

**Alcuni aspetti del dilemma
energia-ambiente
nelle società moderne**

Istituto Superiore di Sanità
Roma, 25 marzo 2004

Atti
a cura di
Cecilia Bedetti e Paola De Castro

Istituto Superiore di Sanità
Roma 2005





XIV Settimana della cultura scientifica

**Alcuni aspetti del dilemma
energia-ambiente
nelle società moderne**

Istituto Superiore di Sanità
Roma, 25 marzo 2004

Atti
a cura di
Cecilia Bedetti e Paola De Castro

Istituto Superiore di Sanità
Roma 2005

Istituto Superiore di Sanità

Alcuni aspetti del dilemma energia-ambiente nelle società moderne. Istituto Superiore di sanità. Roma, 25 marzo 2004. Atti.

A cura di Cecilia Bedetti e Paola De Castro

2005, p. 49

I contributi, raccolti in questo fascicolo, rappresentano alcuni argomenti di attualità sul tema energia discussi nel Seminario organizzato presso l'Istituto Superiore di Sanità nell'ambito della XIV Settimana della cultura scientifica e tecnologica. Il fascicolo contiene inoltre una selezione degli elaborati presentati al Concorso "L'energia nella società moderna" per le scuole superiori.

Istituto Superiore di Sanità

Discussing the energy-environment dilemma in modern society. Istituto Superiore di Sanità, Rome, March 25, 2004. Proceedings.

Edited by Cecilia Bedetti and Paola De Castro

2005, p. 49

The papers collected represent some topics on energy issues discussed during the workshop organised by the Istituto Superiore di Sanità (Italian National Institute of Health) within the XIVth edition of the Scientific and technological week. Energy in modern society was the theme of the 2004 edition of the science week. This volume also contains the best drawings realized by high school students within a special award launched during the workshop.

Redazione: Giovanna Morini, Laura Radiciotti, ISS

Progetto grafico della copertina: Cosimo Marino Curianò, ISS

Hanno collaborato all'organizzazione del Concorso: Bruna Auricchio e Anna Bertini, ISS

La pubblicazione è stata realizzata grazie al contributo legge n. 6/2000 concesso dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca al progetto "Il metabolismo della conoscenza nei giovani: una sperimentazione interattiva tra scuole e istituti di ricerca".

Per informazioni su questo documento rivolgersi a: cbedetti@iss.it

INDICE

Presentazione <i>Cecilia Bedetti, Paola De Castro</i>	pag.	1
L'Istituto Superiore di Sanità: l'origine e i successivi sviluppi <i>Giorgio Bignami</i>	pag.	3
Osmosi tra scuole e istituti di ricerca: una realtà in crescita <i>Enrico Alleva</i>	pag.	7
Energia elettromagnetica: luci e ombre <i>Martino Grandolfo</i>	pag.	11
Fare a meno dell'energia nucleare? <i>Eugenio Tabet</i>	pag.	23
Gli elaborati premiati al Concorso	pag.	33
Altri elaborati presentati per il Concorso	pag.	39
Bando per il Concorso "L'energia nella società moderna"	pag.	49

PRESENTAZIONE

Questo fascicolo raccoglie i contributi presentati dai diversi relatori al seminario *Alcuni aspetti del dilemma energia-ambiente nelle società moderne* (svoltosi a Roma il 25 marzo 2004) e una selezione dei lavori elaborati dagli studenti degli istituti secondari, che hanno partecipato al Concorso per le scuole *L'energia nella società moderna*. Entrambe le iniziative si sono svolte nell'ambito della Settimana della cultura scientifica e tecnologica giunta alla XIV edizione. Su iniziativa di Antonio Ruberti, la Settimana è nata nel 1991, con lo scopo di far accostare i giovani alle scienze, attraverso azioni mirate alla diffusione di informazioni scientifiche. È poi proseguita in modo sistematico negli anni successivi. L'Istituto Superiore di Sanità (ISS) vi prende parte dal 1995 illustrando, attraverso il ciclo dei seminari destinati ai giovani, compiti e attività che esso svolge in relazione a problemi sanitari rilevanti e secondo le diverse indicazioni tematiche proposte dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca (MIUR) nel corso degli anni.

La XIV Settimana della cultura scientifica e tecnologica ha posto al centro della riflessione il problema dell'energia nella società moderna, invitando a prendere in considerazione il bisogno da parte dei Paesi industrializzati di grandi quantità di energia (sotto forma di energia elettrica, di calore o di energia meccanica), per il loro funzionamento: nella fabbricazione degli oggetti, nel sistema dei trasporti, nel riscaldamento delle case e degli ambienti di lavoro, nell'illuminazione delle città e delle abitazioni private, nella gestione di tutti gli apparati di telecomunicazione, nell'alimentazione degli elettrodomestici. Senza poi dimenticare i notevoli problemi ambientali che l'uso dell'energia comporta. Il nostro Paese importa circa l'80% di energia dall'estero, perché povero rispetto alle fonti primarie di energia (i combustibili fossili) mentre quelle rinnovabili, non sembrano essere oggi tali da soddisfare le necessità energetiche della nostra società.

Il seminario *Alcuni aspetti del dilemma energia-ambiente nelle società moderne* è stato dedicato al ruolo presente e futuro della fisica nella società. È stato illustrato quanto l'utilizzo delle radiazioni ionizzanti e non, entri quotidianamente nelle nostre vite, facilitandole, e nello stesso tempo si è discusso di come oggi il problema energetico sia oggetto di intense ricerche, date le crescenti necessità di energia a livello planetario e considerando le difficoltà a ottenerla da parte della società industriale nel suo complesso. I relatori sono riusciti a comunicare concetti e problematiche difficili con un linguaggio rigoroso, nello stesso tempo, e accessibile da parte di "non specialisti", suscitando molto interesse e raccogliendo il favore degli studenti e insegnanti presenti in aula. Ne è quindi seguito l'impegno alla pubblicazione degli Atti, con l'intenzione di contribuire a una meditazione ragionata su tematiche particolarmente importanti per lo sviluppo della società civile e sulle quali spesso circola, attraverso i mezzi di comunicazione di massa, un'informazione approssimata e poco attendibile. Basti pensare, per esempio, all'era dell'idrogeno (come illustrato nel contributo di Eugenio Tabet).

In occasione del seminario l'ISS ha lanciato il Concorso per le scuole *L'energia nella società moderna*. La formula del Concorso, già da noi sperimentata in precedenti iniziative - Concorso per il cinquantenario della scoperta del DNA (1) - è stata ritenuta estremamente utile ed efficace perché stimola i ragazzi a esprimersi e confrontarsi su determinati temi favorendo così l'integrazione di conoscenze disciplinari nuove e specifiche nella loro vita quotidiana.

Secondo le modalità previste dal bando (allegato a p. 49) i ragazzi opportunamente preparati dai loro insegnanti, hanno realizzato in classe un elaborato: un disegno, una poesia, un racconto, su un aspetto considerato significativo relativamente agli utilizzi dell'energia o alle conseguenze che comporta per l'ambiente.

Una Commissione *ad hoc** composta da ricercatori dell'ISS, relatori al Seminario, e da uno studente di 17 anni ha valutato i lavori, prendendo in considerazione fattori di diversa natura: correttezza del messaggio, qualità di realizzazione, impatto grafico, ortografia, ecc. Dopo aver attentamente considerato ciascun prodotto, la commissione ha selezionato gli elaborati "vincitori". Si è inoltre ritenuto opportuno segnalare e premiare i lavori meritevoli di altri partecipanti, tramite la loro pubblicazione in questo fascicolo.

Al seminario e al Concorso hanno partecipato studenti e insegnanti provenienti dalle scuole medie superiori distribuite nelle Regioni: Lazio, Campania, Molise, Umbria, Emilia-Romagna. Esse sono: Istituto tecnico nautico statale "Nino Bixio", Piano di Sorrento; Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola; Istituto tecnico commerciale e per geometri "Manlio Rossi Doria", Marigliano; Liceo ginnasio statale "Torquato Tasso", Salerno; Liceo ginnasio statale "G.C. Tacito", Terni; Istituto di istruzione superiore ITAS "S. Pertini", Campobasso; Istituto professionale di Stato per l'industria e l'artigianato "Duca D'Aosta", Istituto professionale di Stato per l'industria e l'artigianato "Europa", Istituto d'istruzione superiore statale "Armando Diaz", Istituto tecnico industriale "Fermi", Liceo classico "Augusto", Liceo scientifico "Aristotele" e il Liceo scientifico tecnologico "Cartesio", Roma; Istituto tecnico commerciale "M. Gattapone" di Gubbio.

A loro va il nostro ringraziamento per il contributo dato alla buona riuscita delle iniziative.

Cecilia Bedetti^a e Paola De Castro^b

(a) *Ufficio Relazioni Esterne, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

(b) *Settore Attività Editoriali, Istituto Superiore di Sanità, Roma*

Riferimenti bibliografici

1. Bedetti C, De Castro P. (Ed.). *La doppia elica vista dai ragazzi*. Roma: Istituto Superiore di Sanità; 2004.

Bibliografia consigliata

Armaroli N, Balzani V (Ed.). *Energia oggi e domani*. Bologna: Bononia University Press; 2004. Disponibile all'indirizzo: www.buonline.com

(* **Composizione della Commissione del Concorso:** Enrico Alleva, Cecilia Bedetti, Paola De Castro, Martino Grandolfo, Renata Solimini ed Eugenio Tabet, Istituto Superiore di Sanità, Roma; Marco Pietrangeli, studente del Liceo scientifico "A. Avogadro", Roma

L'ISTITUTO SUPERIORE DI SANITÀ: L'ORIGINE E I SUCCESSIVI SVILUPPI

Giorgio Bignami

già Istituto Superiore di Sanità, Roma

Sono un ex-ricercatore oramai in pensione da oltre sei anni, dopo quaranta anni di lavoro in questo Istituto. Ora mi occupo a tempo parziale del salvataggio, catalogazione e studio di vecchi documenti e di strumenti dismessi la cui conservazione può essere utile e significativa a fini storico-scientifici e scientifico-didattici. Mi limiterò a un breve intervento mirato a illustrare rapidamente alcuni degli eventi più importanti che riguardano le origini e il primo mezzo secolo di sviluppo dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS), senza pretesa di completezza e omettendo moltissimi dettagli pur importanti.

Questo Istituto ha una storia assai diversa da quella di istituzioni analoghe di vari Paesi con funzioni di ricerca e controllo nel campo della sanità pubblica. Infatti, esso è stato costruito nei primi anni '30 del '900 grazie a un accordo tra il governo di allora, che era il governo fascista destinato a essere travolto dopo pochi anni dagli eventi bellici, e una grande fondazione statunitense, la Fondazione Rockefeller. Questa utilizzando i cospicui fondi stanziati dall'omonima famiglia di magnati, finanziava in diversi Paesi programmi di varia natura, compresi programmi di ricerca mirati a risolvere gravi problemi di salute pubblica. In Italia, assai importante era un programma pluriennale di lotta contro la malaria, allora un grave flagello nel nostro Paese e in molti altri dove purtroppo lo è tuttora, a differenza dal nostro che se ne è liberato (salvo che per i casi di importazione dai paesi ancora infestati). L'Italia era considerata un Paese particolarmente idoneo per questa attività. Infatti, da un lato aveva da risolvere il problema sanitario, sociale ed economico-politico di un'altissima incidenza di questa malattia che condizionava pesantemente lo sviluppo di varie regioni soprattutto nel Sud, dall'altro aveva una solida tradizione scientifica di ricerca malariologica. Questo rendeva più efficace la collaborazione con gli esperti inviati dai committenti, cioè dalla Fondazione Rockefeller, e inoltre assicurava che i risultati degli auspicabili progressi delle conoscenze teoriche e pratiche, comprese quelle mirate al controllo e alla eradicazione dei vettori (le zanzare del genere *Anopheles*), sarebbero state agevolmente trasferibili a Paesi scientificamente più arretrati ed economicamente più poveri.

In questo contesto nacque l'idea, abbastanza rapidamente messa in pratica attraverso un accordo formale tra italiani e americani, di un cofinanziamento alla pari - 50% per ciascuna parte - di un nuovo istituto di ricerca e controllo per la salute pubblica, per il quale la Fondazione Rockefeller si impegnava a versare *una tantum* una cifra corrispondente all'incirca alla somma dei finanziamenti per la lotta antimalarica previsti per gli anni successivi. Questa formula tra l'altro significava che se l'accordo non fosse stato fatto e applicato allora, l'ISS probabilmente non sarebbe mai nato. Infatti, poco dopo la sua costruzione nei primi anni '30, la successiva inaugurazione nel 1934 e l'effettiva entrata in funzione nel 1935, Mussolini si impegnò nell'impresa coloniale che doveva portare alla fondazione dell'Impero, impresa che provocò gravi problemi economici, con nuove tasse, tagli alla spesa pubblica, ecc. (Questo si riflette in una paro-

dia oggi dimenticata della nota canzone composta per celebrare l'impresa abissina: "Faccetta nera, brutta assassina, che c'hai messo a 1,80 la benzina...". Per i modesti bilanci degli italiani di allora, che raramente guadagnavano più di qualche centinaio di lire al mese e che sognavano spesso invano le mille lire al mese dell'altra famosa canzonetta, una lira e ottanta per un litro di benzina erano veramente una cifra enorme, considerando anche i consumi assai più elevati delle macchine di allora rispetto a quelle odierne). Quindi negli anni successivi il finanziamento italiano sarebbe quasi certamente venuto a mancare: tanto è vero che nell'intervallo tra inaugurazione ed entrata in funzione si constatò che i soldi non bastavano per rifiniture, arredi, strumenti scientifici e quant'altro serviva per mettere l'Istituto in condizione di avviare la sua attività, teoricamente a carico dell'Italia. E allora gli americani, piuttosto che veder fallire l'impresa con spreco dei soldi da loro già versati, accordarono un secondo stanziamento *una tantum* per tappare il buco.

In prima battuta, confluirono nel nuovo Istituto quattro importanti tipi di attività di competenza della sanità pubblica - che allora apparteneva al Ministero dell'Interno - attività che in precedenza si erano sviluppate in altre sedi. La prima era quella già citata riguardante la malaria, che seguì a occupare un posto importante sino alle grandi campagne che consentirono l'eradicazione della malattia negli anni del secondo dopoguerra. La seconda era una attività di fisica sanitaria che era stata istituita negli anni '20 come "Ufficio del radio", per il controllo dei campioni di radio destinati ad attività mediche, e che si era notevolmente espansa con la crescita della attività di radiologia medica. Questo settore era ospitato dal famoso Istituto di Fisica dell'Università di Roma allora sito in quell'edificio di via Panisperna che ora si spera di poter utilizzare come centro di ricerca storica nel campo della fisica e come museo, trattandosi del luogo dove furono fatte le prime significative scoperte di Enrico Fermi, poi emigrato negli Stati Uniti, e dalla sua équipe di "ragazzi di via Panisperna". Un terzo settore era dedicato alla microbiologia, allora soprattutto batteriologia, essendo ancora limitate le conoscenze sulle malattie virali, un settore assai importante particolarmente in quel periodo nel quale erano ancora assai frequenti malattie spesso mortali come, per esempio, il tifo. (Proprio in quel periodo e proprio a Roma si verificò una grave epidemia provocata dal ritardo della andata a regime della nuova Centrale del latte, dato che le autorità rifiutarono di avvisare la popolazione dei rischi della mancata pastorizzazione dell'alimento, avendo in precedenza condotto un'intensa campagna per convincere i cittadini a rinunciare alla bollitura). Infine un settore chimico era dedicato soprattutto all'analisi delle possibili adulterazioni degli alimenti già a quei tempi frequentissime. Questi ultimi due settori erano stati alloggiati per un certo numero di anni nell'ex Convento di S. Eusebio a piazza Vittorio Emanuele, ancor oggi facilmente identificabile poiché la sua chiesa, in cima a una scalinata, domina un angolo della piazza stessa.

Negli anni tra il 1935 e lo scoppio della guerra l'Istituto, guidato dal professor Domenico Marotta, Direttore di grandi capacità tecnico-scientifiche e manageriali, assai abile nel gestire i rapporti con le parti politiche senza mai inchinarsi a pressioni interessate (per esempio, egli condusse con successo, andando contro interessi agrari e industriali consistenti e contro potenti gerarchi che li sostenevano, difficili battaglie per garantire l'integrità di alimenti-base come la farina e l'olio), si sviluppò rapidamente sino a raggiungere una dimensione consistente sul piano qualitativo e quantitativo, con varie centinaia di ricercatori e tecnici altamente qualificati e una rete interna di servizi di primissimo ordine. Poi, inevitabilmente, venne la battuta d'arresto della guerra,

ma per fortuna l'Istituto fu risparmiato dalla distruzione nei terribili bombardamenti di San Lorenzo del luglio e agosto 1943; ciò costituì una sorta di miracolo: lo si può constatare guardando le fotografie della devastazione di tutta la zona, compresi lo scalo ferroviario, la basilica, il cimitero del Verano, i grandi palazzi popolari del quartiere in cui morirono migliaia di persone (le quali confidando nell'immunità della città Santa erano rimaste in casa e per strada col naso in su a guardare i bombardieri che pensavano destinati altrove, anziché scendere nei rifugi, peraltro spesso fragilissimi), le vetture tranviarie squarciate dalle bombe sul viale della Regina a pochi metri dal nostro edificio principale. Passata la bufera, l'Istituto con le sue risorse praticamente intatte non solo riprese subito il suo lavoro, ma fece rapidamente mosse importanti per avviare altre attività rispondenti ai più moderni sviluppi della scienza medica e sanitaria. Furono così chiamati dalla Francia, dove lavoravano all'Istituto Pasteur di Parigi, Daniel Bovet e la sua collaboratrice e moglie Filomena Bovet Nitti, figlia dello statista Francesco Saverio in esilio per motivi politici, per creare i laboratori di Chimica Terapeutica con importanti attività di farmacologia e chimica del farmaco (Bovet riceverà nel 1957 il Premio Nobel soprattutto per i suoi lavori sugli antistaminici, ampiamente usati nelle malattie allergiche, e per i curari di sintesi, usati dai chirurghi per paralizzare i muscoli e così facilitare molti interventi). Poco più tardi verrà chiamato dall'Inghilterra Ernst Boris Chain, che nel 1945 aveva già ricevuto il Premio Nobel assieme a Fleming e Florey per lo sviluppo della penicillina, il primo antibiotico realmente efficace, per creare un vasto settore di ricerca nei campi della chimica biologica e delle genetica e chimica microbiologica, finalizzati soprattutto ma non soltanto alla messa a punto e alla produzione di antibiotici.

Negli anni '50 e nei primissimi anni '60 l'Istituto andò così a gonfie vele, acquistando un notevole prestigio anche in campo internazionale; ma già nei primi anni '60 cominciarono ad accendersi faide scientifiche e politiche spesso pilotate dall'esterno che con il pensionamento del Professor Marotta si aggravarono irrimediabilmente e provocarono guasti gravissimi, compreso l'abbandono dell'Istituto da parte dei due Premi Nobel Bovet e Chain i quali si rifugiarono all'Università, il primo in Italia e il secondo in Inghilterra. Da questo punto in poi la storia si complica notevolmente, con una serie di alti e bassi che non posso neanche tentare di descrivere sommariamente, ma che alla fin fine sfociarono nel salvataggio dell'Istituto, che molti consideravano condannato a un inesorabile declino, e infine nel suo rilancio favorito anche da circostanze politiche favorevoli. Nel 1973, infatti, varie parti anche di opposti schieramenti si accordarono per varare una Legge di ristrutturazione notevolmente innovativa (la Legge n. 519/1973) e successivamente, con la Legge di riforma sanitaria (n. 833/1978), venne riconosciuta all'Istituto la funzione di organo tecnico-scientifico del Servizio Sanitario Nazionale. Questo consentiva sostanziosi incrementi delle risorse sia finanziarie che di personale con una notevole articolazione delle funzioni di ricerca, di controllo e di intervento sui maggiori problemi che via via si presentavano (la diossina di Seveso, il colera, il male oscuro e il terremoto in Campania, ecc.), e con una notevole espansione delle attività sulla scena internazionale, sia attraverso collaborazioni di ricerca, sia mediante contributi notevoli alle attività, per esempio, dell'Organizzazione Mondiale della Sanità soprattutto a favore dei Paesi in via di sviluppo. Con successivi atti in applicazione delle Leggi del 1973 e 1978, l'Istituto è così cresciuto sino ad avere 21 laboratori suddivisi in circa 100 reparti ad alta specializzazione e un'ampia gamma di servizi tecnici e amministrativi.

Nei primi anni del nuovo millennio, dopo molte tergiversazioni negli anni precedenti e varie battute d'arresto determinate dai successivi cambiamenti politici, il legislatore e il governo hanno deciso che era giunto il momento di operare un radicale ammodernamento della struttura dell'ISS, che doveva lasciare la sua vecchia condizione di amministrazione statale (pur con varie atipie rispetto alla maggioranza delle altre) per diventare Ente di diritto pubblico con più ampie autonomie sul piano tecnico-scientifico e gestionale. Questo ha comportato una sorta di marcia indietro rispetto all'articolazione e frammentazione oramai eccessiva della struttura: quindi i 21 laboratori sono stati scomposti e ricomposti in una decina di Dipartimenti e Centri nazionali di grandi dimensioni.

La giornata di oggi è dedicata soprattutto ai problemi fisico-sanitari dell'energia, problemi che hanno rappresentato per l'Istituto un impegno notevole per diversi decenni, come vi verrà illustrato nelle relazioni di Grandolfo e Tabet. Concludo con un sentito ringraziamento a voi tutti per essere venuti oggi a informarvi delle nostre attività, e con l'auspicio che questa mattinata sia utile e fruttuosa ai fini della integrazione della vostra formazione.

OSMOSI TRA SCUOLE E ISTITUTI DI RICERCA: UNA REALTÀ IN CRESCITA

Enrico Alleva

*Dipartimento di Biologia Cellulare e Neuroscienze,
Istituto Superiore di Sanità, Roma*

Sono un ricercatore e mi posso presentare con facilità perché di mestiere, almeno così mi viene detto (e viene regolarmente scritto), faccio l'etologo. E tutti sanno, grazie ai libri di Konrad Lorenz, cos'è l'etologia. Anche grazie a una trasmissione televisiva "Geo & Geo" (per la cronaca, è un'impresa che è stata inventata in questo edificio da Claudio Carere, Igor Branchi e dal sottoscritto), tutti voi avete visto di cosa si occupano gli etologi: si occupano di osservare gli animali, ma oggi non vi parlerò di questo. Parlerò, invece, di "osmosi" tra la scuola (voi studenti) e noi, gli addetti alla ricerca scientifica. Osmosi sta a significare che c'è un passaggio: un passaggio chimico, un'attrazione tra molecole: quel reciproco desiderio di incontro che dà un senso a voi insegnanti e a voi alunni, che siete venuti in visita a un'istituzione di ricerca, e a noi ricercatori che abbandoniamo le nostre provette, i nostri gel, l'osservazione delle scimmie o dei ratti da laboratorio, e siamo qui a parlare di scienza.

L'Italia è indietro in molte cose, è un Paese "mosaico di modernità": siamo abbastanza esterofili, parliamo spesso male del nostro lavoro, del nostro Paese, ma non ricordiamo invece che siamo il primo Paese europeo ad aver lanciato e sviluppato l'iniziativa che ci riunisce: la Settimana della scienza. Certamente esistevano altre iniziative simili, ci sono delle grandi esperienze storiche anche negli USA, sono attivi musei interattivi bellissimi come l'*Exploratorium* di San Francisco, c'è un grande museo della scienza a Monaco (che varie scuole, anche italiane, cominciano a visitare), ma non esisteva questa specie di rituale, questa Settimana specificamente dedicata diciamo a una "Pasqua di resurrezione della curiosità scientifica" nella quale accade una cosa molto semplice: noi apriamo le porte dei nostri laboratori per voi studenti, e vi raccontiamo il nostro lavoro.

Oggi anche l'Università di Roma "La Sapienza", qui di fronte a noi, apre le porte dei suoi musei: quindi, qualcuno può andare a giocare con le ossa di un mammut, qualcun altro può osservare da vicino la collezione di zanzare malariche, qualcun altro gli strumenti chirurgici antichi e moderni: voi entrate qui all'Istituto Superiore di Sanità (ISS), e rendiamo assieme possibile questo contatto in cui noi raccontiamo a voi del nostro impegno scientifico, e voi ci fate il piacevolissimo onore di venirci a trovare.

Allora domandiamoci in apertura della giornata: "Qual è il senso di questa iniziativa? Perché oggi voi siete qui?".

Siete qui per fare una lezione speciale: oggi si parlerà di energia (tema attualissimo) e avrete a parlarvene dei ricercatori di primissimo ordine, proprio quelli che si occupano professionalmente e da lungo tempo di questi problemi che vi racconteranno; ma siete anche entrati molto vicini a dei laboratori di ricerca ed è questo il senso ultimo e "carnale" di questo progressivo accrescimento di contatti, di questa sorta di comunione annuale tra noi e voi. Perché noi vorremmo che voi aveste una maggiore familiarità

non semplicemente col racconto della scienza, ma proprio con la scienza vera, la scienza praticata, narrata con un certo orgoglio. Posso assicurarvi che anche quest'anno, come in precedenza, qualcuno di voi si metterà un camice e farà un esperimento.

Ci sono infatti alcuni studenti del Liceo "Virgilio", che sono stati ospiti in questo Istituto; noi ne volevamo ospitare solo due invece alla fine sono stati tre perché, evidentemente, l'interesse era forte a far finta di essere un giovane scienziato, e a noi dispiaceva non appagare questa vostra curiosità.

Diciamo però, per onestà intellettuale, che in questa odierna iniziativa c'è qualcosa di profondamente egoistico da parte nostra. Voi siete tanti oggi in questa sala e io mi chiedo, quando passeranno venti, trenta anni, quanti di voi saranno diventati ricercatori? Quanti di voi arrivati al quarto o al quinto anno del liceo, quando dovranno affrontare quelle così impegnative "scelte di vita" ("cosa fare da grandi"), si faranno venire in mente che fare il chimico, fare il fisico che si occupa di ambiente, fare l'etologo potrebbe essere una scelta d'iscrizione universitaria? Quindi il senso di questa iniziativa è proprio quello di sollecitare in voi delle curiosità e (anche per noi misurare quanto siamo effettivamente attraenti per voi) perché, se voi non ci sostituirate un giorno nei laboratori, i nostri laboratori chiuderanno. Quindi noi oggi abbiamo bisogno di voi, quanto voi avete bisogno di noi: tutti abbiamo bisogno di tutti per mandare avanti l'impresa scientifica nazionale e globale e quindi vi invito, e invito soprattutto gli insegnanti romani, a considerare un dato importante: il 50% di tutta la ricerca italiana pubblica quanto a numero di addetti è concentrata nel Lazio, una grandissima parte a Roma, quindi per chi insegna a Roma il numero di laboratori a disposizione per visite è enorme e il numero di laboratori da far visitare agli studenti è davvero assai cospicuo. Qui sono molto più numerose quelle attività nelle quali studenti e ricercatori possono interagire, quindi il Lazio, e in particolare Roma, è zona particolarmente fortunata.

Noi abbiamo la fortuna di avere colleghi dell'ISS diligenti e impegnati come Cecilia Bedetti e Paola De Castro, che hanno stabilito un *network* molto interessante e vivace con alcune scuole, addirittura con scuole di altre regioni; ricordo anche un liceo di Caltanissetta che era interessato alle nostre conferenze: attualmente con la tecnica della videoconferenza è possibile parlare anche con loro ed estendere a zone extraregionali conferenze e successivi dibattiti.

Sono qui a testimoniare una presenza a questa importante iniziativa anche come membro del comitato tecnico-scientifico che gestisce questa attività (Legge 6/2000 del Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) e vi assicuro che scegliere i temi della Settimana scientifica non è mai stato facile. Quest'anno sono state promosse due importanti tematiche: la problematica dell'energia e i fattori che promuovono il "non invecchiamento" della popolazione (perché in Italia si invecchia sempre meno). In realtà di tematiche proposte ce ne erano tante: c'era anche un'iniziativa contro gli oroscopi, ma poi abbiamo deciso che promuovere un'iniziativa "contro" potesse far pensare che il solo considerarli li avrebbe indirettamente resi "scientifici" e abbiamo perciò scartato il tema.

Vorrei brevemente dire qualcosa degli insegnanti. Nella storia della ricerca italiana il ruolo degli insegnanti è importante. Il Rettore dell'Università qui di fronte "La Sapienza", Giorgio Tecce, per anni è stato un insegnante di chimica dei licei, nei *curriculum* di tantissimi docenti universitari, che poi sono diventati scienziati importanti, l'insegnamento era in passato una delle prime forme di sussistenza economica: svolgere supplenze nei licei era un mestiere profondamente osmotico, complesso, conta-

minante. Si faceva all'inizio la didattica liceale e universitaria e poi dopo in qualche modo si entrava in forma più o meno stabile in un ente di ricerca o all'Università. Questa tradizione noi l'abbiamo attualmente persa. Anche se permane per gli insegnanti di materie umanistiche, soprattutto nel meridione d'Italia: l'insegnante di greco, di latino, di letteratura italiana partecipa alle attività dell'Università, dell'Accademia, su queste iniziative culturali. Per gli insegnanti di scienze è diverso, tranne sporadiche iniziative, ma augurabilmente in crescita. Ricordo quella che si tiene presso il Consiglio Nazionale delle Ricerche, all'Istituto di Scienze e Tecnologia della Cognizione con Silvia Caravita, che si occupa proprio di didattica scolastica, anche con le scuole elementari: costruiscono acquari, hanno attività di tipo didattico innovativo, anche con bambini molto piccoli. Questo legame in genere non è immediato con gli insegnanti di scienze: in passato il legame classico con l'Università era essere nominato cultore della materia o avere un gemellaggio storico con qualche istituzione: l'insegnante di liceo magari al pomeriggio svolgeva gli esami all'Università, o teneva qualche lezione, sostituiva qualche volta il docente universitario istituzionale.

Nel nostro gruppo di ricerca c'è stato solamente un insegnante che ha partecipato regolarmente alle nostre attività (di una scuola peraltro abruzzese, Nicola Olivieri): è venuto a fare gli esperimenti nel mese di agosto, ma è stato una mosca bianca. C'è dunque bisogno di maggiore interazione fra il mondo della scuola e quello della ricerca, e tanto noi quanto gli insegnanti avremo il dovere di impegnarci a tal fine.

Per voi ragazzi un docente che in qualche modo interagisca con il mondo della ricerca in maniera non strutturata (volontaristica, non in una forma che necessariamente dia un punteggio per un futuribile Concorso), ma semplicemente per desiderio di crescita culturale personale, è l'insegnante migliore, perché sarà poi l'insegnante che andrà utilmente a "giocherellare" con le vostre vocazioni per fare questo mestiere. Sarà quell'insegnante che vi farà sorgere, assai augurabilmente, curiosità scientifiche pilotate ma anche autonome. Io, per esempio, devo ricordare che ho avuto un insegnante di scienze formidabile: quando ero ragazzo mi hanno chiesto di rimettere a posto la collezione di uccelli imbalsamati del Liceo "Torquato Tasso" di Via Sicilia (a Roma), e mi sono divertito moltissimo; c'era anche un enorme scimpanzé imbalsamato e noi studenti dicevamo per scherzo che era il nipote di una bidella che si chiamava Tecla che l'aveva sistemato lì con una raccomandazione; lo chiamavano il nipote di Tecla. Io invece avevo scritto sulla sua etichetta *Pan paniscus* che era il nome latino ufficiale; per me è stato un atto fondamentale di piccola scienza praticata.

Mi ricordo la prof.ssa Paroli, che poi è scomparsa prematuramente, ed era la sorella di un noto farmacologo universitario. Lei è stata "la mia professoressa di scienze"; ricordo che mi chiamò e mi disse: "Che cosa combini, hai appena avuto sei in condotta, ma che succede nelle ore delle materie letterarie? Nelle mie ore sei così bravo, sei così attento... guarda che ti rimandano in tutte le materie" e quindi io che avevo avuto sei e vari sette in condotta (non dovrei per questo vantarmi ma mi presento anche per le mie pecche) la ricordo con immenso e immutabile affetto.

Già che ci sono, vi dico che del mio mestiere ho cercato di fare propaganda attiva, ho scritto un libro e gli faccio pubblicità perché tutti i proventi vanno all'associazione ambientalista Legambiente, quindi io non ci guadagno una lira: si intitola *Consigli a un giovane etologo* e lì dentro c'è scritto cosa leggere e cosa fare se si sceglierà il mestiere che facciamo noi etologi. Con grande soddisfazione, ma anche timore, vedo apparire negli anni qualche messaggio sulla mia posta elettronica: "Ho

letto il suo libro, sono uno studente del liceo tal dei tali, di una qualche parte d'Italia (perché questo è il bello della telematica), mi potrebbe consigliare in quale Università andare a iscrivermi?”.

Mi auguro, quindi, che oggi o domani tra voi ci sia qualcuno che possa scegliere il mestiere di scienziato e anche qualcuno che, cosa molto rara, ma perché mai impossibile, consegua il Premio Nobel.

Ce lo ha raccontato Giorgio Bignami poco fa, in questo Istituto hanno lavorato ben tre Premi Nobel (Daniel Bovet, Ernst Boris Chain e Rita Levi-Montalcini). Questo quartiere di Roma è pieno di Premi Nobel, c'era Grazia Deledda che abitava a Via Imperia, Luigi Pirandello a Via Bosio, Rita Levi-Montalcini a Via di Villa Massimo, Bovet sempre a Via di Villa Massimo, Chain abitava dalle parti di Piazza Bologna. Perché non sperare che tra voi studenti romani e italiani non ci sia un nucleo futuro di scienziati di elevatissimo livello professionale? È nostro dovere di ricercatori scoprirlo, e aiutare voi stessi a scoprirlo con noi.

ENERGIA ELETTROMAGNETICA: LUCI E OMBRE

Martino Grandolfo

Dipartimento di Tecnologie e Salute, Istituto Superiore di Sanità, Roma

Obiettivo di questo intervento è il trasferimento di alcune informazioni di base sulla natura della radiazione elettromagnetica non ionizzante e, quindi, dell'energia elettromagnetica e su quali siano le potenzialità e i rischi che si possono realisticamente associare al suo utilizzo.

Con il termine radiazione vengono abitualmente descritti fenomeni apparentemente assai diversi tra loro, quali l'emissione di luce da una lampada, di calore da una fiamma, di particelle da una sorgente radioattiva, ecc. Caratteristica comune a tutti questi tipi di emissione è il trasporto di energia nello spazio e il suo possibile assorbimento da parte della materia incontrata lungo il suo cammino.

Quando la radiazione elettromagnetica interagisce con la materia possono instaurarsi due possibili scenari (Figura 1).

La radiazione può essere in grado di trasferire, agli elettroni presenti nella materia investita, un'energia superiore a quella che li lega al loro atomo di appartenenza. In questo caso l'elettrone abbandona l'atomo (Figura 1a), lasciando dietro di sé un sistema atomico che, privo di una carica elettrica negativa, non risulta più neutro ma

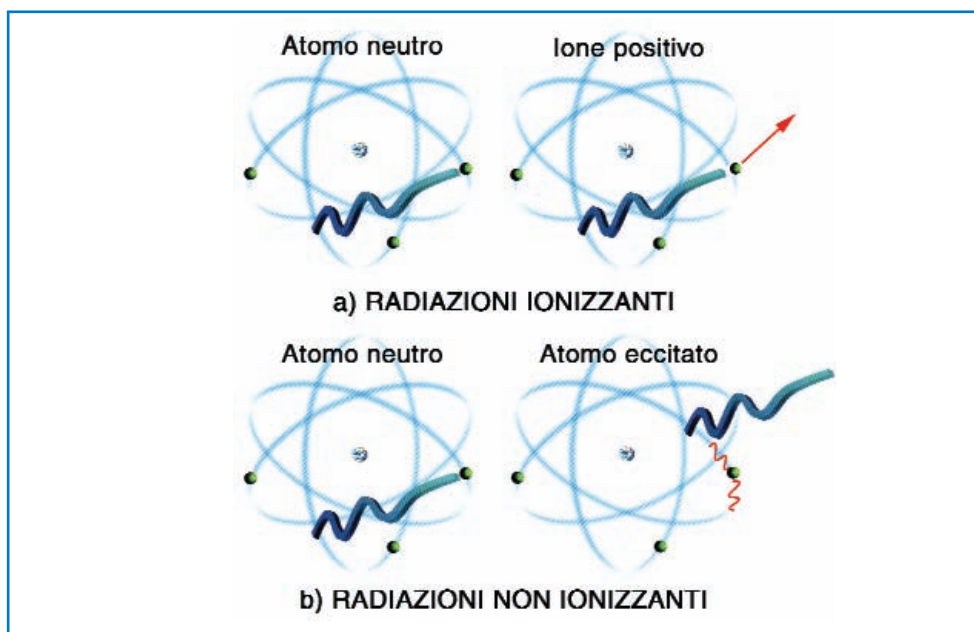


Figura 1 - Le radiazioni ionizzanti (a) sono energeticamente in grado di produrre ioni nella loro interazione con la materia, al contrario delle radiazioni non ionizzanti (b), che non sono in grado di cedere agli elettroni un'energia superiore a quella di legame

carico positivamente. Questo processo prende il nome di ionizzazione della materia e l'atomo, divenuto positivamente carico, è ciò che viene indicato con il termine di ione (in questo caso, positivo). Sulla base di queste considerazioni, la radiazione capace di produrre ioni prende il nome di radiazione ionizzante. I raggi X e i raggi gamma appartengono, per esempio, a questa categoria, che verrà trattata successivamente dal Prof. Tabet.

Se la radiazione elettromagnetica non risulta in grado, dal punto di vista energetico, di allontanare definitivamente un elettrone dalla sua orbita atomica (Figura 1b), cioè di produrre ioni, è in grado, comunque, di trasferirgli una certa quantità di energia, inducendo processi di eccitazione nell'atomo, legati a moti vibrazionali e rotazionali innescati nell'elettrone stesso durante l'interazione.

Il termine di radiazione non ionizzante è quello adottato, di conseguenza, per individuare proprio questo secondo caso, caratterizzato da un meccanismo primario di interazione con la materia che non è quello della ionizzazione.

In termini operativi, le radiazioni non ionizzanti comprendono i campi elettrici e magnetici statici, quelli a frequenze estremamente basse (ELF - Extremely Low Frequencies), le radiofrequenze (RF), le microonde (MO) e la radiazione ottica. Questa relazione tratterà, in particolare, i campi ELF e RF/MO.

L'azione lesiva delle radiazioni è la diretta conseguenza dei processi fisici di eccitazione e/o ionizzazione degli atomi e delle molecole che costituiscono i tessuti biologici e, quindi, l'organismo umano. Il confine fra le radiazioni ionizzanti e quelle non ionizzanti, non determinabile in termini precisi, si colloca tra la radiazione ultravioletta e i raggi X di bassa energia.

In precedenza si sono introdotti termini quali radiazione elettromagnetica, campo elettrico, campo magnetico: ma che cos'è un campo e che relazione ha con la radiazione?

Per rispondere a questa domanda conviene fare riferimento a un'esperienza che tutti abbiamo sin dalla nascita e a cui siamo, quindi, completamente assuefatti. Ognuno di noi ha coscienza del proprio peso, cioè quella forza che, se non contrastata attraverso l'applicazione di qualche vincolo, ci attira inevitabilmente verso terra. È noto che ciò deriva da una proprietà intrinseca della materia, che è quella di attrarsi. Noi siamo sempre soggetti a un certo numero di forze che instaurano un'attrazione reciproca fra la nostra massa e quella di tutti gli altri oggetti nelle vicinanze. Quello che succede, però, è che la presenza di una massa enormemente più grande di tutte le altre, cioè quella della Terra, fa sì che questa prevalga in intensità, per cui sembra che tutte le cose vengano attratte dal nostro pianeta (dando luogo al loro peso) e non si ha, invece, alcun sentore delle attrazioni reciproche fra queste in atto.

In fisica, quando su un oggetto si esercita una forza, ma non solo in un certo istante e in un certo punto dello spazio, come avviene per esempio quando con un martello si vuole fissare un chiodo, ma sempre e in qualunque punto della zona di spazio in cui esso venga a trovarsi, si parla non più genericamente di una forza, ma di un campo di forze; per esempio, la forza peso viene interpretata affermando che la Terra, in quanto dotata di massa, genera nello spazio circostante un campo di forze, detto campo gravitazionale. Il campo gravitazionale è generato da una massa e solo le masse sono in grado di risentirne l'azione (Figura 2a).

Un concetto analogo vale anche per le cariche elettriche: una carica elettrica, per la sua sola presenza nello spazio, genera in esso qualcosa, chiamato appunto campo elettrico, che solo altre cariche elettriche sono in grado di "sentire", nel senso che risentiranno di una forza direttamente legata alla presenza della prima carica.

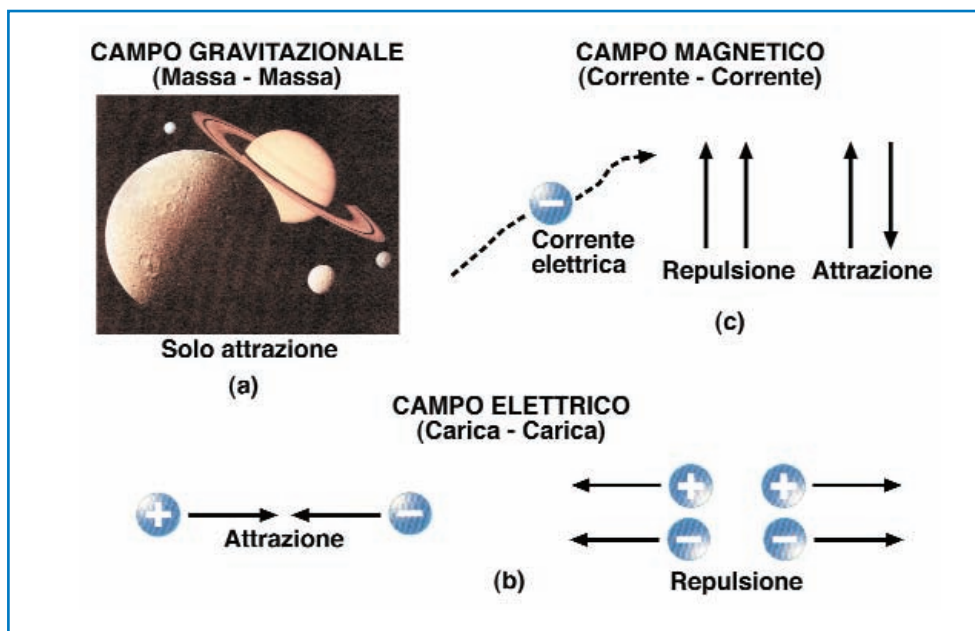


Figura 2 - I campi di forza descrivono situazioni in cui su un oggetto si esercita una forza sempre e in qualunque punto della zona di spazio in cui esso venga a trovarsi. Fra i campi di forza noti in fisica, una posizione di particolare interesse è occupata dal campo gravitazionale (a), dal campo elettrico (b) e dal campo magnetico (c). Il campo gravitazionale è sempre caratterizzato da forze di tipo attrattivo, mentre i campi elettrici e magnetici possono dar luogo sia a forze attrattive che repulsive

Per definizione, ogni massa, o ogni carica, può essere intesa come sorgente, rispettivamente, di un campo gravitazionale o di un campo elettrico. Assegnare il ruolo tra chi è sorgente del campo e chi ne subisce l'azione è solo legato a una convenzione, o a forti differenze esistenti tra le masse o le cariche in gioco. Per esempio, nel caso del campo gravitazionale, i cui effetti sono più noti, a nessuno verrebbe in mente di associare il proprio peso all'attrazione esercitata dal proprio corpo sulla Terra e non viceversa, anche se le due descrizioni sarebbero, in linea di principio, del tutto equivalenti.

Una profonda differenza caratterizza, però, il campo gravitazionale e il campo elettrico. In natura esiste un unico tipo di massa, e ciò porta al fatto che le forze gravitazionali siano sempre di un tipo, a carattere attrattivo. Al contrario, come si è visto in precedenza descrivendo la struttura atomica della materia, esistono cariche di due segni e ciò comporta, nel caso del campo elettrico, che le forze in gioco (Figura 2b) possano essere sia di natura attrattiva (cariche di segno opposto) che repulsiva (cariche di segno uguale).

Il concetto di campo elettrico è stato introdotto in fisica per descrivere la natura e la distribuzione spaziale delle forze che, generate da cariche elettriche, fanno risentire la propria azione su altre cariche elettriche. Nel sistema internazionale delle unità di misura, l'intensità del campo elettrico viene espressa in volt al metro (V/m) e suoi multipli, o sottomultipli.

Grazie alla forza che esercita sulle cariche, il campo elettrico è in grado di provocare correnti elettriche, cioè spostamenti di carica, in tutti i materiali dotati di una conducibilità elettrica non nulla (quindi anche nei tessuti biologici). Per questo motivo è

necessario distinguere due casi: quello in cui le cariche che generano il campo siano ferme e quello in cui le stesse cariche si muovano nello spazio (o in un filo conduttore), a costituire una corrente elettrica.

In linea di principio sarebbe possibile descrivere con il solo campo elettrico anche le forze che si esercitano fra cariche in movimento, cioè fra correnti elettriche, ma il loro studio risulta fortemente semplificato introducendo un nuovo tipo di campo. L'osservazione fondamentale è che anche una corrente elettrica, la cui unità di misura è l'ampere (A), fa risentire una forza su un'altra corrente che circoli nelle sue vicinanze (Figura 2c) e il campo di forze così generato è quello che prende il nome di campo magnetico. Poiché le correnti possono fluire in un filo, o nello spazio, secondo due versi tra loro opposti, anche per il campo magnetico possono generarsi forze attrattive (correnti che fluiscono in versi opposti) o repulsive (correnti che fluiscono nello stesso verso), come indicato nella Figura 2c.

Attraverso il concetto di campo magnetico descriviamo, quindi, la perturbazione delle proprietà dello spazio determinata dalla presenza di una corrente elettrica, perturbazione che si manifesta con una forza che agisce su ogni altra corrente elettrica presente nello stesso spazio. Questo viene comunemente descritto o mediante il campo magnetico, H , che si misura in ampere al metro (A/m), oppure attraverso il vettore, B , detto densità di flusso magnetico o, più semplicemente, campo d'induzione magnetica, la cui unità di misura è il tesla (T).

Le cariche e le correnti elettriche sono, dunque, le sorgenti materiali, rispettivamente, del campo elettrico e del campo magnetico. Ora ci chiediamo: cosa accade quando le cariche si muovono e, muovendosi, non lo fanno con velocità costante?

Il modo più semplice, ma completo, di analizzare i fenomeni variabili nel tempo è quello di considerare, come indicato nella Figura 3a, il moto di una carica che oscilli entro

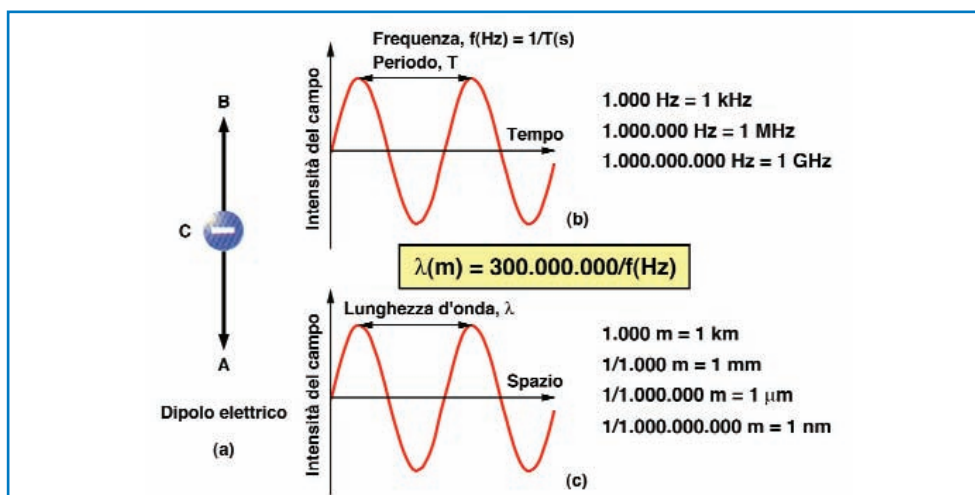


Figura 3 - Una carica che oscilla entro un segmento ACB di materiale conduttore (a) prende il nome di dipolo elettrico. L'oscillazione della carica genera nello spazio circostante un campo elettrico e un campo magnetico variabili sinusoidalmente nel tempo (b) e nello spazio (c). La frequenza, f , si esprime in hertz (Hz); molto usati sono anche i suoi multipli, quali il kilohertz (kHz), il megahertz (MHz) e il gigahertz (GHz). In aria, o nel vuoto, la corrispondente lunghezza d'onda, λ , espressa in metri, vale 300.000.000 diviso il valore della frequenza espresso in hertz. Sottomultipli molto usati sono il millimetro (mm), il micrometro (μm) e il nanometro (nm)

un segmento di materiale conduttore. Questo sistema si chiama dipolo elettrico ed è utilissimo per studiare le proprietà dei campi elettrici e magnetici variabili nel tempo.

Introdotta il concetto di dipolo, ipotizziamo di effettuare due esperimenti ideali. Nel primo esperimento posizioniamo, in un certo punto dello spazio posto nelle vicinanze (ma non troppo) di quello in cui è attivo un dipolo elettrico, un misuratore ideale capace di valutare, istante per istante, l'intensità del campo elettrico (o del campo magnetico). L'andamento nel tempo dell'intensità dei campi rilevata dagli apparati di misura seguirebbe un andamento oscillatorio, come indicato nella Figura 3b. Scopriremmo anche che il tempo, T , necessario alla carica (nel dipolo) per compiere un'oscillazione completa, cioè partire da una delle sue estremità (A), raggiungere la seconda estremità (B) per poi ritornare nuovamente, attraverso il punto centrale (C), a quella di partenza, coincide con il tempo intercorrente fra due valori massimi del campo. Questo tempo prende il nome di periodo dell'onda ed è espresso in secondi (s), o suoi multipli e sottomultipli. L'inverso del suo valore corrisponde, per definizione, al numero di oscillazioni complete effettuate dalla carica in un secondo. Questa importante grandezza è detta frequenza del campo variabile nel tempo ed è espressa in hertz (Hz). Come indicato nella Figura 3b, anche nel caso della frequenza sono molto usati i suoi multipli. La frequenza di 1 Hz corrisponde a un'oscillazione completa al secondo; un battito cardiaco di 60 pulsazioni al minuto, pari a una pulsazione al secondo, ha quindi proprio la frequenza di 1 Hz.

Il secondo esperimento ideale consiste nel posizionare non più solo un misuratore, ma un loro gran numero intervallati lungo una direzione dello spazio che, partendo dalla sorgente, cioè dal dipolo stesso, se ne allontani indefinitamente. L'ipotesi è che, anche in questo caso, tutti questi misuratori siano in grado di valutare, nei punti in cui sono stati rispettivamente collocati, l'intensità del campo elettrico (o del campo magnetico). Con grande sorpresa scopriremmo che, se fotografassimo a un certo istante i valori di campo letti dai misuratori e ne facessimo un grafico, otterremmo un andamento oscillatorio, come indicato nella Figura 3c, del tutto simile a quello in precedenza individuato al variare del tempo. In altre parole, i campi elettrici e magnetici prodotti dal dipolo presentano sia una periodicità temporale (in qualsiasi punto dello spazio), che ci ha portato a definire i concetti di periodo e di frequenza, sia una periodicità spaziale (in un qualsiasi istante preso in considerazione). La periodicità spaziale è caratterizzata, anche in questo caso, dalla distanza intercorrente fra due valori massimi che, come indicato nella Figura 3c, prende il nome di lunghezza d'onda del campo. La lunghezza d'onda si esprime in metri (m) o, quando è più comodo, mediante i suoi multipli (o sottomultipli). È importante ricordare che la frequenza di un'onda e la sua lunghezza d'onda, rappresentando due aspetti complementari di una stessa realtà fisica, sono grandezze fra loro correlate e, come indicato nella Figura 3 nel caso della propagazione in aria o nel vuoto, nota una si può calcolare il valore dell'altra, e viceversa. Per completezza è però utile ricordare che la vera "targa" di un campo variabile nel tempo è la sua frequenza, perché la corrispondente lunghezza d'onda dipende anche dalla natura del mezzo in cui il campo stesso si propaga (aria, acqua, muscolo, ecc).

Ora sappiamo che se, con qualche tecnica, riusciamo a fare oscillare una carica lungo un conduttore, siamo anche in grado di generare, nello spazio circostante, un campo elettrico e un campo magnetico entrambi caratterizzati dalla frequenza (f), uguale a quella con cui oscilla la stessa carica sorgente, e da una lunghezza d'onda (λ), a questa correlata mediante una semplice formula, che ricorda il fatto che il prodotto

di λ per f deve sempre essere uguale al valore della velocità con cui si propaga la luce nel mezzo preso in considerazione (nei casi di nostro interesse quasi sempre aria, o tessuti e organi del nostro corpo).

A questo punto, lo sperimentatore ideale di questa storia ha la curiosità di studiare se, e come, quanto descritto in precedenza dipenda dalla frequenza, e ripete gli esperimenti aumentando sempre più la frequenza di oscillazione del dipolo. La caratteristica più importante che subito noterebbe è che il campo magnetico variabile nel tempo provoca un fluire di correnti elettriche all'interno di oggetti conduttori (compresi i tessuti biologici) che vengano a trovarsi nel suo raggio d'azione, correnti che non si sarebbero generate in sua assenza, o in presenza di un campo magnetico statico. Poiché le correnti elettriche sono prodotte da un campo elettrico, se ne deve dedurre che un campo elettrico può essere generato non solo da una distribuzione di carica elettrica, come chiarito in precedenza, ma anche da un campo magnetico variabile nel tempo. Si dimostra poi che, analogamente, anche un campo magnetico può essere generato, oltre che da una corrente elettrica, anche da un campo elettrico variabile nel tempo. In altre parole, quando si è in regime variabile nel tempo, il campo elettrico e il campo magnetico divengono, reciprocamente, uno sorgente (cioè causa) dell'altro.

Grazie a questa mutua generazione, i campi non si mantengono più localizzati attorno alla loro sorgente, come quelli caratterizzati da frequenze relativamente basse, ma si propagano a distanza indefinita nello spazio, assumendo una struttura detta di tipo radiativo. Come indicato nella Figura 4, in questa situazione il campo elettrico e il campo magnetico risultano perpendicolari tra di loro e alla direzione di propagazione e tra le loro ampiezze esiste una relazione matematica che permette di determinarne una quando sia nota l'altra.

Considerata la stretta relazione esistente, in questa situazione, tra campo elettrico e campo magnetico, si introduce in questo caso una nuova grandezza, il campo elettromagnetico. In molti casi importanti, le ampiezze dei campi radiativi variano in modo

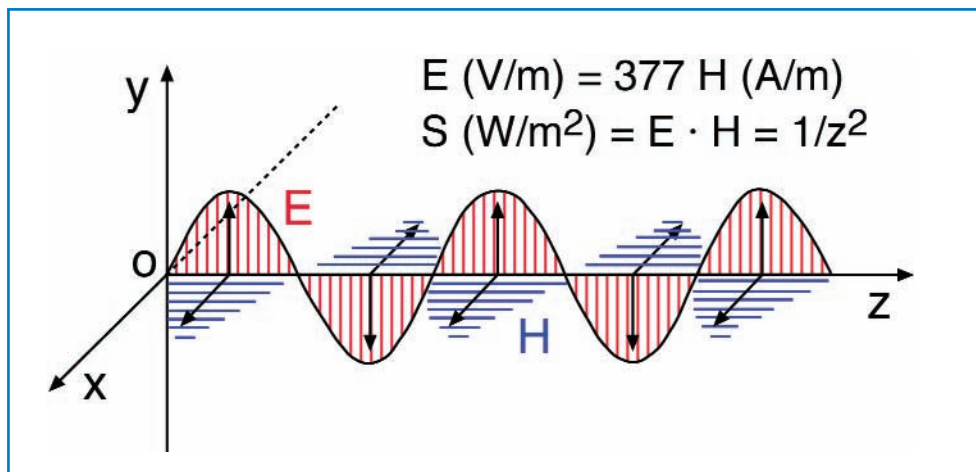


Figura 4 - Quando il campo elettrico e il campo magnetico variano sinusoidalmente nel tempo divengono, reciprocamente, uno sorgente dell'altro e danno luogo a un campo elettromagnetico, una situazione in cui non è più possibile scindere la componente elettrica da quella magnetica. Il campo elettromagnetico non si mantiene più localizzato attorno alla sua sorgente, ma si propaga a distanza in teoria infinita, assumendo una struttura di tipo radiativo

oscillatorio sia nel tempo che nello spazio e, come indicato in precedenza, si parla in questo caso di onde elettromagnetiche, cioè una delle modalità più comuni e importanti con cui è possibile descrivere la propagazione di un campo elettromagnetico. Un'onda elettromagnetica è caratterizzata da grandezze quali l'intensità (legata all'ampiezza dell'onda) e, come indicato in precedenza, la frequenza e la lunghezza d'onda.

Quando ci si interessa di campi a frequenze estremamente basse, come quelli prodotti dalle linee ad alta tensione, non si ha mai a che fare, in termini operativi, con un campo elettromagnetico o un'onda elettromagnetica, perché viene a mancare la loro caratteristica principale, cioè il fatto che i campi si allontanino dalla loro sorgente e, formando un insieme unico e ormai inscindibile, si propagano nello spazio, come invece fanno la luce prodotta da una lampada o le onde emesse da una stazione radio o televisiva.

Per questo motivo è fisicamente più corretto pensare che le linee ad alta tensione, o gli apparati elettrici, siano circondati da due nuvole di colore diverso, quindi distinguibili chiaramente nella loro natura (elettrica o magnetica) e nella loro estensione attorno alla sorgente, che può andare da pochi centimetri a qualche centinaio di metri al massimo.

I campi elettromagnetici presentano, nella società moderna, una gamma di utilizzi estremamente ampia, che tocca i più svariati settori, alcuni dei quali di fondamentale importanza. Non sempre, però, l'energia in gioco in tutte queste applicazioni viene completamente utilizzata nello svolgimento del compito assegnato e quindi, o per motivi intrinseci, come nelle telecomunicazioni, o per diverse altre ragioni, parte dell'energia si distribuisce nell'ambiente circostante, portando i livelli d'esposizione ambientali a valori più alti di quelli presenti in assenza delle sorgenti stesse.

Nella Figura 5 è mostrato un tipico apparato per applicazioni in medicina, in cui le onde elettromagnetiche emesse vengono utilizzate per curarci (radarterapia). Non siamo però capaci di far sì che tutta l'energia elettromagnetica prodotta svolga solo il compito assegnato, tanto che un tubo al neon nelle mani della giovane



Figura 5 - Se il suo livello nell'ambiente è sufficientemente elevato, il campo elettromagnetico disperso nell'ambiente può innescare l'accensione spontanea di un tubo al neon

ricercatrice si accende spontaneamente, in quanto immerso nel campo elettromagnetico che ha permeato tutta la stanza. È questo campo ad avere l'energia sufficiente a provocare l'accensione, senza alcun bisogno di connessione alla presa di corrente. Il problema è capire, quindi, a fronte dell'incredibile valore dell'utilizzo di questa energia, che problemi possa creare la frazione d'energia che si disperde nell'ambiente e non "muore" nell'utilizzo previsto. Il problema è capire

se il rapporto tra il beneficio che sicuramente otteniamo dall'utilizzo di queste forme di energia e il rischio che vi sarà comunque sempre collegato sia talmente grande da rendere accettabile il loro utilizzo.

L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS), a fronte dell'enorme sviluppo e utilizzo di queste forme di energia, ha varato da anni un grosso progetto di ricerca. Se siete interessati a seguire queste problematiche vi consiglio di prendere nota dell'indirizzo web www.who.int/peh-emf, che fornisce molte informazioni, alcune anche tradotte in italiano a cura dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS). L'altra grande associazione che affronta il problema della protezione dal punto di vista della formulazione e raccomandazione di limiti d'esposizione è la Commissione Internazionale per la Protezione dalle Radiazioni Non Ionizzanti (ICNIRP) (www.icnirp.org).

Oggi abbiamo una completa conoscenza della biofisica dell'interazione tra un'onda elettromagnetica e il corpo umano. Molti fenomeni possono essere compresi dal comportamento di una particolare forma d'energia elettromagnetica, cioè la luce. Proprio queste analogie hanno portato, metaforicamente, al titolo stesso di questa relazione. Per esempio, se sono investito da un'onda elettromagnetica parte di questa viene riflessa, come succede per un fascio di luce sulla superficie di uno specchio. Alcune volte anche in misura non indifferente: per esempio, alla frequenza di 5 GHz (gigahertz), prodotta facendo oscillare gli elettroni 5 miliardi di volte al secondo lungo il loro cammino, come succede per esempio nelle trasmissioni satellitari e nei radar, ben il 75% dell'energia che arriva sull'individuo in realtà viene riflessa e torna indietro. Comunque, una parte viene assorbita dall'individuo ed è quella che a noi interessa, perché solo la frazione d'energia assorbita sarà in grado, interagendo con i nostri sistemi biologici interni, di dare eventuali disturbi. Oggi noi sappiamo che, a frequenze abbastanza basse, tutto il corpo è interessato al campo incidente, nel senso che l'energia è praticamente in grado di attraversarci. Al crescere della frequenza il volume di corpo capace d'assorbire energia diventa inferiore e, alla frequenza di 5 GHz sopra menzionata, in pratica solo un piccolo strato esterno del corpo è interessato all'assorbimento. Cosa succede, però, in generale? Se un individuo è esposto a un campo elettromagnetico, per il semplice fatto di esservi esposto si svilupperanno al suo interno correnti elettriche che prima non erano presenti. Infatti, all'interno del nostro corpo abbiamo particelle cariche (ioni sodio, potassio, ecc.) che risentono automaticamente della presenza del campo elettromagnetico e, quindi, sono sollecitate da forze. Sono queste le forze che indurranno i movimenti di carica, indicati nella Figura 6, che si sommeranno a quelli fisiologici, sempre presenti. Il quesito che si pone è fino a che punto, per effetto dell'esposizione a questo tipo di energia, possiamo indurre all'interno del nostro corpo correnti senza che ciò non perturbi il suo normale equilibrio e funzionamento. La vita si è potuta sviluppare sulla Terra perché l'uomo è in grado di sopportare variazioni ambientali, anche se entro limiti relativamente ben definiti. Siamo sicuramente in grado di subire variazioni dell'intensità delle correnti che circolano all'interno del nostro corpo. In ogni momento, se leggo, rido, corro, avviene una variazione nel tempo dei parametri elettrici che caratterizzano la mia attività bioelettrica. Esiste tuttavia un intervallo fisiologico entro il quale si deve rimanere e al di sopra del quale, come vedremo più avanti, possono insorgere seri problemi. Il punto importante è che essere in un campo elettromagnetico vuol dire subire l'induzione nell'organismo di correnti elettriche che altrimenti non ci sarebbero state, e dobbiamo capirne gli effetti. Detto questo, come si sviluppa la ricerca scientifica per capire, in termini quantitativi, quan-

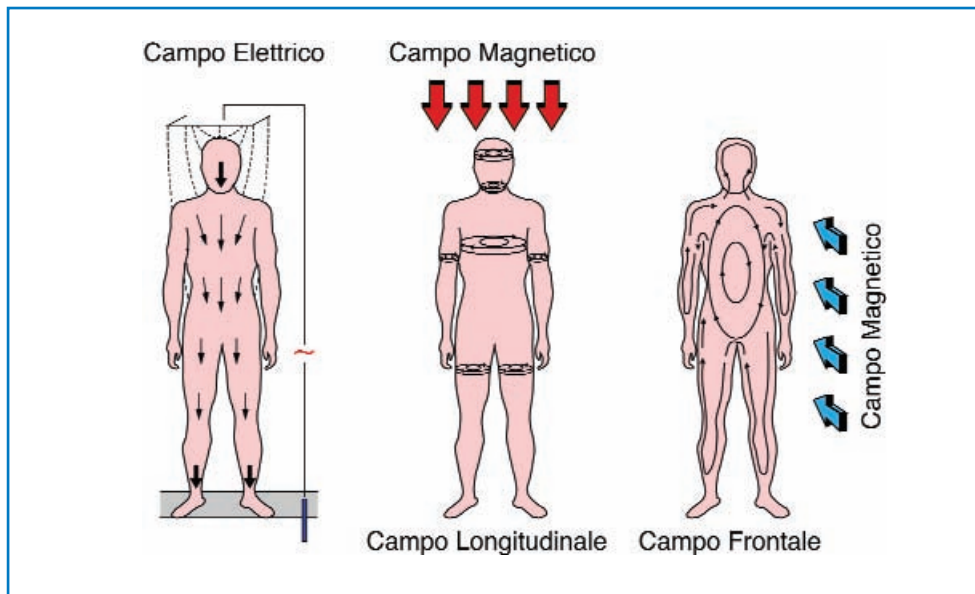


Figura 6 - L'esposizione a campi elettromagnetici induce correnti elettriche all'interno del corpo umano. Le correnti indotte dal campo elettrico seguono percorsi diversi da quelle indotte dal campo magnetico. Nel primo caso le correnti si svolgono lungo la stessa direzione del campo mentre, nel secondo, si sviluppano lungo circoli posti in piani perpendicolari alla sua direzione

to è stato finora espresso in maniera così generale? Abbiamo modalità di studio diverse; possiamo studiare gli effetti su cellule in coltura, i cosiddetti studi *in vitro*, o su animali da laboratorio (*in vivo*), o mediante studi clinici e su volontari, o studi epidemiologici, cioè indagini che cercano di valutare lo stato di salute di una popolazione e lo confrontano con quello di una popolazione omologa che non sia esposta all'agente fisico o chimico in studio. Pensiamo, per esempio, a un quartiere nel quale sia localizzata una grossa stazione emittente radiotelevisiva rispetto a un altro quartiere nel quale questa non ci sia. L'epidemiologo cerca di vedere se qualcosa è presente in una delle popolazioni e non nell'altra. Alcuni esempi. Il primo riguarda le linee ad alta tensione. Cosa sappiamo oggi sul problema delle linee ad alta tensione? Sappiamo molto bene che ci sono effetti legati all'esposizione a linee ad alta tensione, e che derivano sempre dalla stimolazione delle cellule nervose e muscolari, cioè sempre dall'induzione di correnti elettriche. Tutto questo lo conosciamo abbastanza bene e non avviene normalmente ai livelli che si possono incontrare sotto una linea ad alta tensione; siamo, in un certo senso, autoprotetti.

Il primo studio epidemiologico che abbia messo in relazione l'esposizione ai livelli ambientali del campo magnetico alla frequenza utilizzata per la produzione e la trasmissione dell'energia elettrica con un eccesso di rischio cancerogeno, in particolare la leucemia infantile, è stato quello condotto da Wertheimer e Leeper nel 1979. In questo studio era evidenziato un eccesso di rischio per i bambini che abitavano in case definite "ad alta configurazione di corrente" sulla base di parametri connessi all'intensità del campo magnetico in esse presente. Da allora sono state effettuate molte altre indagini epidemiologiche sulla leucemia infantile, data l'importanza del problema.

In relazione ai possibili effetti a lungo termine associati all'esposizione a campi ELF, la prima valutazione è stata effettuata dal National Institute for Environmental Health Sciences (NIEHS) degli USA, che ha effettuato un'accurata valutazione delle evidenze disponibili (www.niehs.nih.gov/emfrapid/home.htm) utilizzando i criteri da tempo adottati dall'Agenzia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) di Lione.

Secondo la IARC (www.iarc.fr) la classificazione di un agente (o di una miscela di agenti o di una situazione espositiva) è determinata dalla qualità dell'evidenza di cancerogenicità risultante principalmente da studi sull'uomo e su animali da laboratorio. Da questo punto di vista la IARC suddivide gli agenti nei seguenti cinque gruppi:

Gruppo 1 L'agente è cancerogeno per l'uomo

Gruppo 2A L'agente è probabilmente cancerogeno per l'uomo

Gruppo 2B L'agente è possibilmente cancerogeno per l'uomo

Gruppo 3 L'agente non è classificabile per quanto riguarda la cancerogenesi nell'uomo

Gruppo 4 L'agente è probabilmente non cancerogeno per l'uomo.

Nel Gruppo 1 sono inclusi tutti gli agenti per cui è stata ritenuta sufficiente l'evidenza di cancerogenicità nell'uomo; per gli agenti nel Gruppo 2A, l'evidenza nell'uomo è limitata, ma è sufficiente negli animali; per gli agenti nel Gruppo 2B vi è sia un'evidenza limitata nell'uomo che un'evidenza non sufficiente negli animali, oppure un'evidenza inadeguata nell'uomo ma sufficiente negli animali; per gli agenti classificati nel Gruppo 3, l'evidenza nell'uomo è inadeguata e quella negli animali è limitata o inadeguata.

A titolo d'esempio, è utile ricordare che il fumo di tabacco è nel Gruppo 1, le lampade e i lettini solari a radiazione ultravioletta sono nel Gruppo 2A, la caffeina e i gas di scarico delle auto a benzina sono nel Gruppo 2B, il tè è nel Gruppo 3, mentre il caprolattame (precursore del *nylon*) è l'unico agente attualmente classificato come probabilmente non cancerogeno per l'uomo.

Il NIEHS ha giudicato i campi magnetici a frequenze industriali possibilmente cancerogeni (Gruppo 2B).

Anche nell'ambito del Progetto Internazionale Campi Elettromagnetici (www.who.int/peh-emf), avviato dall'OMS, è stata effettuata una valutazione, sulla base delle attuali conoscenze scientifiche, degli effetti dei campi elettrici e magnetici statici e a frequenze estremamente basse. La IARC ha incluso nel Gruppo 3 della sua classificazione i campi elettrici e magnetici statici e il campo elettrico ELF, mentre ha incluso nel Gruppo 2B i campi magnetici ELF.

Se si analizzano le frequenze più alte, per esempio, quelle utilizzate nelle trasmissioni radiotelevisive, si entra nell'ambito del campo elettromagnetico vero e proprio. L'effetto è sempre quello dell'induzione di correnti, ma in questo settore di frequenze succede qualcosa di nuovo e di fondamentale. Le cariche interne al corpo sono forzate a oscillare, per effetto della presenza del campo elettromagnetico, anche 10-100 milioni di volte al secondo ma, nel compiere queste oscillazioni, incontrano un ostacolo nei fluidi corporei, in particolare l'acqua, e quindi sono costrette a oscillare contro una forza resistente. Tutti sanno cosa succede se si sfrega molto velocemente con le dita una superficie ruvida; dopo poco non lo si può più fare a causa della forte sensazione di calore prodotta dall'attrito. Quello che avviene, e rappresenta la modalità fondamentale di interazione di un'onda radio con il corpo umano, è la possibilità di produrre calore all'interno dello stesso corpo, calore che non si sarebbe accumulato se non

ci fosse stata induzione di corrente da parte del campo elettromagnetico. Il problema è allora quello di valutare di quanto sia possibile elevare la temperatura di un organo, o di tutto il corpo, per effetto di una causa esterna. Se l'assorbimento d'energia crea un eccesso di calore localizzato, o sistemico, il nostro corpo ha i mezzi per disperdere questo calore eccessivo. La circolazione sanguigna, per esempio, agisce come un ottimo scambiatore di calore ad acqua. Se si produce da qualche parte una temperatura troppo elevata, il cervello se ne accorge, manda un segnale al cuore e questo comincia a pompare più sangue in quel distretto, portando via il calore in eccesso. Ciò permette di individuare gli organi critici, cioè quelli che sono poco irrorati o non sono per niente irrorati dal sangue. Sono organi critici perché se, per effetto dell'assorbimento d'energia elettromagnetica, si produce in essi un salto termico questo non è eliminato dalla circolazione sanguigna e, quindi, la temperatura dell'organo comincerà a salire, fino a raggiungere valori pericolosi.

È ovvio che ciò avviene a livelli di potenza molto elevati, per cui non si deve dedurre che se siamo in vicinanza di generatori di onde elettromagnetiche noi corriamo comunque seri pericoli, ma quello termico rappresenta un meccanismo che fisicamente si potrebbe instaurare (si pensi, per esempio, al forno a microonde presente in moltissime case). Da questo punto di vista gli organi critici sono il cristallino dell'occhio, perché non è praticamente irrorato, e le gonadi maschili. Ripeto, tuttavia, che i livelli ambientali di campo elettromagnetico con cui abbiamo normalmente a che fare sono ben lontani da questa situazione.

Un caso molto particolare, ma importantissimo per la sua enorme diffusione, è quello della telefonia mobile. La problematica è la stessa trattata in precedenza, ma l'interazione è più localizzata, poiché il telefonino cellulare, quando è in funzione, è posto nelle vicinanze della testa e dell'orecchio. In questo settore è stata svolta tutta una serie di studi, data l'importanza del problema, sia su fantocci antropomorfi che su modelli animali. In particolare, l'OMS ha individuato le ricerche necessarie per una migliore valutazione dei rischi e ne ha promosso la sovvenzione da parte delle organizzazioni competenti. Al momento attuale, le informazioni ottenute hanno indicato quanto segue.

Per quanto riguarda i tumori, l'evidenza scientifica attuale indica che l'esposizione a campi a radiofrequenza quali quelli emessi dai telefoni cellulari e dalle stazioni radio base non inducono o favoriscono, verosimilmente, il cancro. Diversi studi su animali esposti a campi a radiofrequenza simili a quelli emessi dai telefoni cellulari non hanno trovato nessuna evidenza di induzione o promozione di tumori cerebrali. Anche gli studi epidemiologici attualmente conclusi non hanno trovato nessuna evidenza convincente di aumenti del rischio di insorgenza di cancro o di alcuna altra malattia, in relazione all'uso di telefoni cellulari, anche se si deve tenere nel debito conto il fatto che l'utilizzo dei telefonini cellulari è relativamente recente. Alcuni ricercatori hanno riportato altri effetti legati all'impiego dei telefoni mobili, tra cui cambiamenti nell'attività cerebrale, nei tempi di reazione e nell'andamento del sonno. Questi effetti sono minimi e non sembrano avere alcun impatto sanitario significativo, ma sono in corso studi per confermare e chiarire questi risultati.

Una fondamentale sorgente d'informazione sarà lo studio INTERPHONE che, coordinato dalla IARC, è costituito da una serie di studi epidemiologici multinazionali basati su un protocollo comune. Partecipano allo studio: Australia, Canada, Danimarca, Finlandia, Francia, Germania, Inghilterra, Israele, Italia (attraverso l'ISS), Giappone, Nuova Zelanda, Norvegia e Svezia. Sulla base di una loro maggiore probabilità d'esse-

re associati all'utilizzo di telefoni cellulari, INTERPHONE s'è focalizzato sul neurinoma acustico, su gliomi e meningiomi e sui tumori della parotide. In alcuni Paesi sono previsti anche studi sulla leucemia.

Infine, la ricerca ha chiaramente mostrato un significativo aumento del rischio di incidenti stradali in connessione all'utilizzo di telefoni cellulari durante la guida, per cui questa brutta abitudine deve essere assolutamente abbandonata.

FARE A MENO DELL'ENERGIA NUCLEARE?

Eugenio Tabet

già Istituto Superiore di Sanità, Roma

Premessa

Il tema che affrontiamo è complesso, perché vi si intrecciano diverse componenti (alcune delle quali di natura non scientifica) come e, forse, ancora di più che nel tema illustrato precedentemente da Martino Grandolfo. Nella questione dell'energia giocano elementi di ricerca scientifica e tecnica, parametri relativi al pianeta e alle sue risorse, ma anche altri fattori, come quelli politici ed economici. Questi ultimi (che esulano dalle mie competenze) condizionano, come sappiamo, l'intera vicenda in maniera molto forte.

Nella presentazione non entrerò in dettagli tecnici, mi limiterò ad alcune idee essenziali, con la speranza di riuscire almeno a trasferirvi quella che a me sembra l'aspetto caratteristico di questo problema: la sua elevata complessità. Per costruire una risposta alla domanda posta nel titolo del mio intervento dovrei fare una panoramica della questione energetica nei suoi diversi aspetti: per brevità dirò qualche parola sui combustibili fossili e sull'energia solare, soffermandomi maggiormente, come richiede il titolo della lezione, sull'energia nucleare. Prima di prendere in considerazione queste due fonti importanti, esporrò una breve panoramica nel tempo e in parte anche nello spazio.

Consumi vecchi e nuovi

Le vicende energetiche, ovviamente, non sono sempre state come ai nostri giorni. I nostri lontanissimi antenati avevano a disposizione un'energia molto limitata:



Figura 1 - Evoluzione della disponibilità di energia nel corso dei millenni

essenzialmente quella che potevano estrarre dal cibo, una forma indiretta di energia solare. Le cose nei millenni sono cambiate, l'uomo moderno dispone (*pro capite*) in media di venticinque volte quell'energia (Figura 1), vale a dire tra 1 e 2 ordini di grandezza l'energia media *pro capite* dei nostri antenati primitivi. Il confronto vale per la media: come



Figura 2 - La marcia demografica

anni e attualmente siamo più di sei miliardi (secondo le ultime rilevazioni ONU). Dunque, vi è stato un aumento pari a 3-4 ordini di grandezza nella popolazione, da confrontarsi con l'aumento visto precedentemente (di 2-3 ordini di grandezza) nel consumo *pro capite*. Questo aspetto è fondamentale poiché mostra che la dimensione del problema energetico è legata molto più all'enorme sviluppo demografico che al vantaggio individuale per ciascuno di noi di avere più energia a disposizione, migliorando così il nostro livello di vita. Se, quindi, vorremo mantenere nel futuro uno standard di vita adeguato, difficilmente potremo farlo senza una politica efficace di controllo demografico.

vedremo dopo, l'abitante di Timbuktu e quello di New York non hanno a disposizione la stessa energia. Accanto al consumo *pro capite* il secondo fattore nella vicenda energetica è costituito dalla popolazione globale del pianeta (Figura 2). Eravamo, "all'inizio dei tempi", circa un milione di persone, ma le cose sono cambiate negli ultimi cinquecentomila anni

Combustibili fossili: la produzione, i consumi e le riserve

Nella Figura 3 vengono indicati, per il petrolio, la produzione annua e le riserve accertate (esprese in gigabarili, vale a dire in miliardi di barili; per motivi di scala le riserve sono state divise per dieci). Dividendo le riserve per i consumi annui avete un'idea di quanto tempo durerà il petrolio. Secondo le stime di queste fonti, il petrolio, limitandosi naturalmente ai giacimenti conosciuti e

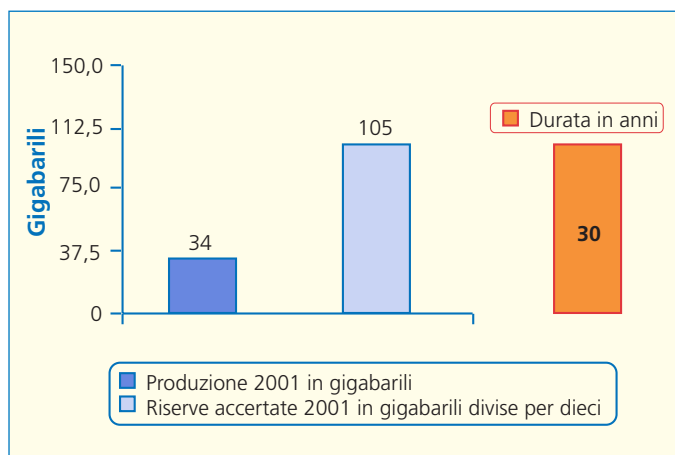


Figura 3 - Produzione e riserve di petrolio nel 2001. Valori espressi in gigabarili (miliardi di barili). In rosso una stima della durata di queste fonti

commercialmente sfruttabili, dovrebbe durare per circa trenta anni. Lo stesso tipo di ragionamento vale per il gas naturale, (in questo caso si parla di giga metri cubi) e la sua durata risulta essere maggiore di quella del petrolio.

Infine il carbone: le riserve di carbone sono ancora enormi; peccato che tra i tre combustibili fossili ora menzionati il carbone sia il peggiore dal punto di vista ambientale. La combustione del carbone produce infatti più inquinanti di quanto non ne producano il petrolio e il gas naturale. Le grandi riserve di carbone (non menzionando altri problemi associati a questa fonte, come quelli legati al trasporto delle grandi masse di materiale necessarie per alimentare le centrali elettriche), non offrono dunque una soluzione sostenibile al problema energetico, per il notevole carico ambientale che conseguirebbe a un uso crescente di questo combustibile. Quindi, in uno scenario di sviluppo planetario sostenibile, la scala dei tempi va dimensionata sui primi due combustibili.

La Figura 4 rappresenta la distribuzione, ineguale, delle risorse e dei consumi sul pianeta. Si noti, in particolare, il dato relativo ai consumi degli Stati Uniti: rappresenta da solo quasi il 22% dei consumi energetici mondiali, pur avendo gli USA una popolazione pari a solo il 4% di quella mondiale. La Russia, il Giappone e la Comunità Europea sono abbastanza simili. La Cina che rappresenta quasi 1/5 della popolazione mondiale consuma meno di 1/10 del totale del globo. Quali fonti forniscono al pianeta l'energia che oggi consumiamo?

Si tratta di una miscela di molte fonti. ma la gran parte, più dell'80%, è fornita dai combustibili fossili, con il petrolio in posizione dominante. Tra le altre fonti va menzionata la fonte idroelettrica, quella nucleare, e perfino il legno, che è ancora una fonte rispettabile in alcuni Paesi.

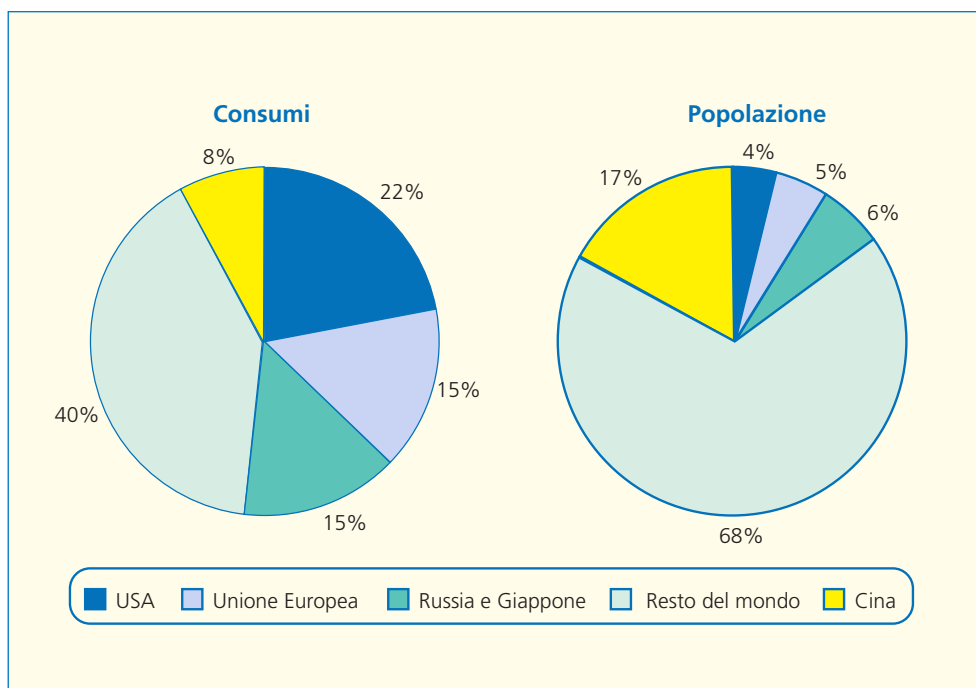


Figura 4 - Ripartizione dei consumi di energia per aree geografiche del pianeta

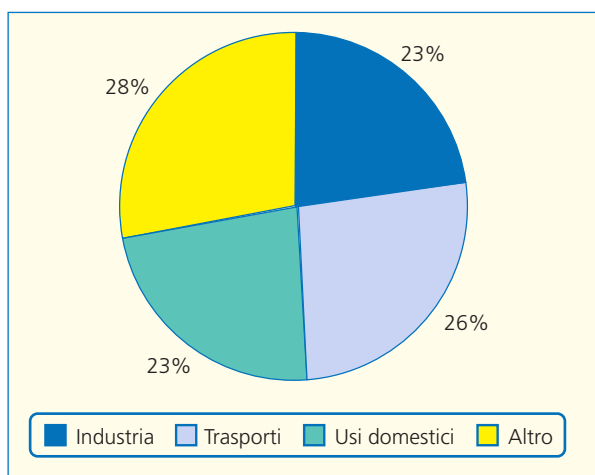


Figura 5 - Ripartizione dei consumi di energia in Italia nel 2001 per settori di utilizzo

Vediamo ora, in particolare, la struttura dei consumi nel caso italiano. Come mostrato nella Figura 5, un settore molto importante è quello dei trasporti; si tratta di un comparto sul quale si può agire efficacemente, nel senso che una politica dei trasporti più razionale di quella attuale (si pensi, per esempio, alla *querelle* trasporto su gomma-trasporto su rotaia) potrebbe ridurre sensibilmente questa fetta della torta, incidendo così su ben un quarto dei consumi.

La scala delle energie e le fonti globali

La Tabella illustra infine la scala dei fenomeni energetici sul nostro pianeta.

Tra i tanti dati mi sembra molto interessante quello relativo all'energia che il processo di fotosintesi sul pianeta richiede ogni giorno. Si noti che il nostro consumo energetico, non è lontano, come ordine di grandezza, dall'intero consumo per la fotosintesi. Si noti ancora la differenza tra l'energia ricavabile da 1 kg di uranio e quella associata alla combustione di 1 kg di petrolio.

Tornando ora alla questione del rapido esaurimento delle risorse di petrolio e gas naturale, esaminiamo quali sono le alternative ai combustibili fossili che possono giocare un ruolo reale, che siano cioè di tali dimensioni da potere un giorno sostituire l'in-

tero comparto dei combustibili fossili.

Tabella - Processi energetici naturali

La scala logaritmica delle energie/joule	
	Valori
Energia solare sulla terra/giorno	10^{24}
Energia per la fotosintesi/giorno	10^{20}
Consumo energetico umano/giorno	10^{16}
Energia della fissione di un kg Uranio 235	10^{12}
Energia da un barile di petrolio	10^8
Energia dal cibo <i>pro capite</i> (2.000 kcal/giorno)	10^4
	1
	10^{-4}
	10^{-8}
Energia da fissione di un nucleo di Uranio 235	10^{-12}
	10^{-16}

Queste fonti sono oggi tre: l'energia solare, l'energia nucleare da fissione e quella da fusione. Un commento flash sull'idrogeno, talvolta presentato come fonte alternativa: si tratta di una tipica papera giornalistica. Infatti l'idrogeno va prodotto e ciò richiede (almeno) l'impiego della stessa energia che ci sarà restituita bruciandolo. Non si tratta quindi di una fonte, ma di un'eccellente risposta alla richiesta di un combusti-

bile non inquinante e trasportabile in modo semplice. Il passaggio all'economia dell'idrogeno, di cui spesso si parla, è una transizione molto importante, ma che non ha nulla a che fare con il problema delle fonti.

Ho premesso che non avrei parlato della fusione, un processo nel quale, superando la barriera di repulsione elettrostatica, si riesce a fondere due nuclei leggeri producendo, per esempio, un nucleo di elio. Nel processo si libera una grande quantità di energia: tuttavia il controllo su larga scala della fusione è ancora molto lontano, malgrado i grandi sforzi di ricerca in questo campo.

Il Sole

Nella Figura 6 si può vedere quale immensa quantità di energia il Sole invia ogni giorno sulla terra: circa 10.000 volte il consumo energetico della popolazione del pianeta. La domanda è: perché non la utilizziamo?

I costi del kilowattora solare sono ancora sensibilmente superiori ai costi dei kilowatt da carbone, da petrolio o dalle altre fonti di largo impiego. Si possono abbassare questi costi?

Un economista, probabilmente, farebbe riferimento alla necessità di imboccare il percorso di una produzione su larga scala (innescato inizialmente dallo Stato) capace di avviare i costi di produzione verso una curva di "costi decrescenti" molte volte verificata

nel mondo della produzione industriale. Le superfici da coltivare a sole sono considerevoli: eccone una stima di ordine di grandezza. Immaginiamo che, dotati di bacchetta magica, voi decidiate di "spengere" da domani tutte le fonti attualmente disponibili: il carbone, il petrolio, il gas naturale, l'uranio e così via, e di passare a un'economia integralmente solare. Per produrre l'energia dal Sole si devono usare dei collettori, pensiamo alle celle fotovoltaiche, dispositivi che trasformano direttamente l'energia del Sole in elettricità e che ricoprono porzioni di territorio non trascurabili (per utilizzare in altro modo l'energia del



Figura 6 - Il flusso di energia dal Sole

Sole vi sono anche altri dispositivi). La domanda è: quanta superficie del globo occorrerebbe per basarci solo sull'energia solare? La risposta si può esprimere nel modo seguente. Immaginate l'insieme delle terre coltivate, cioè la porzione della superficie terrestre utilizzata per l'agricoltura: ebbene, occorrerebbe il 10% di quella superficie, da "coltivare a Sole". Cosa vuol dire? Vuol dire che la transizione integrale a un'economia solare (con un'efficienza di conversione solare ragionevole) corrisponderebbe all'aumento del 10%

della superficie attualmente utilizzata dall'uomo per l'agricoltura. È una formidabile transizione, di portata storica, ma è una transizione che è nelle nostre possibilità. È chiaro che le superfici da coltivare a Sole dipendono dall'efficienza del sistema di conversione. Con celle fotovoltaiche al silicio policristallino si dispone di un'efficienza pari al 10%, con altri tipi di celle si può ottenere il 20% e anche di più. È chiaro che se si passa dal 10% al 20%, si dimezza grosso modo la superficie necessaria. Si noti che questo è un settore dove c'è spazio per della buona ricerca scientifica ed è un campo della fisica nel quale l'Italia ha un'ottima tradizione. Il nostro Paese quindi potrebbe giocare, anche con le proprie industrie, un ruolo importante. Va ricordato che, nel caso dell'energia solare, è essenziale disporre di un efficiente sistema di accumulo dell'energia. Senza voler in alcun modo minimizzare le difficoltà tecniche ed economiche perché l'energia solare passi a una fase di maturità commerciale, mi sembra che si possa dire che la difficoltà maggiore per una decisa transizione verso le fonti rinnovabili, non solo in Italia ma in tutti i Paesi, sia l'atteggiamento dei gruppi dirigenti.

Questi assai spesso tendono, per cultura o per convenienza, a programmare sulla scala dei tempi del mandato elettorale, di circa cinque anni, mentre la scala dei tempi che una transizione energetica implica è di venti anni.

Le centrali solari non devono poi essere necessariamente gigantesche, occupando estensioni di terreno localmente forse non sostenibili; possono essere modularizzate e adattate alle necessità locali, con un impatto ambientale non nullo ma certamente tra i più esigui. Non ci sono problemi scientifici di base, nello sfruttamento di questa fonte. Cosa vuol dire? Vuol dire che c'è spazio per miglioramenti tecnologici e scientifici anche sostanziali ma non ci sono incertezze sul fatto che l'energia solare sia effettivamente utilizzabile su larga scala.

Lo stato dell'energia nucleare: reattori e riserve di uranio

Lo schema elementare del processo che genera l'energia nucleare è illustrato nella Figura 7, che mostra la fissione di un nucleo atomico dell'uranio da parte di un neutrone, con la formazione di due nuclei più leggeri e la liberazione di un'energia su una scala pari a un milione di volte quella interessata nei processi di combustione. Se si pensa a questo processo non limitato a un solo nucleo, emerge il meccanismo della reazione a catena: i neutroni si moltiplicano, altri nuclei vengono fissionati così che, sotto certe condizioni, la reazione si propaga in tutto il materiale e si sostiene da sola. Da questa energia si può ottenere calore che potrà essere utilizzato con procedimenti standard. Un dato interessante sull'uranio è quello relativo alla ripartizione delle riserve di questo elemento: tra i Paesi più ricchi vanno annoverati il

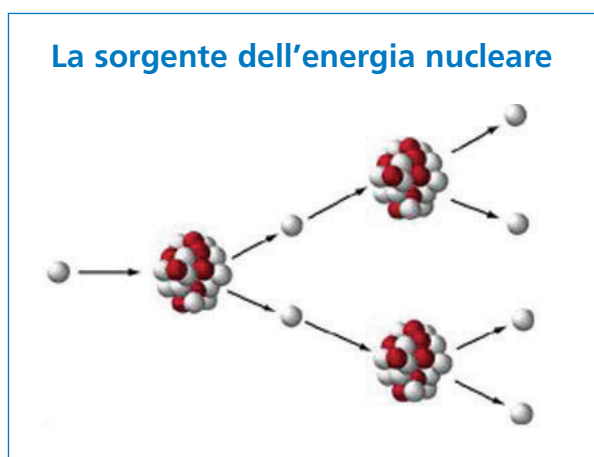


Figura 7 - Processo per la produzione di energia nucleare

Kazakistan, la Libia, gli USA, l'Australia, il Sud Africa e altri. Diversa è la situazione della fabbricazione di impianti per la produzione di energia, concentrata relativamente in pochi Paesi. Tuttavia la divisione geo-politica non è così marcata come nel caso del petrolio. L'uso pacifico dell'energia nucleare è stato catalizzato da diverse ragioni: tra le principali quella derivante dal poter sfruttare un combustibile che, con limitati volumi, produce un'enorme quantità di energia. Questo semplifica sia i problemi di trasporto che quelli di stoccaggio. Il secondo aspetto positivo nasce dalla circostanza che l'uranio non "brucia" e non genera anidride carbonica. Quando un reattore nucleare funziona normalmente, dalla ciminiera del reattore fuoriescono quantità molto ridotte di prodotti radioattivi aeriformi: in virtù dei miglioramenti tecnologici e anche a causa della pressione dei movimenti ambientalisti le emissioni dalle centrali nucleari non costituiscono più un problema dal punto di vista sanitario.

Qual è allora la sorgente dei problemi per questa fonte? Il problema è legato alla natura intrinseca del processo di fissione: quando si scinde il nucleo dell'uranio, si generano inevitabilmente altri nuclei che sono radioattivi e quindi potenzialmente pericolosi per l'ecosistema. Naturalmente questi prodotti radioattivi tossici non vengono, di regola, dispersi nell'ambiente. Se però succedesse un incidente a un reattore nucleare (come Enrico Fermi aveva capito fin dall'inizio), potrebbe liberarsi all'esterno della centrale una quantità colossale di materiale radioattivo tale da produrre gravi conseguenze per le popolazioni circostanti l'impianto. I reattori sono gestiti con protezioni e criteri di sicurezza altamente sofisticati, e così gli incidenti sono estremamente rari (questi aggettivi sono quantificabili), ma, purtroppo, non impossibili. Naturalmente avrebbe un peso diverso un incidente a un reattore nucleare in un Paese a bassa densità di popolazione rispetto a quello in un Paese come l'Italia ad alta densità di popolazione.

Lo spargimento di materiale radioattivo può provenire anche da rifiuti non confinati bene. Sebbene quella di Scanzano Ionico, per esempio, sia stata una scelta improvvida, bisogna trovare in ogni caso un sito dove stoccare i rifiuti radioattivi in modo sicuro, tale che da rendere esigua, nel corso di moltissimi anni, la probabilità che questi rifiuti radioattivi violino le barriere costruite per contenerli e possano diffondersi nell'ecosistema. Infine, il furto di materiale nucleare: questa preoccupazione è diventata molto seria negli ultimi anni, in virtù dell'aumento considerevole del terrorismo. Senza voler pensare alla possibilità di costruire piccole bombe atomiche (attraverso il furto di materiale fissile), si rifletta, per esempio, sulla costruzione di ordigni convenzionali con inserito materiale radioattivo, di grande effetto psicologico e di incerto effetto sanitario. Passando ora a una rapida disamina dello stato di salute dell'impresa nucleare, dalla Figura 8 si desume l'andamento della potenza nucleare installata nel mondo negli ultimi dieci anni circa, con una situazione tendenzialmente stazionaria. A gennaio del 2004 erano in costruzione trentuno reattori nucleari. Questa notizia, tuttavia, non può rallegrare i cultori dell'impresa nucleare per il motivo che sono in costruzione in Paesi poco significativi dal punto di vista dell'avanzamento tecnologico e che, a fronte di questi reattori in costruzione, molti altri verranno dismessi poiché hanno oramai raggiunto circa trenta anni di vita. Esiste quindi una situazione di obiettiva difficoltà che nasce da molti fattori. Negli Stati Uniti, per esempio, le compagnie elettriche "non comprano" più centrali nucleari perché il peso dei requisiti di sicurezza sugli impianti, imposti dagli enti di controllo USA - requisiti magari modificati durante la costruzione - è così grande da mettere in

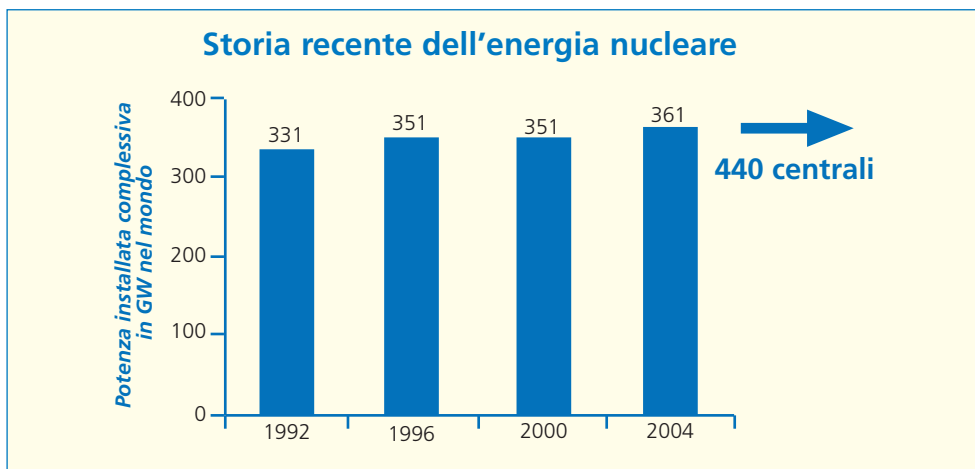


Figura 8 - La crescita delle centrali elettronucleari nel mondo

discussione l'economicità della centrale nucleare. Certamente a questo aspetto va aggiunto quello dell'atteggiamento di un'opinione pubblica che non vede risolto in modo soddisfacente (negli USA, ma anche altrove) il problema di una sistemazione adeguata dei rifiuti radioattivi. Gli eventi incidentali di questi decenni, alcuni con conseguenze molto modeste, come l'incidente di Three Mile Island (Stati Uniti), altri ben più gravi, come quello del 1986 a Chernobyl (Ucraina), hanno dimostrato che la questione della sicurezza, che aveva preoccupato i primi progettisti nucleari (all'inizio della storia del nucleare negli Stati Uniti si era pensato a impianti situati in aree molto remote da qualunque centro abitato), è una sfida non ancora del tutto risolta. Tra le idee più innovative del settore va menzionato il progetto di costruire reattori nucleari capaci di "auto controllo" delle proprie reazioni e quindi di spengersi se certi parametri escono dalla norma con meccanismi capaci di limitare molto i rilasci radioattivi all'esterno dell'impianto: si tratta dei reattori a sicurezza intrinseca, alla concezione dei quali un importante contributo è venuto anche dall'Università di Roma. In generale non si può dire, tuttavia, che vi sia stato un impegno nella ricerca convinto e tenace: l'industria del nucleare per molti anni ha avuto un atteggiamento tiepido di fronte alla prospettiva di modificare in maniera drastica la tipologia di impianti che, dagli anni '70 in poi, in realtà sono stati sviluppati più secondo parametri di tipo economico che per altri profili.

Il futuro incerto dell'energia

Quali problemi dovremo fronteggiare in futuro con l'aumento della popolazione? Come sapete, è un dato incontrastabile il fatto che, anche con la più rigorosa politica demografica che si riuscisse a varare oggi, dobbiamo aspettarci, per i prossimi anni, ancora un aumento considerevole della popolazione del globo. I più ottimisti parlano di un livello di nove miliardi di abitanti, oltre il quale non aumenteremo. Ma nove miliardi equivale ad aumentare del 50% gli abitanti attuali: un carico immenso per l'ecosistema planetario! Dobbiamo inoltre prevedere di dover fare fronte a una richiesta di miliardi di persone per un sensibile miglioramento del loro livello di vita.

È ormai generalmente accettato il fatto che, se si vuole evitare di innescare fenomeni macroclimatici irreversibili, si deve sempre di più limitare l'uso dei combustibili fossili: perché ciò sia possibile devono maturare altre fonti di significato globale. Merita di ricordare, tra i problemi legati all'uso dei combustibili fossili, quello delle gravi tensioni tra i Paesi produttori e i Paesi consumatori (in particolare nel campo del petrolio).

Qual è la scala dei tempi per una transizione energetica globale? È quella "naturale", legata all'esaurimento delle riserve di petrolio e gas naturale: una scala di tempi molto ridotta, pochi decenni, tale che voi stessi vedrete il passaggio a un nuovo tipo di economia energetica. Quali strumenti abbiamo per gestire la transizione? Il primo certamente è la ricerca scientifica: con le attuali previsioni demografiche planetarie qualunque soluzione deve avere un valore scientifico "aggiunto" molto alto. In questo contesto è molto importante il risparmio energetico che permette di guadagnare tempo per innescare, sotto il profilo scientifico-tecnico e sotto quello commerciale, soluzioni alternative. Le prime avvisaglie di un cambiamento del clima (che oramai fanno parte dell'esperienza quotidiana e trovano riscontri crescenti in diversi campi della scienza) possono costituire un forte strumento di pressione per lo sviluppo di soluzioni globalmente sostenibili (come quella rappresentata dall'energia solare), sui governi e i gruppi industriali.

Non si può tuttavia escludere che ci si debba preparare ad alternative meno soddisfacenti dal punto di vista della compatibilità ambientale, di dover cioè ripiegare, su una scala di tempi medi, sull'alternativa nucleare, e ciò per diverse ragioni. La prima nasce da un possibile ulteriore degrado della situazione politica. Non è inimmaginabile, se proseguono i processi di peggioramento del clima internazionale (con una crescita del terrorismo), una situazione nella quale si crei tra l'Occidente e i Paesi produttori uno stato di tensione molto grave. In tali circostanze si porrebbe per l'Occidente la necessità di dover fare rapidamente fronte ai propri fabbisogni con le proprie forze e non sulle risorse altrui: l'Occidente l'energia nucleare sa produrla e dispone anche delle riserve minerarie adeguate.

In una visione meno pessimistica del futuro e nella prospettiva di uno sviluppo ambientalmente sostenibile, è incoraggiante sapere che un paio delle più importanti compagnie petrolifere hanno iniziato a investire in modo serio nel settore delle fonti rinnovabili. Forse la nuova dimensione europea può offrire la scala economica e politica necessaria per l'innescare di una transizione capace di portare in due o tre decenni a un'economia energetica basata finalmente sull'uso massiccio di queste fonti.

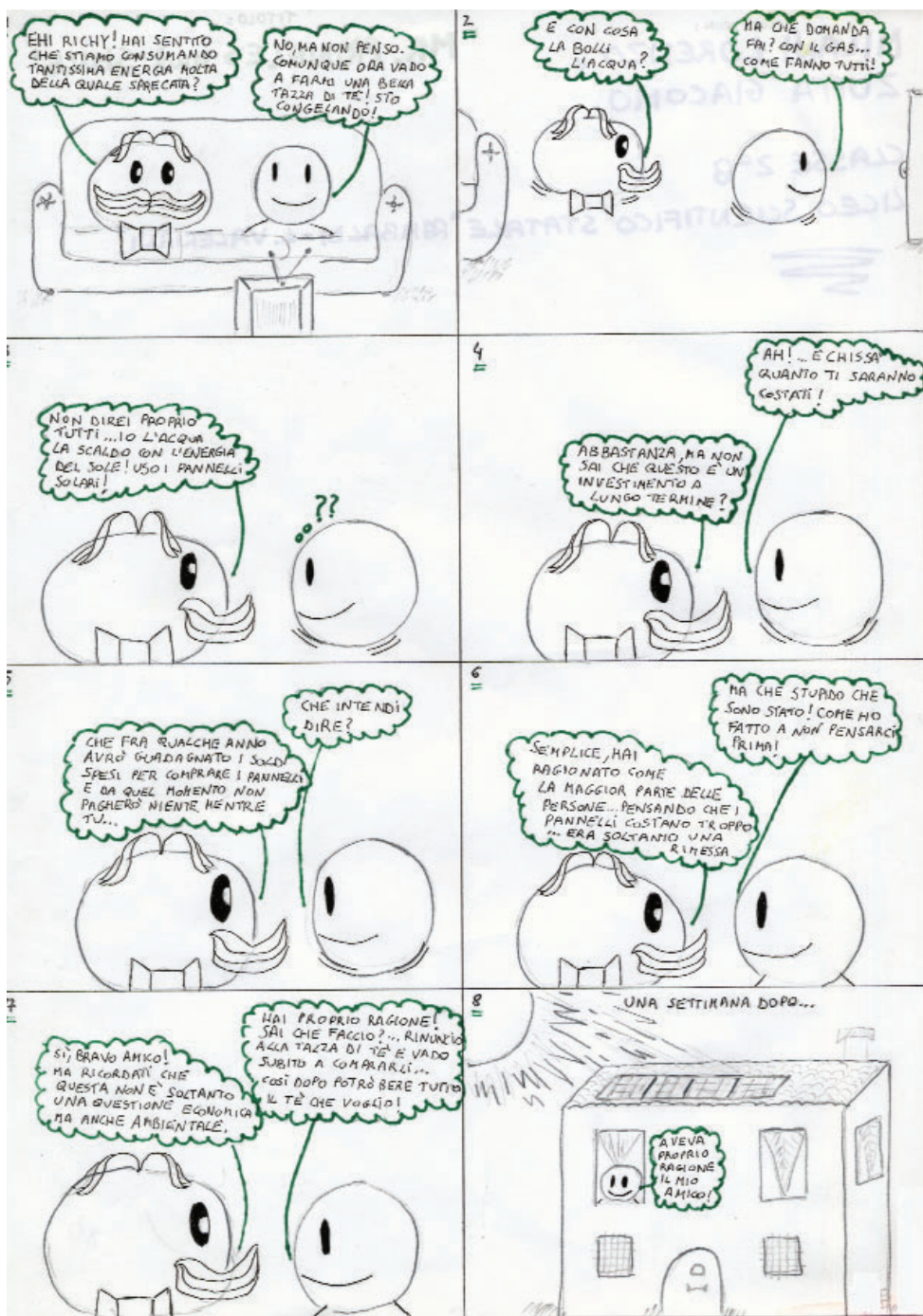
**Gli elaborati premiati
al Concorso**



Riccardo Gaddoni, Fabrizia Grottola, classe III sezione D, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Giovanni Andrea Brunori, Giovanni Marchi, Marco Fontana, classe IV sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



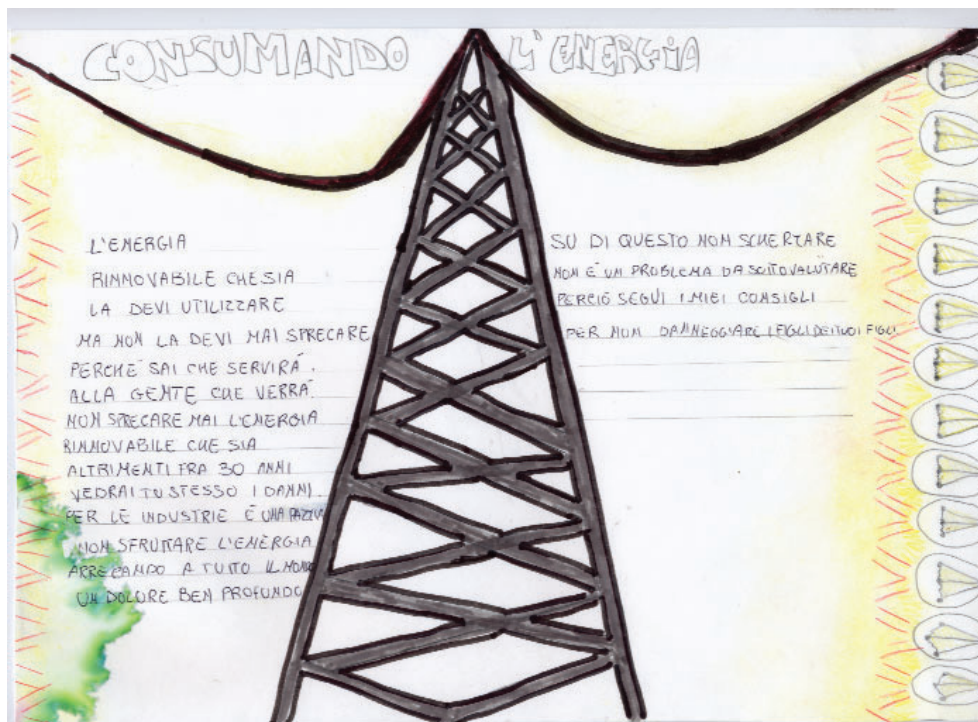
Lorenzo Milani, Giacomo Zuffa, classe II sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola

L'ENERGIA

Energia tu che dai ad un corpo la capacità
di svolgere lavoro con facilità
dacci attraverso le tue trasformazioni
varie energie in ogni occasione
sfruttiamo l'energia chimica
adoperiamo l'energia termica
tu energia
che niente porti via
chiave utile a tutto il mondo
per un utilizzo giocondo
tutti i consumi
devono esser fatti con i lumi
pensiamo l'acqua in eterno non resta
usiamo la testa,
se il sole non spunterà
mai più il gallo canterà
usiamola per utilizzi precisi
in modi decisi

Iannelli
Maria
II B I.G.E.A.

Maria Iannelli, classe II sezione B, Istituto Tecnico Statale Commerciale e per Geometri (IGEA)
"Manlio Rossi Doria", Marigliano, Napoli



Daniele Capra, Marcello Caprara, Guido Borriello, classe I sezione D, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola

**Altri elaborati
presentati per il Concorso**



Prisca Fagnano, Denise Aceto, Michela Lisella, classe V sezione E, Istituto statale di istruzione superiore Tecnico per Attività Sociali (ITAS) "S. Pertini", Campobasso



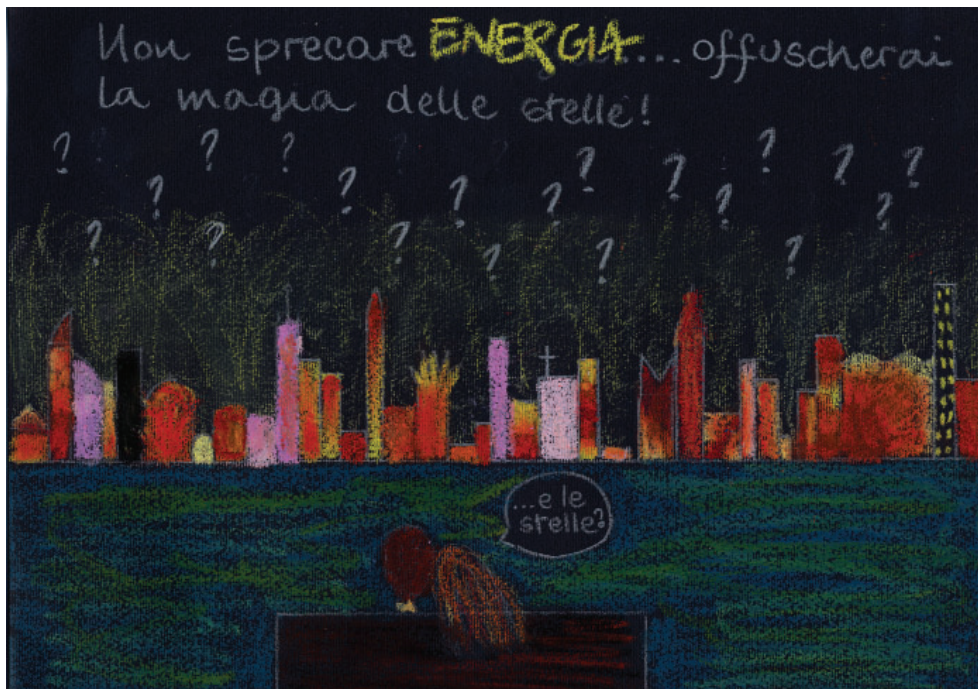
Fabio Gaudenzi, Lodovico Grandi, classe I sezione D, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



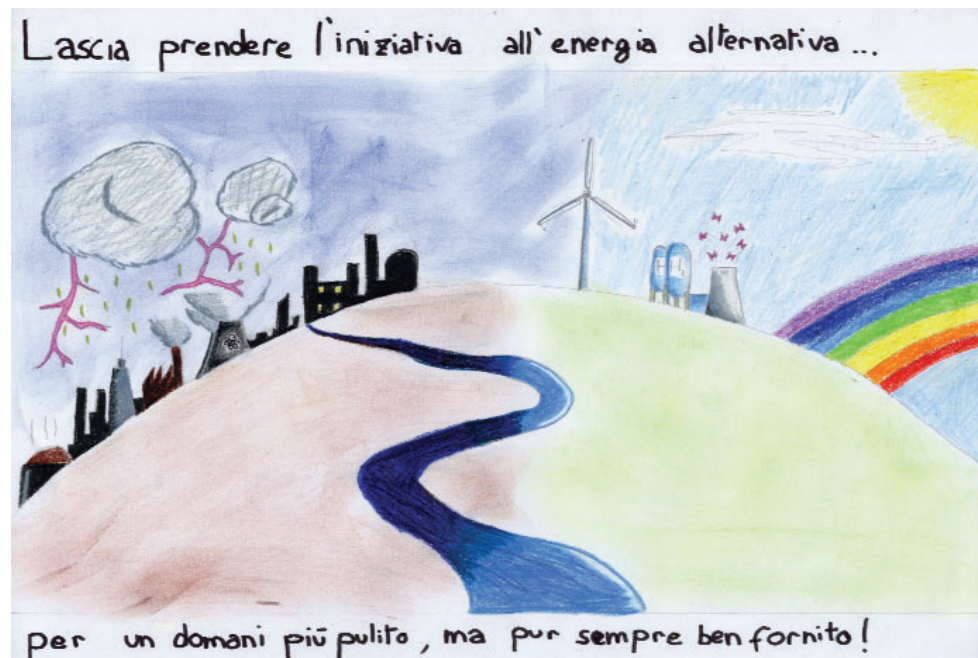
Caterina Minarini, Elena Pettoni Possenti, classe IV sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Simone Gelimeri, Federico Landi, Francesco Pirazzoli, classe I sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Carlotta Calamelli, Giorgia Tampieri, classe IV sezione D, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Matteo Costanzi, Margherita Vignali, Luca Bertozzi, classe III sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Danilo Paduano, Simone Paduano, Andrea Restaino, classe V sezione D, Istituto statale di istruzione superiore Tecnico per Attività Sociali (ITAS) "S. Pertini", Campobasso



Martina Comani, Tommaso Mongardi, Alice Vignali, classe I sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



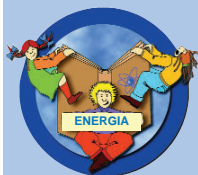
Tommaso Giuliani, Camilla Dalmonte, classe II sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



Francesca Colavecchia, Federica Pascale, classe V sezione D, Istituto statale di istruzione superiore Tecnico per Attività Sociali (ITAS) "S. Pertini", Campobasso



Andrea Zanellati, Martino Dall'Osso, Pietro Talli, classe IV sezione B, Liceo scientifico statale "B. Rambaldi - L. Valeriani", Imola



L'energia nella società moderna

Concorso per le scuole

promosso in occasione della XIV settimana della cultura scientifica

Tratto dal *Notiziario dell'Istituto Superiore di Sanità* Vol. 17(2) 2004 (www.iss.it/notiziario)

Perché un Concorso?	Per invitare alla riflessione sulle tematiche relative all'energia , come proposto dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, l'Istituto Superiore di Sanità organizza un concorso per le scuole.
Chi può partecipare?	Il Concorso è diretto agli studenti degli istituti di istruzione secondaria superiore .
Cosa si deve fare?	I ragazzi dovranno realizzare un disegno , una vignetta o comporre uno slogan , una poesia , una filastrocca che evidenzino un aspetto significativo relativamente all'uso dell'energia nella società moderna e alle sue implicazioni per l'ambiente. L'elaborato deve essere prodotto individualmente o in gruppi di max 2/3 persone; non dovrà superare una pagina (formato A4) e dovrà essere realizzato interamente in classe (max due ore di tempo).
A chi e come deve essere inviato il materiale?	Gli elaborati realizzati in una stessa classe saranno raccolti dall'insegnante promotore che li invierà in copia cartacea a: Dott.ssa Paola De Castro - Settore Attività Editoriali Istituto Superiore di Sanità - Viale Regina Elena, 299 - 00161 Roma
Quando scade il Concorso?	Gli elaborati dovranno essere inviati entro e non oltre il 31 dicembre 2004 .
Chi valuterà i lavori?	Una commissione costituita dai relatori e dagli organizzatori del seminario tenutosi in ISS in occasione della XIV Settimana della cultura scientifica (Roma, 25 marzo 2004) e dal gruppo di coordinamento del progetto "Il metabolismo della conoscenza nei giovani: una sperimentazione interattiva tra scuole e istituti di ricerca" (<i>responsabile del progetto</i> : Cecilia Bedetti).
Chi vince?	I cinque elaborati ritenuti migliori tenuto conto della: a) significatività dell'aspetto connesso al consumo energetico; b) originalità del progetto grafico o testuale.
Cosa si vince?	Gli autori degli elaborati prescelti potranno trascorrere una giornata presso i laboratori dell'ISS di loro interesse o ricevere libri di argomento scientifico.
Che ne sarà degli elaborati?	I cinque elaborati prescelti e tutti quelli che la commissione avrà selezionato saranno inclusi in un volume didattico del quale è prevista la pubblicazione.
A chi rivolgersi per avere informazioni?	Paola De Castro tel. 06 49902944 e-Mail: paola.decastro@iss.it Giovanna Morini tel. 06 49902428 e-Mail: giovanna.morini@iss.it Bruna Auricchio tel. 06 49902341 e-Mail: brunaauricchio@hotmail.com Cecilia Bedetti tel. 06 49902405 e-Mail: cbedetti@iss.it

© Istituto Superiore di Sanità 2004

I edizione marzo 2005
Centro Stampa De Vittoria srl - Via degli Aurunci, 19 Roma