario |
| Prof. Carlo **BERNARDINI** | Vice Presidente |
| Prof. Ezio **BUSSOLETTI** | Vice Presidente |
| Prof. Cinzia **CAPORALE** | Vice Presidente |
| Prof. Umberto **TIRELLI** | Vice Presidente |

**Consiglieri**

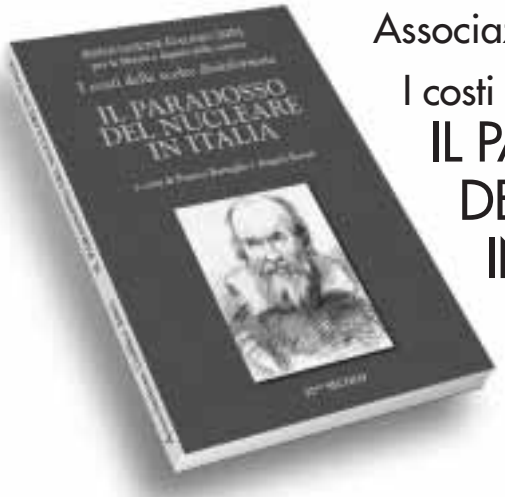
Prof. Luciano **CAGLIOTI**
Prof. Roberto **HABEL**
Dr.a Francesca **QUERCIA**
Dr.a Angela **ROSATI**
Prof. Gian Tommaso **SCARASCIA MUGNOZZA**
Ing. Ugo **SPEZIA**
Prof. Giorgio Nazzareno **TRENTA**

**Collegio Sindacale**

| | |
|---|---|
| Dr. Bruno **ROMITI** | Presidente |
| Dr. Maurizio **DI PAOLA** | Sindaco Effettivo |
| Dr. Odoardo Maria **CALAMAI** | Sindaco Effettivo |
| Dr. Oliver Karim **BESSIRE** | Sindaco Supplente |

**Segretario Generale**

Ing. Giulio **VALLI**



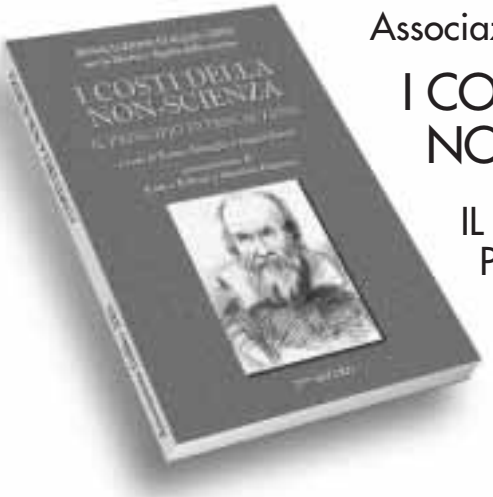

Associazione Galileo 2001

I costi delle scelte disinformate

# IL PARADOSSO DEL NUCLEARE IN ITALIA

242 pagine Euro 15,00
ISBN 88-87731-29-2

Giorgio Salvini: *Commemorazione di Carlo Salvetti*
Un appello degli scienziati al presidente della Repubblica
Manifesto di Galileo 2001
Franco Battaglia: *Prefazione*
Renato Angelo Ricci: *Introduzione*
Guido Possa: *Energia e Ricerca*
Ugo Spezia: *La crisi del sistema energetico italiano*
Georges Vendryes: *Verso un rilancio dell'energia nucleare*
Carlo Bernardini: *Il problema della fiducia*
Paolo Fornaciari: *Il costo dell'abbandono del nucleare*
Giorgio La Malfa: *Strategie energetiche*
Carlo Mancini: *Lo stato e le prospettive dell'energia nucleare nel mondo e il caso italiano*
Giancarlo Bolognini: *Le competenze nucleari in Italia*
Giorgio Trenta: *Energia nucleare e salute*
Maurizio Cumo: *Panorama della situazione energetica mondiale*
Sergio Garribba: *Aspetti economici dell'energia nucleare*
Marco Del Lucchese: *La gestione del nucleare pregresso*
Claudio Regis: *Reattori nucleari: qualche prospettiva per il futuro*
Giovanni Carboni: *Media ed energia nucleare*
Guido Fano: *L'Italia e il nucleare*
Leonardo Libero: *Precisazioni sugli usi pratici dell'energia fotovoltaica*
Enrico Mainardi: *Il Network "Italian Young Generation in Nuclear" (I.Y.G.N.)*



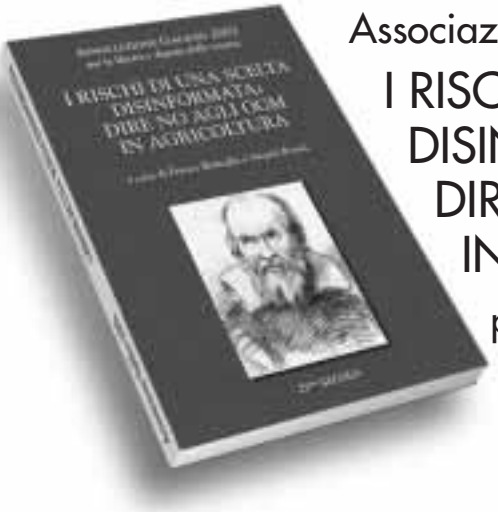

Associazione Galileo 2001

# I COSTI DELLA NON-SCIENZA

## IL PRINCIPIO DI PRECAUZIONE

pagg. 212, € 15,00
ISBN: 88-87731-23-3

Presentazione di Enrico Bellone e di Maurizio Belpietro
Manifesto dell'Associazione Galileo 2001
Introduzione del Prof. Giorgio Salvini
Roberto De Mattei: *Indirizzo di saluto*
Renato Angelo Ricci: *Perché Galileo 2001*
Umberto Veronesi: *Un'alleanza per la scienza*
Franco Battaglia: *Il Principio di Precauzione: precauzione o rischio?*
Carlo Bernardini: *Radici filosofiche e utilizzazione sociale del Principio di Precauzione*
Tullio Regge: *Il Principio di Precauzione: un trucco verbale*
Umberto Tirelli: *Il Principio di Precauzione e la salute*
Francesco Sala: *Piante GM: una grande opportunità per l'agricoltura italiana*
Ingo Potrykus: *Green biotechnology could save millions of lives, but it cannot because of anti-scientific, extreme-precautionary regulation*
*Le biotecnologie in agricoltura potrebbero salvare milioni di vite, ma normative anti-scientifiche ed eccessivamente precauzionali lo impediscono*
Paolo Sequi: *Il Principio di Precauzione e le problematiche ambientali relative al suolo*
Paolo Vecchia: *Il Principio di Precauzione per i campi elettromagnetici: giustificazione ed efficacia*
Luciano Caglioti: *Il paradosso dei rifiuti*
Cesare Marchetti: *Prospettive dell'economia a idrogeno*
Giovanni Vittorio Pallottino: *Sfogliando i libri di testo di scienza per la scuola*
Ernesto Pedrocchi: *Il Principio di Precauzione*
Silvano Fuso: *Principio di Precauzione e pseudoscienze*




Associazione Galileo 2001

# I RISCHI DI UNA SCELTA DISINFORMATA: DIRE NO AGLI OGM IN AGRICOLTURA

pagine 240 € 15,00

ISBN 978-88-87731-33-0

Lettera aperta degli scienziati a Silvio Berlusconi e Romano Prodi su: Piante da Organismi Geneticamente Modificati (OGM): quale politica?

Francesco Nucara: *Indirizzi di saluto*

Renato Angelo Ricci: *Introduzione*

Francesco Sala: *Gli OGM sono pericolosi?*

Bao Rong Lu: *Risks and benefits of genetically modified rice plants in China*

Bao Rong Lu: *Rischi e benefici del riso geneticamente modificato in Cina*

Amedeo Pietri: *La contaminazione della filiera alimentare da microtossine*

A. Benedetti, S. Mocali, P. Sequi: *Gli OGM e il suolo*

Luca Bucchini: *Scambio genetico tra colture OGM e non OGM: il quadro*

Giovanni Della Porta: *Indagine di pieno campo in ambiente Padano sulle dinamiche di diffusione del polline di mais tra coltivazioni contigue*

Bruno Mezzetti: *Ricerca e sperimentazione su piante geneticamente modificate*

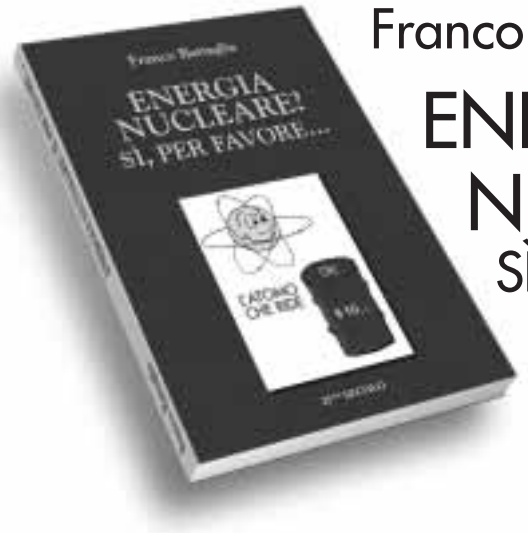
Dario Frisio: *Gli OGM e l'agricoltura italiana: riflessioni economiche*

Umberto Tirelli: *OGM in medicina*

Franco Battaglia: *Il principio di precauzione: precauzione o rischio?*

Renato Angelo Ricci: *Conclusioni*

**Appendice:** *Rapporto presentato nel 2001 dal Comitato Scientifico dell'Agenzia Nazionale Protezione Ambiente*




Franco Battaglia

# ENERGIA NUCLEARE? SÌ, PER FAVORE…

208 pagine Euro 15,00
ISBN 978-88-87731-45-3

## INDICE

Presentazione di Antonino Zichichi

Presentazione di Renato Brunetta

Prefazione di Paolo Fornaciari

Ringraziamenti

Introduzione

1. energia e potenza

2. Energia elettrica

3. Il nucleo nell'atomo

4. Il nucleare nel mondo

5. Il combustibile nucleare

6. La radioattività

7. Le scorie del nucleare

8. I rischi del nucleare

9. Illusioni e Realtà

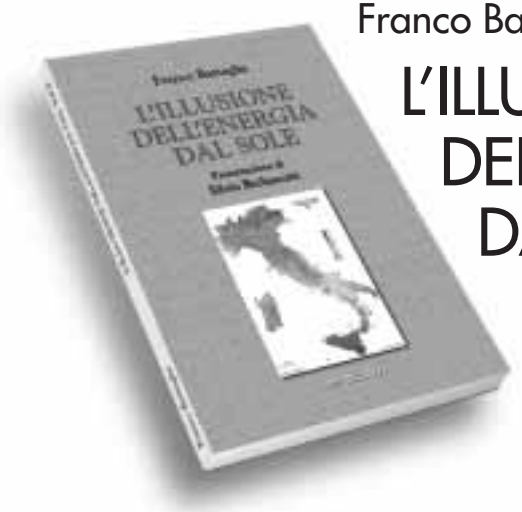
10. Che fare?

Appendice 1:
La Natura, non l'attività dell'uomo, governa il clima

Appendice 2:
Le sorprese della scienza – di Luigi Pirandello

Franco Battaglia

# L'ILLUSIONE DELL'ENERGIA DAL SOLE




160 pagine Euro 15,00
ISBN 978-88-87731-34-7

Presentazione di Silvio Berlusconi
Prefazione di Renato Angelo Ricci
1. L'energia
2. La potenza
3. Il sole
4. Trasformazione dell'energia solare
5. Quella dal sole è l'energia del passato
6. Energia idroelettrica e legna da ardere
7. Energia eolica
8. Elettricità dal sole: il solare termoelettrico
9. Elettricità dal sole: il solare fotovoltaico
10. Calore dal sole
11. Biocarburanti
12. Che fare?

Appendice – Lettera aperta dell'Associazione Galileo 2001 al Presidente della Repubblica.
Postfazione

Sono disponibili i volumi degli Atti delle Giornate di Studio dell'Associazione Italiana Nucleare

Autori vari

## ENERGIA NUCLEARE
### Un futuro da salvare

21 novembre 1998

pagg. 176 Euro 12,91
ISBN 88-87731-00-4

Autori vari

## ATTUALITÀ DEL NUCLEARE
### Energia e tecnologia

23 novembre 1999

pagg. 192 Euro 12,91
ISBN 88-87731-09-8

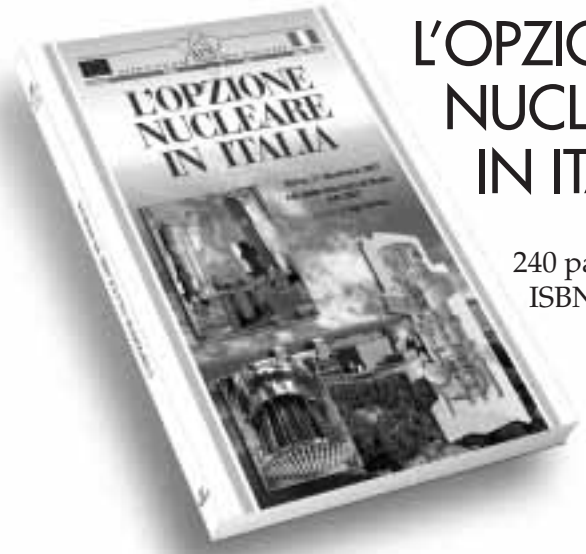
Autori vari

# ORIZZONTI DELLA TECNOLOGIA NUCLEARE IN ITALIA

192 pagine Euro 15,00
ISBN 88-87731-26-8

Autori vari

# L'OPZIONE NUCLEARE IN ITALIA




240 pagine Euro 15,00
ISBN 88-87731-40-8

due volumi sulla storia del nucleare in Italia

Ugo Spezia

## ITALIA NUCLEARE

432 pagine Euro 25,00
ISBN 978-88-87731-43-9

Paolo Fornaciari

## IL PETROLIO, L'ATOMO E IL METANO

### Italia nucleare 1946-1997

### Dallo sviluppo a una irragionevole rinuncia

pagg. 352,
in brossura € 15,49

ISBN 88-87731-05-5

**Offerta speciale**:

I quattro volumi degli Atti delle giornate di studio AIN e i due volumi sulla storia del nucleare al prezzo totale di 70,00 euro invece di 96,31
(spese postali a carico dell'editore)

Pagamento in contrassegno o tramite versamento
sul conto corrente postale 23966203, intestato a 21mo Secolo srl
(IBAN Bancoposta IT06K0760101600000023966203).

Paolo Fornaciari

# L'Atomo per la pace

156 pagine
Euro 15,00
ISBN 88-87731-22-5

Indice

Prefazione
Capitolo 1 - Le sfide del terzo millenio
Capitolo 2 - Allarme rosso energia
Capitolo 3 - Più mercato e meno stato
Capitolo 4 - Siamo veramente in troppi sul pianeta?
Capitolo 5 - Ecologia ed economia
Capitolo 6 - Quali alternative?
Capitolo 7 - Tanto tuonò che piovve
Capitolo 8 - Il rinascimento nucleare
Capitolo 9 - L'era del petrolio sta per finire?
Capitolo 10 - Sviluppo durevole e solidale

Paolo Fornaciari

# IL PETROLIO, L'ATOMO E IL METANO

## Italia nucleare 1946-1997

### Dallo sviluppo a una irragionevole rinuncia

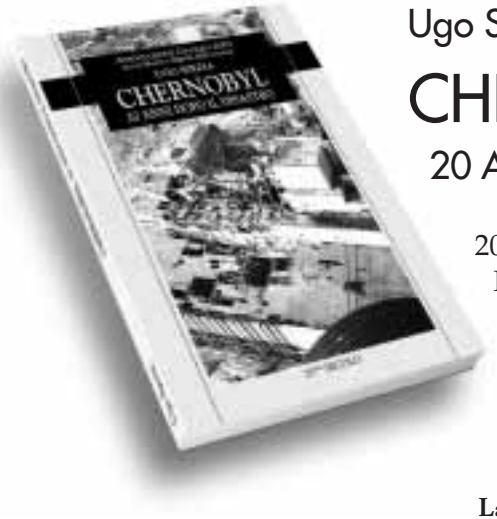
pagg. 352,
in brossura € 15,49
rilegato € 23,24

ISBN 88-87731-05-5

Indice del volume:

PRESENTAZIONE del prof. *Carlo Salvetti*

1. L'ENERGIA ELETTRONUCLEARE IN ITALIA: LE ORIGINI
2. I RICORDI DELL' AUTORE
3. LE CENTRALI NUCLEARI DELL'ENEL
4. ANNI SETTANTA: BATTAGLIE IN MAREMMA E IN VAL D'ISÈRE
5. PIANI E PROGRAMMI ENERGETICI PER GLI ANNI NOVANTA
6. L'INCIDENTE SULL'ISOLA DELLE TRE MIGLIA
7. LA CONFERENZA DI VENEZIA SULLA SICUREZZA NUCLEARE
8. IL PROGETTO UNIFICATO NUCLEARE
9. IL DISASTRO DI CHERNOBYL
10. L'ACCETTABILITÀ SOCIALE DELL'ENERGIA NUCLEARE
11. GLI ANNI DEL DISIMPEGNO
12. IL NUCLEARE TRA LA PRIMA E LA SECONDA REPUBBLICA
13. DALLO STATO AL MERCATO
14. ENERGIA PER IL NOSTRO FUTURO




Ugo Spezia

# CHERNOBYL

## 20 ANNI DOPO IL DISASTRO

208 pagine Euro 15,00
ISBN 88-87731-31-4

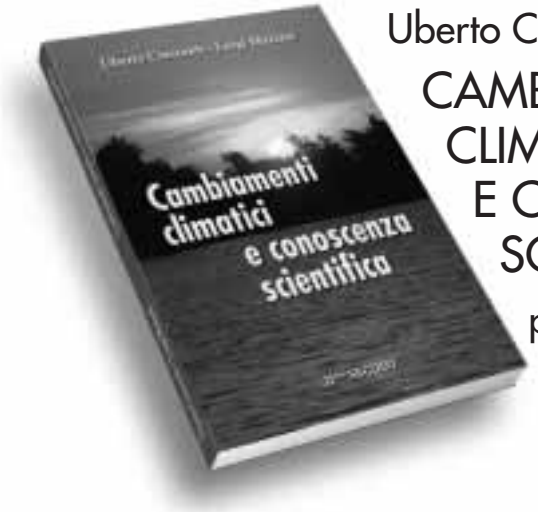
**Presentazione** di Renato Angelo Ricci
**Prefazione** di Carlo Bernardini
**La centrale di Chernobyl** - Lo sviluppo del reattore RBMK - Caratteristiche del reattore - I problemi di controllo - Il sistema di contenimento
**L'incidente** - L'origine - La dinamica degli eventi - Le cause del disastro
**Gli effetti** - L'emergenza - La contaminazione radioattiva - La contaminazione all'esterno dell'URSS
**Le conseguenze radiologiche** - L'esposizione della popolazione dell'URSS - Gli operatori presenti o intervenuti sul sito - La popolazione residente nella zona evacuata e nelle aree contaminate
**Le conseguenze sanitarie** - Gli effetti sanitari acuti - Gli effetti tardivi attesi - Gli effetti stocastici rilevati - Aumento dell'incidenza del tumore alla tiroide - Altri effetti sanitari tardivi
**Le conseguenze in Italia** - L'arrivo della "nube" - La contaminazione radioattiva - L'esposizione della popolazione - Le dosi individuali - Le dosi collettive - Gli effetti sanitari
**La Chernobyl dell'informazione** - Il caos informativo - Il "precedente" Three Mile Island - Il comportamento della stampa italiana - La qualità dell'informazione
**La messa in sicurezza dell'impianto** - Il sarcofago - Lo stato attuale del sarcofago - I problemi di stabilità strutturale - Il dilavamento di contaminanti - I rischi di criticità - I rischi radiologici residui - La fuoriuscita di radioattività dal sarcofago
**Gli effetti ambientali** - Effetti diretti sulla flora e sulla fauna - Effetti della contaminazione del suolo - Effetti della contaminazione delle acque di superficie
**Chernobyl vent'anni dopo** - La situazione dell'impianto - La realtà scientifica - L'esposizione radiologica - Le conseguenze sanitarie accertate - I "morti statistici" - Le conseguenze sanitarie "attese"
**La Chernobyl italiana** - La conferenza nazionale sull'energia del 1987 - I lavori e le conclusioni della conferenza - La rinuncia al nucleare - Il fallimento della politica energetica - La crisi del sistema elettrico - Il tempo delle riflessioni
**Appendice** - Elementi di dosimetria e radioprotezione - I principi fondamentali della radioprotezione

A cura di S. Fred Singer

# LA NATURA, NON L'ATTIVITÀ DELL'UOMO, GOVERNA IL CLIMA

pagg. 96, € 10,00
ISBN: 978-88-87731-38-5

Prologo
Prefazione
1. Introduzione
2. Quanta parte dell'attuale riscaldamento è causata dalle attività dell'uomo?
3. L'attuale riscaldamento è principalmente dovuto a cause naturali
4. I modelli climatici al calcolatore sono inattendibili
5. È improbabile che la velocità di innalzamento dei mari aumenti
6. Gas-serra antropogenici riscaldano gli oceani?
7. Quanto sappiamo sull'anidride carbonica in atmosfera?
8. Gli effetti delle emissioni di anidride carbonica sono benigni
9. Gli effetti di un modesto riscaldamento sull'economia sono probabilmente positivi
10. Conclusioni
Gli Autori
Il Curatore
Bibliografia
Letture Consigliate
Acronimi




Uberto Crescenti - Luigi Mariani

# CAMBIAMENTI CLIMATICI E CONOSCENZA SCIENTIFICA

pagine 112 € 10,00

ISBN 978-88-87731-39-2

**IL RISCALDAMENTO GLOBALE DEL PIANETA TERRA – PRESENTAZIONE** – Renato Angelo Ricci

**IL RISCALDAMENTO GLOBALE DEL PIANETA TERRA: RIFLESSIONI DI UN GEOLOGO** – Uberto Crescenti

Introduzione – 1. È vero che stiamo assistendo ad un riscaldamento globale dal 1880 ad oggi? –
2. È vero che il RG è dovuto all'attività dell'uomo cioè è di origine antropogenica? – 2.1. Il contributo delle scienze geologiche alla valutazione dei cambiamenti climatici –
2.2. Conclusioni –
3. È vero che il Protocollo di Kyoto è utile per contrastare il riscaldamento globale? – 3.1. Il Protocollo di Kyoto non ha basi scientifiche ed è un inutile spreco di denaro –
4. Conclusioni

**UN COMMENTO AD ALCUNI NOTI SLOGAN SUL RISCALDAMENTO GLOBALE** – Luigi Mariani

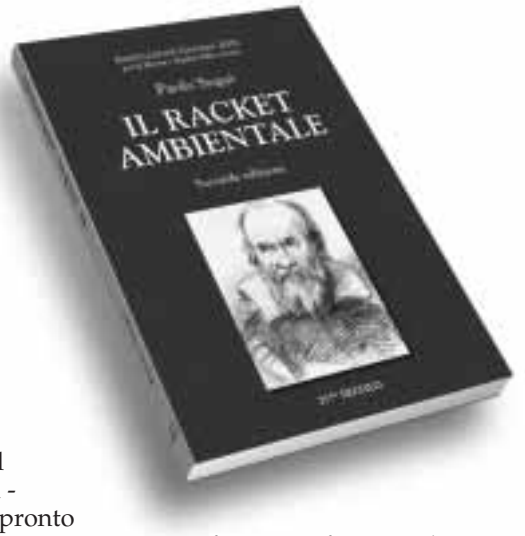
Ghiacciai – Livello marino – Temperature e ondate di caldo – Economia, agricoltura e sicurezza alimentare –
Cambiamenti climatici – Malattie – Cicloni tropicali e tornado –
Eventi estremi – Anidride carbonica ($CO_2$), effetto serra –
Storia del clima – Sistema climatico – Previsioni climatiche –
Responsabilità umane e etica in climatologia –
Millenarismo e profeti di sventura – Precipitazioni estreme –
Riferimenti bibliografici

Paolo Sequi

# IL RACKET AMBIENTALE

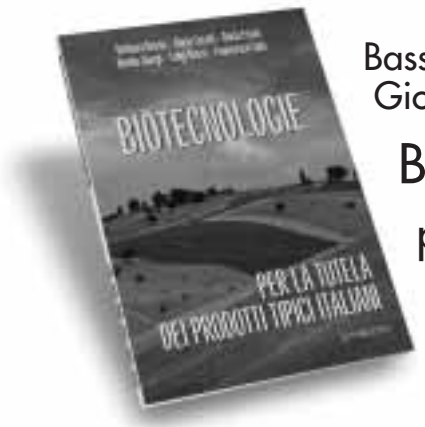
pagine 224 € 15,00

ISBN 88-87731-27-6




INDICE

1. LE OPERE DI FONDAZIONE - Il controllo dell'opinione pubblica - L'arte dello slogan - Ora tutto è pronto
2. UN NEMICO EMBLEMATICO: LA CHIMICA - La fisica non fa paura, la chimica sì - La natura amica dell'uomo? - Sostanze naturali e sostanze di sintesi - Numeri piccoli che diventano grandi - Numeri grandi che sono piccoli - Mancanza di cultura chimica - Nota sulle unità di misura
3. IL CONCETTO DI INQUINAMENTO - Agricoltura e medicina - I concimi sono veleni? - I fitofarmaci sono dannosi? - La falsità del concetto di livello zero: l'esempio della radioattività - Il racket dell'inquinamento
4. CHE FA LA MADRE TERRA - La vita nel terreno - Un cenno al terreno e alla sua genesi - Dal suolo una soluzione per l'effetto serra - Le risorse della terra per l'uomo - Destinazione d'uso della madre terra - La diversità biologica
5. IL RACKET DELLE FOGNE - La coprologia - Le fogne degli antichi romani - Le marcite dei vecchi milanesi - La difesa delle acque dagli inquinamenti - Il cerchio che andrebbe chiuso - Dalle cave ai mari
6. LE BURLE DEL FOSFORO - L'eutrofizzazione: quando va bene e quando va male - Come il fosforo è stato imputato - La burla dei depuratori - La burla dei detersivi - La burla dell'agricoltura - La burla dell'erosione
7. LA PAURA DEI NITRATI - Lo spettro delle nitrosoammine - Nitrati nella dieta - Rischio nitrati nelle acque? - Il ciclo dell'azoto - La provenienza dei nitrati - Chi ci guadagna - Ma sono poi davvero pericolosi?
8. GLI ERBICIDI, IL GIOCO SI FA PESANTE - Come ti spavento l'opinione pubblica - La buona pratica agricola - Provenienza e destino degli erbicidi - La legge non è uguale per tutti - Qualcosa di strano c'è
9. SPADE DI DAMOCLE: L'ESEMPIO DEL POTASSIO - Bilancio del potassio nell'uomo - La curiosa sensibilità del legislatore europeo - Il potassio nelle bevande - Il potassio nella dieta - Damocle
10. LE ATTIVITÀ QUATERNARIE - Le attività dell'uomo - Il "set-aside" - Le attività quaternarie - Amici e nemici delle attività quaternarie - La corretta pratica della difesa del suolo - Come un castagno diviene una mina di montagna - Vogliamo altri esempi?




Basso - Casati - Frisio -
Giorgi - Rossi - Sala

# BIOTECNOLOGIE

## per la tutela dei prodotti tipici italiani

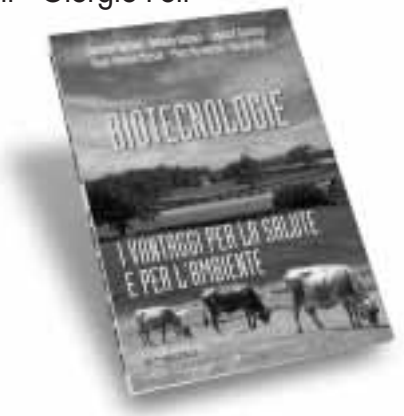
pagg. 144, € 11,00

GENETICA, OGM E TRADIZIONE ALIMENTARE ITALIANA - ASPETTI ECONOMICI E POLITICI DELLE PIANTE OGM - SCHEDE: Pomodoro San Marzano - Melo della Valle d'Aosta - Riso Carnaroli - Basilico - Brassicacee - Radicchio - Cipolla - Carciofo - Pesco - Melone - Zucchino - Melanzana - Albicocco - Patata - Peperone - Vite Barbera - Vite Garganega - Vite Aglianico - Vite Nero d'Avola - Lattuga - Ciliegio - Fragola - Olivo - Pero - LE BASI SCIENTIFICHE DELLE BIOTECNOLOGIE VEGETALI -

Giuseppe Bertoni - Antonio Gaspari - Leonard Gianessi -
Paolo Ajmone Marsan - Piero Morandini - Giorgio Poli

# BIOTECNOLOGIE:

## i vantaggi per la salute e per l'ambiente




pagg. 160, € 9,00

ISBN.88-87731-20-9

Biotecnologie vegetali:
minaccia o speranza? –
Naturale o transgenico? Quali
criteri per una scelta – La transgenesi nelle produzioni animali – Gli OGM come alimenti e vaccini: vantaggi e rischi paventati – Gli OGM quali alimenti - Vaccini - Possibili rischi e sistemi per il loro monitoraggio e prevenzione – Ogm e miglioramento della lotta ai parassiti nell'agricoltura europea – Le risposte alle domande più frequenti sugli OGM

Franco Battaglia

# ELETTROSMOG
## UN'EMERGENZA CREATA AD ARTE

180 pagine Euro 12,00
ISBN 978-88-87731-41-5

Presentazione di Umberto Veronesi
Introduzione – L'inizio – Il primo articolo – Chi ha paura non vuole essere rassicurato – L'informazione "aggiustata" – Un tabù – Politici che annunciano convegni "informativi" – La Provincia di Modena/1 – Il singolare convegno dei DS – Un caso di conflitto di interessi? – Se fai il critico – Il convegno di Forza Italia – Il Polo ascolta la scienza – Prima del voto alla Camera – Renato Angelo Ricci – Mille scienziati contro l'oscurantismo del governo – Cinque scienziati scrivono a Ciampi – Oltre 200 scienziati sottoscrivono l'appello a Ciampi – Paolo Vecchia – Primi strani effetti della lettera a Ciampi: l'allarme si amplifica – Il *Corriere della Sera* – L'*NRPB* britannico valuta il Rapporto-Doll – Le informazioni inesatte da esponenti governativi – Giovanni Carboni – Umberto Veronesi – Lettera aperta a Veronesi – Il Wall Street Journal – Adriano Celentano – La Legge-quadro e i decreti attuativi – Il *sit-in* dei Verdi – Al Rotary Club – La Regione Emilia-Romagna – A Modena – Non mancano paradossi – L'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro – La IARC valuta i campi elettrici e magnetici statici e a frequenza industriale – Daria Bignardi – Maurizio Costanzo – La stupidità italiana – Il Codacons – Radio Vaticana – La Provincia di Modena/2 – Coro di proteste – Il principio di precauzione – Il principio di precauzione fa danni anche con l'elettrosmog – Nasce il movimento Galileo 2001 – Il muro di gomma: il Comune di Ancona – Previsioni per il 2002 – Galileo 2001 si appella al nuovo governo – Appendice

Voglio acquistare i seguenti volumi

| | | |
|---|---|---|
| ☐ | *Energia nucleare? Sì, per favore…* | € 15,00 |
| ☐ | *L'illusione dell'energia dal sole* | € 15,00 |
| ☐ | *Elettrosmog, un'emergenza creata ad arte* | € 12,00 |
| ☐ | *La scienza e le medicine alternative* | € 15,00 |
| ☐ | *Cambiamenti climatici e conoscenza scientifica* | € 10,00 |
| ☐ | *La Natura, non l'attività dell'uomo, governa il clima* | € 10,00 |
| ☐ | *Moderni sistemi e tecnologie antisismici* | € 20,00 |
| ☐ | *I rischi di una scelta disinformata: dire no agli OGM in agricoltura* | € 15,00 |
| ☐ | *I costi della non-scienza: Il Principio di Precauzione* | € 15,00 |
| ☐ | *Chernobyl. 20 anni dopo il disastro* | € 15,00 |
| ☐ | *Il paradosso del nucleare in Italia* | € 15,00 |
| ☐ | *Presupposti per il programma elettronucleare nazionale* | € 15,00 |
| ☐ | *Biotecnologie per la tutela dei prodotti tipici italiani* | € 11,00 |
| ☐ | *Biotecnologie: i vantaggi per la salute e per l'ambiente* | € 9,00 |
| ☐ | *Global Report 2004* | € 18,00 |
| ☐ | *Campi elettromagnetici e salute: dai miti alla realtà* | € 9,00 |
| ☐ | *Orizzonti delle tecnologie nucleari* | € 15,00 |
| ☐ | *Attualità del nucleare* | € 12,91 |
| ☐ | *Energia nucleare: un futuro da salvare* | € 12,91 |
| ☐ | *Energia per tutti* | € 18,00 |
| ☐ | *Il petrolio, l'atomo e il metano* | € 15,49 |
| ☐ | *L'atomo per la pace* | € 15,00 |
| ☐ | *Il racket ambientale (seconda edizione)* | € 15,00 |

Voglio abbonarmi a 21mo SECOLO SCIENZA E TECNOLOGIA

☐ Abbonamento ordinario € 30,00 (6 numeri)
☐ Abbonamento sostenitore da € 100,00

☐ Pagherò in contrassegno (aggiungere € 4,00 di spese postali)
☐ allego assegno bancario non trasferibile intestato a 21mo SECOLO
☐ allego fotocopia della ricevuta del versamento sul CCP n. 23966203 intestato a: 21mo SECOLO - via L. Di Breme 18 – 20156 Milano (+ € 1,00 di spese postali)

☐ Carta di credito ..... n. .....

scad. .....

firma .....

Nome e Cognome .....

Indirizzo .....

Tel. ..... e-mail: .....

Inviare per posta o via fax a 21mo SECOLO - via L. Di Breme 18 - 20156 Milano
Fax 02-91618035 - e-mail: info@21mosecolo.it www.21mosecolo.it

Autorizzo il trattamento dei dati personali (legge 675/96)

Associazione Galileo 2001

# LA SCIENZA E LE MEDICINE ALTERNATIVE

168 pagine Euro 15,00
ISBN 978-88-87731-42-2

**Carla De Albertis – Virgilio Feroccio Ferrario – Pier Mannuccio Mannucci** - Indirizzi di saluto

**Renato Angelo Ricci** - Presentazione

**Franco Battaglia** - Introduzione

**Giovanni Vittorio Pallottino** - Il metodo scientifico come strumento di conoscenza

**Silvio Garattini** - Fuori le prove! Virtù e vizi del trial clinico

**Luigi Garlaschelli** - Medicine Alternative e CICAP

**Silvano Fuso** - Consistenza scientifica di alcune cure alternative

**Fabrizio Benedetti** e **Antonella Pollo** - L'effetto placebo

**Stefano Cagliano** - Guarire dall'omeopatia

**Umberto Tirelli** - Terapie non convenzionali nei pazienti oncologici

**Giorgio Dobrilla** - Medicine Complementari-Alternative: regolamentazione, effetto placebo e olismo

**Roberto Satolli** - I dogmi vincenti dell'eresia

Documento conclusivo

Finito di stampare nel mese di febbraio 2011
presso la Tipografia Città Nuova della PAMOM
Via S. Romano in Garfagnana, 23
00148 Roma - tel. 06 6530467
e-mail: segr.tipografia@cittanuova.it