

XXIV - SCIENZA E TECNICA: QUALCHE SPERANZA PER UN FUTURO NON IMMEDIATO

La scarsità delle risorse naturali e l'esigenza di tutelare l'ambiente, nel breve periodo pongono limiti ad un consistente miglioramento delle condizioni di vita nei paesi poveri e al mantenimento delle condizioni attuali nei paesi ricchi. Secondo alcuni studiosi questi limiti *potrebbero essere superati, nel medio periodo grazie all'evoluzione della scienza e della tecnica*, e di questa evoluzione vorrei esaminare alcuni dei traguardi più promettenti. Ma affinché le promesse si realizzino è necessario il superamento del clima di diffidenza -a volte di aperta ostilità- per ciò che di nuovo la scienza e la tecnica ci propongono, clima che ancora oggi è molto diffuso anche tra le persone colte. Questo atteggiamento, come abbiamo visto nel par. 43.0 (punti 3 e 4), si fonda su di un generico timore per quelle novità che non si è in grado di comprendere completamente, e su questo timore fanno leva alcune forze politiche per catturare consensi¹.

91 - LE PROMESSE DELLA SCIENZA

1. **Fusione nucleare.** Si spera di riuscire a realizzare, entro qualche decennio, le prime centrali a *fusione* nucleare, che rispetto alle attuali centrali a fissione² presenterebbero decisivi vantaggi.

a- *Maggiore sicurezza.* Nella *fissione* nucleare gli atomi di uranio, opportunamente "bombardati" con particelle sub-atomiche (neutroni), *si spaccano* (da ciò il termine "fissione") liberando l'energia che legava insieme le diverse componenti. Nella *fusione* nucleare gli atomi di due isotopi dell'idrogeno, il deuterio e il trizio, vengono *fusi* ad altissima temperatura, dando origine ad atomi di elio, la cui massa è leggermente inferiore alla somma delle masse degli atomi che si sono fusi; a questa riduzione della massa corrisponde una liberazione di energia, secondo il noto principio della convertibilità reciproca di energia e materia.

Nelle attuali centrali a fissione, anche se con probabilità estremamente basse, potrebbero verificarsi incidenti dovuti all'intensificarsi della potenza della reazione, causata da errori o da altre cause non previste, mentre nella fusione la potenza non può mai crescere autonomamente, ed anche se il reattore viene lasciato a se stesso, la reazione semplicemente si spegne.

b- *Disponibilità illimitata del combustibile.* Il deuterio si trova disciolto nell'acqua di mare, e il trizio si ottiene dal litio, che è un componente di alcuni minerali (lepidolite, spodumene, ambligonite) dei quali esistono vasti giacimenti in numerosissimi paesi.

c- *Fine della dipendenza energetica di tutto il mondo da un piccolo numero di paesi.* Mentre l'uranio, il petrolio, il metano, e anche il carbone, si trovano in numero limitato di paesi, dai quali tutti gli altri dipendono, deuterio e litio, diffusi ovunque, sottraggono definitivamente il mondo al ricatto energetico.

d- *Fine del problema dello stoccaggio delle scorie e dei materiali prodotti dallo smantellamento delle centrali.* Il combustibile esaurito, e i materiali provenienti dalle centrali che dopo un certo numero

¹ Sui diffusi timori per le novità tecnologiche si veda: C. Pelanda, P. Savona, *Sovranità e fiducia*, Sperling & Kupfer, Milano, 2005, pp. 179-181.

² Nel 2008 vi erano nel mondo 440 centrali nucleari, che fornivano 365.000 Megawatt, pari al 17 per cento dell'energia elettrica complessivamente prodotta, e si trovavano in 30 paesi (in maggior numero negli Stati Uniti e in Francia, rispettivamente 104 e 59). E' probabile che il grave incidente del 2010 alla centrale nucleare di Fukushima in Giappone provocherà il rallentamento o l'annullamento della costruzione e dei progetti per alcune decine di nuove centrali in tutto il mondo.

di anni di attività devono essere smantellate, nel caso delle centrali a fissione permangono radioattivi per decine di migliaia di anni, e devono quindi essere collocati in depositi a grande profondità con notevoli costi. Invece il combustibile esaurito prodotto dalle centrali a fusione, oltre ad essere in quantità minore, permane radioattivo per soli cento anni (come i materiali di smantellamento), quasi eliminando il problema delle scorie.

L'umanità sarebbe quindi in grado di produrre *energia in quantità illimitata, a basso costo e senza rischi di inquinamento*, rendendo economicamente conveniente la *dissalazione dell'acqua di mare* e il suo *pompaggio anche a grandi distanze per irrigare e coltivare le terre aride*.

e- Tuttavia il rapporto del 30 settembre 2012 degli scienziati della National Ignition Facility, che si occupano di questa ricerca, sottolinea le enormi difficoltà tecnico scientifiche e gli elevatissimi costi. Di conseguenza sia gli Stati Uniti sia l'Europa si chiedono se non convenga investire somme minori su tecnologie energetiche alternative che garantiscano risultati in tempi brevi, riducendo, per il momento, l'impegno per la fusione a ricerche di base³.

1bis. **Nuove tecnologie nucleari.** Sono allo studio due nuove tecnologie nucleari, a fissione (ed eventualmente anche a fusione), che utilizzano come combustibile l'uranio depleto (che è lo scarto dell'attuale industria nucleare), oppure il litio, o il torio. Il combustibile, a differenza di ciò che accade con l'attuale fissione, verrebbe completamente utilizzato, e quindi l'energia prodotta per unità di combustibile sarebbe 250 volte più grande. Sia la quantità finora immagazzinata di uranio depleto, sia la disponibilità accertata di litio e di torio sulla crosta terrestre, dato l'altissimo rendimento garantirebbero il rifornimento energetico per oltre 2000 secoli (duemila secoli!) ad un ritmo di consumo doppio di quello attuale.

2. **Le nanotecnologie.** Risultati clamorosi sono attesi dallo sviluppo delle nanotecnologie. Il processo di miniaturizzazione degli oggetti viene spinto al limite estremo consentito dalla struttura della materia, vale a dire al livello molecolare e atomico, in modo da *consentire a fonti di energia minuscole di supportare sistemi proporzionalmente immensi, risparmiando energia e materiali, e riducendo l'inquinamento*. I dispositivi prodotti con le nanotecnologie si strutturano e funzionano sfruttando le forze di attrazione e repulsione degli atomi e delle molecole che li compongono.

Le nanotecnologie puntano a creare motori molecolari ad altissimo rendimento che evitano la dispersione di calore, calcolatori a Dna⁴, transistor⁵ che regolano il passaggio di singoli elettroni (anziché della normale corrente elettrica); si tratta di dispositivi le cui dimensioni si misurano in nanometri⁶, *costruiti assemblando singoli atomi e molecole grazie all'invenzione dei "microscopi a scansione a effetto tunnel"*⁷.

Applicazioni delle nanotecnologie sono già in atto o attese nei settori dell'elettronica e della biologia molecolare, e quindi della medicina: microapparecchi nanostrutturati porteranno i medicinali soltanto ai tessuti malati, senza interessare il resto dell'organismo e quindi senza effetti collaterali⁸; microrobot effettueranno diagnosi e interventi di alta precisione senza traumi per i tessuti non interessati; nano-

³ Si veda: G. Caprara, "Corriere della Sera", 13-10-12.

⁴ Il Dna è descritto nel par. 41.

⁵ I transistor sono i componenti dei microprocessori, descritti nel par. 1.

⁶ Un nanometro è pari a un milionesimo di millimetro. Attualmente le dimensioni dei transistor si misurano in micron (un micron è pari ad un millesimo di millimetro).

⁷ Grazie a questi microscopi, e a finissimi strumenti, è possibile osservare e manipolare nello spazio singole molecole e singoli atomi.

⁸ Ciò è possibile perché la superficie di tutte le cellule è dotata di recettori, strutture che hanno il compito di "informare" la cellula circa la natura delle sostanze che la circondano, affinché la cellula le accolga o le respinga; grazie al fatto che i recettori delle cellule malate sono diversi da quelli delle cellule sane, le molecole del farmaco vengono modellate in modo che esse penetrino soltanto nelle cellule malate, mentre quelle sane le respingano.

pile produrranno energia elettrica per alimentare i microapparecchi, ricavandola dal glucosio e dall'ossigeno presenti nel sangue; già sedici pazienti malati di cancro nel 2005 vengono curati presso la Charité Medical School di Berlino con nanosfere di ossido di ferro iniettate nel tumore e riscaldate fino a 50 gradi mediante onde elettromagnetiche: in tal modo vengono distrutte le cellule tumorali, risparmiando le altre.

La possibilità di manipolare nello spazio atomi e molecole sta conducendo ad una crescente produzione industriale di una vasta gamma di *nuovi materiali*, dotati di caratteri finora nemmeno immaginabili e che potranno venire utilizzati nei campi più diversi. Ad esempio si producono già in laboratorio nanotubi di carbonio dalle sensazionali proprietà meccaniche: sono 100 volte più resistenti dell'acciaio e 6 volte più leggeri, e probabilmente ci daranno grattacieli e viadotti più robusti e antisismici, automobili più resistenti, aerei più leggeri e sicuri. Materiali nanostrutturati serviranno per convertire l'energia solare in elettricità, per costruire computer migliaia di volte più potenti di quelli attuali, e per infinite altre applicazioni, alcune già in fase avanzata di progetto, altre ancora da immaginare. L'italiana Italcementi ha sviluppato un cemento anti-inquinamento, denominato TX Millennium, uno speciale cemento fotocatalitico e autopulente a base di nanoparticelle di biossido di titanio in grado di abbattere di un terzo gli ossidi di azoto presenti nell'aria inquinata delle città. Si stanno sviluppando membrane nanocomposte e materiali nanoassorbenti per la purificazione dell'acqua e per la bonifica delle fuoriuscite di petrolio. Nanoparticelle sono già utilizzate per tessuti con particolari caratteristiche e per prodotti cosmetici. Tra le applicazioni già realizzate vi è la *smart dust*, la polvere intelligente costituita da una miriade di micro-computer che misurano meno di un millimetro cubo e contengono software, batterie, capacità di calcolo, parti meccaniche e una serie di sensori elettronici: termometri, microfoni, microspie che captano movimenti e vibrazioni, sensori per gli odori. Si sta lavorando per riuscire a produrli a costi sempre più bassi, aprendo l'opportunità di usarli in quantità enormi, disperdendoli nell'ambiente come, appunto, una polvere intelligente che

“si mimetizza nell'ambiente e capta calore, suoni, movimenti. Può essere diffusa su territori immensi e sorvegliarli con una precisione finora sconosciuta. Può spiare soldati standogli incollata a loro insaputa, segnala armi chimiche e nucleari, intercetta comunicazioni, trasmette le sue informazioni ai satelliti. (...) La polvere intelligente non è stata pensata solo per la guerra. Sparsi nelle foreste i micro-computer hanno il compito di sentinelle anti-inquinamento e nella prevenzione degli incendi; grazie alla loro ubiquità sentono e segnalano all'istante le minime fonti di calore. I network di sensori intelligenti della *smart dust* hanno fatto il loro esordio in funzione antisismica: (...) la precisione di queste micro-apparecchiature consente di percepire lesioni interne che sfuggono agli occhi più esperti ma possono minare la resistenza degli edifici”⁹.

Si sta lavorando anche a motori microscopici ad altissimo rendimento che utilizzano il combustibile a livello molecolare, praticamente senza dispersione di calore, producendo reazioni chimiche che generano direttamente energia elettrica (come nelle celle a combustibile: si veda il punto 4).

Inoltre miniaturizzare significa cambiare il costo dei prodotti: prodotti più piccoli chiedono meno materiali e quindi costano di meno e danno luogo a minori problemi di riciclaggio al termine della loro vita. Si prevede che le nanotecnologie guideranno la prossima rivoluzione industriale e cambieranno quasi tutto ciò che oggi usiamo quotidianamente, dai medicinali ai computer, dai pneumatici agli strumenti per comunicare.

Va infine segnalato un rischio che si sta delineando: le nanoparticelle, disperse nell'ambiente durante i processi di produzione o alla fine del ciclo di vita dei prodotti, potrebbero penetrare nell'organismo, provocando danni alla salute. Per ora non si sa quanto il timore sia fondato; la Comunità Europea ha stanziato ingenti somme per finanziare progetti di ricerca che studino gli eventuali effetti delle nanoparticelle sul nostro organismo.

⁹ F. Rampini, “La Repubblica”, 31-10-02.

3. Energia elettrica dal Sole, sfruttando il ciclo dell'acqua, il moto ondoso, i venti, la luce (fotovoltaico,) il calore. Le fonti di energia fossile oltre ad essere inquinanti sono destinate ad esaurirsi: più rapidamente il petrolio e il metano, in tempi più lunghi il carbone; è quindi indispensabile imparare a sfruttare, oltre al nucleare e all'energia geotermica, le fonti energetiche *rinnovabili*, che derivano tutte, in modi più o meno diretti, dall'*energia solare, che è l'unico flusso energetico permanente e non inquinante* che per qualche milione di anni continuerà ad essere a disposizione della nostra civiltà energivora. Il sole fa crescere le piante dalle quali si ottengono i biocarburanti (si veda il punto 6), e forse con il sole si produrrà direttamente idrogeno se si riuscirà a riprodurre la fotosintesi delle piante (si veda il punto 5). Infine ci sono diverse tecniche -alcune già in atto, altre allo studio o in fase di sperimentazione- tutte dipendenti dall'attività del sole, per *produrre energia elettrica* sfruttando:

- il calore, negli impianti termodinamici (a concentrazione).
- il ciclo dell'acqua (pioggia e neve, evaporazione, formazione delle nubi, pioggia e neve):
dall'acqua che scorre nei fiumi si ottiene l'energia elettrica;
- la luce, mediante i pannelli fotovoltaici;
- l'energia eolica;
- il moto ondoso e le maree.

Solare termodinamico - Secondo molti esperti il modo più conveniente di utilizzare l'energia della nostra stella è il *solare termodinamico o solare a concentrazione*. In ogni impianto l'energia viene catturata da una batteria di specchi parabolici e indirizzata su di un contenitore pieno di un fluido speciale (una miscela di sali fusi che costituisce un efficiente accumulatore termico) che viene portato alla temperatura di quattro-cinquecento gradi centigradi. Questa energia resta disponibile anche di notte o quando è nuvoloso, e viene utilizzata per produrre con continuità vapore acqueo che muove le turbine generatrici di energia elettrica; il costo di quest'ultima, per essere competitivo, abbisogna ancora di una sovvenzione governativa (come avviene per le altre forme di sfruttamento dell'energia solare, con l'eccezione di quella prodotta nelle centrali idroelettriche), ma questa situazione dovrebbe rapidamente mutare: la Banca mondiale, il dipartimento per l'energia degli Stati Uniti e l'Agenzia Internazionale per l'Energia, reputano il CSP (Concentrating Solar Power) il modo più economico di generare elettricità a partire dal sole, e prevedono un forte calo del suo costo, che dovrebbe diventare competitivo a partire dal 2020. Infatti si tratta di una tecnologia piuttosto semplice, e una volta pagato l'impianto, come nel caso dell'idroelettrico, i costi di manutenzione sono molto ridotti. La "Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation", un'iniziativa cui partecipano l'Italia, la Germania, la Giordania e l'Algeria, ha elaborato un piano per la costruzione di centrali CSP, che sfruttando il sole dei deserti del Nord Africa produrrebbero 100 mila megawatt, convogliandoli in Europa con cavi ad alta tensione attraverso il Mediterraneo. Grazie alla sua più alta efficienza, il solare termodinamico richiede, a parità di energia prodotta, la collocazione degli specchi su di un'area pari ad un quarto di quella necessaria per i pannelli fotovoltaici, ed inoltre il costo degli specchi per unità di superficie è nettamente inferiore a quello dei pannelli. Infine è stato realizzato il prototipo di uno specchio parabolico del diametro di 3,75 metri e una superficie captante di 10 metri quadrati, che convoglia il calore su di uno speciale piccolo motore, collegato allo specchio con un braccio meccanico, che produce istantaneamente elettricità e acqua calda.

Fotovoltaico - Nel campo del fotovoltaico sono in atto grandi progressi:

a- I costosi pannelli di silicio verranno sostituiti con un gel liquido composto da silicio amorfo che, sottoposto ad un procedimento nanotecnologico, diventa un semiconduttore che trasforma la luce solare in energia elettrica, catturata e assorbita da piccoli terminali. Il gel viene inserito nell'intercapedine tra i doppi vetri; nelle abitazioni non riduce la trasparenza.

b- Il silicio potrà essere sostituito da pigmenti organici sintetizzati biologicamente -ad esempio l'antocianina, che si ricava dalle bacche di mirtillo- confinati tra due lastre di vetro o di plastica trasparente e flessibile. Fare a meno del silicio consente un risparmio del 60 per cento.

c- Decine di università e aziende in tutto il mondo lavorano a produrre una pellicola di materiale semiconduttore, sottile, a basso costo, spalmabile su vetro, metallo e plastica, ad alto rendimento: dovrebbe convertire in elettricità circa il 35 per cento dell'energia solare ricevuta, contro l'attuale 20 per cento dei pannelli di silicio. In questo settore l'Italia è all'avanguardia: un gruppo di ricercatori del Cnr di Bologna ha realizzato una vernice, denominata Photon Inside (verrà commercializzata dall'austriaca Bleiner ag.) dalle caratteristiche davvero straordinarie:

“non ha bisogno di nessun supporto: può essere applicata direttamente sulle superfici e spalmata anche più volte man mano che si degrada. I vantaggi di Phon Inside rispetto ai prodotti fotovoltaici tradizionali sembrano enormi: nessun impatto architettonico e ambientale, resistenza agli agenti atmosferici, nessun rischio di furto, possibilità di essere applicata su grandi superfici di tutti i tipi. (...) Con 50 metri quadrati si realizzano 3 kw, ma visto che si possono trattare superfici enormi si ricavano anche grandi quantità di energia. I costi rispetto al fotovoltaico tradizionale sono dimezzati”¹⁰.

Fotovoltaico spaziale. Pannelli fotovoltaici posizionati su un satellite geostazionario produrrebbero energia elettrica con un rendimento enormemente superiore ai pannelli posizionati sul terreno. Il problema di inviare a terra l'elettricità ottenuta viene affrontato da alcune industrie giapponesi, che nel 2009 hanno costituito un consorzio per realizzare un satellite e soprattutto una tecnica per convogliare l'elettricità verso la terra, senza cavi, sotto forma di microonde oppure raggi laser.

Fotovoltaico stradale. E' stato creato un prototipo di pannello fotovoltaico sostitutivo dell'asfalto. E' composto di tre strati: il primo traslucido per far passare i raggi solari ma resistente ai carichi elevati, all'acqua e alle intemperie, aderente come l'asfalto e non riflettente; il secondo contiene le celle fotovoltaiche, il terzo racchiude i collettori e i trasmettitori dell'energia prodotta. Il Dipartimento per i trasporti degli Stati Uniti ha finanziato una prima sperimentazione su strada.

Eolico off-shore. Eolico d'alta quota – L'impianto di pale eoliche in terraferma guasta il fascino del paesaggio e può compromettere il turismo, perciò si guarda con interesse alle tecnologie volte a realizzare parchi eolici off-shore e ad alta quota.

-Dodici chilometri al largo dell'isola norvegese di Karmoy è stata realizzata

“la prima turbina eolica galleggiante, ancorata in mare aperto a una profondità di 220 metri. (...) La parte emersa è un pilone di 65 metri sul quale sventa un rotore di 82 metri di diametro”¹¹.

Un congegno di controllo consente di smorzare le oscillazioni che sarebbero altrimenti causate dal moto ondoso. Questo sistema consentirà di creare redditi parchi eolici nelle aree in cui i venti sono più intensi; l'ancoraggio ai fondali è possibile fino a 700 metri di profondità.

-E' stato già brevettato un aerogeneratore che trasforma in elettricità l'energia meccanica di grandi aquiloni (superficie da 50 a 100 metri quadrati) posizionati ad una quota tra i 500 e i 1500 metri, dove i venti sono costanti e otto volte più potenti che a terra. L'aquilone ruota trattenuto da due cavi che lo collegano alla centrale generatrice; è munito di sensori alla direzione delle correnti, che viene comunicata all'operatore a terra il quale regola il posizionamento dell'aquilone per sfruttare al massimo la potenza del vento.

¹⁰ F. Frattini, “Il Mondo”, 29-8-08.

¹¹ P. Feletig, “La Repubblica” *Affari e finanza*, 22-6-09.

Maree e correnti marine. In numerosi paesi (Portogallo, Gran Bretagna, Danimarca, Canada, Stati Uniti, Australia, Nuova Zelanda) decine di istituti di ricerca e di imprese private stanno sperimentando prototipi di molti tipi diversi per produrre energia elettrica sfruttando l'enorme energia espressa dal moto delle maree e dalle correnti sottomarine.

3bis. *Altri possibili modi per produrre energia elettrica utilizzando cristalli piezoelettrici*¹². La "piezoelettricità" è la proprietà di alcuni tipi di cristalli di generare, quando vengono sottoposti a deformazione meccanica, una differenza di potenziale e quindi energia elettrica¹³. Collocando piastre di generatori piezoelettrici sulle strade, a pochi centimetri di profondità sotto l'asfalto, l'elettricità si ottiene dalla pressione esercitata dal transito dei veicoli. In Italia il sistema verrà sperimentato sull'autostrada A4: si calcola che il passaggio di 600 veicoli in un'ora su un tratto di un chilometro generi 250 kwh. Non solo strade: sono utilizzabili marciapiedi, piste da ballo, scale, tutte le superfici sottoposte a pressione. A Tokyo già funzionano i corridoi d'accesso alla metropolitana; una discoteca a Londra e un'altra a Rotterdam ricavano dalle piste da ballo metà dell'energia elettrica che consumano.

In futuro, materiali piezoelettrici sempre più sensibili e sottili potrebbero generare elettricità dai movimenti naturali del corpo come la respirazione o i movimenti delle articolazioni, per dare energia ai pacemaker e ad altri dispositivi biomedici portatili. Infine con questi materiali si potrebbe anche sfruttare l'energia di caduta della pioggia.

4. *Idrogeno, celle a combustibile (fuel cell).* L'idrogeno è una fonte energetica che potrebbe diventare molto importante in attesa della fusione nucleare. Si tratta del combustibile ideale, perché bruciando produce soltanto vapore acqueo, tuttavia esso non esiste in natura e per ottenerlo si deve utilizzare energia elettrica (elettrolisi dell'acqua, che la scinde in ossigeno e idrogeno) oppure lo si ricava dalla benzina, dal metanolo, dal metano ed anche dal carbone, utilizzando speciali tecnologie ("steam reforming") senza significative emissioni di particelle o di gas inquinanti tranne l'anidride carbonica. L'idrogeno potrebbe in tal modo sostituire tutti i combustibili fossili ovunque è necessario produrre calore, e verrebbe inoltre utilizzato per alimentare le "celle a combustibile" (*fuel cell*) che producono energia elettrica con un rendimento energetico elevato, molto superiore a quello delle centrali termoelettriche. Inoltre l'idrogeno viene già attualmente impiegato su alcuni prototipi di automobili per alimentare un motore a combustione interna, eliminando in tal modo quasi ogni traccia di inquinamento, perché come gas di scarico produce soltanto vapore acqueo e pochissimi ossidi d'azoto; oppure viene prodotto direttamente sul veicolo, utilizzando il metanolo che produce idrogeno mediante il processo di reforming; o infine viene utilizzato su altri prototipi per alimentare piccole celle a combustibile che generano direttamente, a bordo di un veicolo con motore elettrico, l'energia necessaria per alimentarlo¹⁴: oggi quest'ultima tecnologia sembra quella destinata a più vaste applicazioni nei prossimi anni. Infine, nell'attesa delle auto a inquinamento zero, si è avviata la produzione in serie di auto "ibride", che combinano un motore a scoppio (benzina o diesel) con uno elettrico, senza gli inconvenienti delle attuali auto elettriche (peso, dimensioni e costo delle batterie, scarsa autonomia, lunghi tempi di ricarica). I due motori si alternano e quello a scoppio alimenta le batterie di quello elettrico: la riduzione dell'inquinamento va dal 25 al 50 per cento.

Si sta inoltre sperimentando un motore ibrido benzina-acqua, nel quale un dispositivo di elettrolisi, attingendo ad un serbatoio d'acqua (con bicarbonato come catalizzatore), la scinde in idrogeno e ossi-

¹² P.Feletig, "La Repubblica" *Affari e finanza* 14-6-2010.

¹³ E' il meccanismo dei comuni accendigas.

¹⁴ Restano tuttavia da risolvere in modo pienamente soddisfacente i problemi del rifornimento e del trasporto dell'idrogeno sui veicoli. L'idrogeno infatti può essere trasportato allo stato liquido (ma è necessario mantenerlo alla temperatura di -253 gradi centigradi), oppure, a temperatura ambiente, allo stato gassoso, che richiede una fortissima compressione per ridurlo in volumi accettabili, oppure ancora racchiuso in speciali "spugne" di idruri metallici, che sono però molto pesanti.

geno; questi non sono tenuti separati, ma vengono condensati nel gas di ossidrilite HHO; quando viene incendiato dalla scintilla della candela all'interno del cilindro, non esplosione ma implode, creando un vuoto che muove il pistone.

5. Ottenere idrogeno dal sole e dall'acqua, riproducendo la fotosintesi clorofilliana. La fotosintesi è quella complessa catena di reazioni chimiche che avvengono nelle parti verdi dei vegetali, determinandone la crescita grazie all'utilizzo del carbonio contenuto nell'anidride carbonica che assorbono dall'aria, mentre le altre sostanze nutritive e l'acqua sono assorbite dal terreno. Il sole fornisce l'energia necessaria a questo processo, durante il quale le molecole d'acqua H₂O vengono scisse nei loro componenti: l'atomo di ossigeno viene utilizzato, mentre si liberano due atomi di idrogeno. Recentemente è stato scoperto il catalizzatore che consente la scissione dell'acqua, ed ora fisici, chimici e nanotecnologi stanno lavorando per riprodurre il meccanismo individuato, che consentirebbe di ottenere idrogeno semplicemente dal sole e dall'acqua¹⁵.

5bis. Ottenere idrogeno dal sole e dall'acqua, utilizzando le nanotecnologie. I raggi del sole vengono concentrati mediante specchi su di uno speciale nanomateriale; questo, quando la temperatura raggiunge gli 800 gradi, scinde l'acqua in idrogeno e ossigeno¹⁶. Come nel caso del solare termodinamico (si veda il punto 3) l'unico costo è quello iniziale degli specchi.

6. Dal sole: biocarburanti. Si va estendendo la produzione di biocarburanti, il cui prezzo è diventato competitivo dopo i forti aumenti del costo del petrolio. I biocarburanti possono essere aggiunti alla benzina in una percentuale che, a seconda dei tipi, può arrivare al 50% senza dover modificare il motore; con motori adattati la sostituzione può arrivare al 100%. Ve ne sono tre tipi:

-il biodiesel, ottenuto da piante oleose (girasole, colza, soia, palme da olio);

-il bioetanolo, equivalente della benzina, ottenuto soprattutto dalla fermentazione di cereali e barbabietole, ma anche dai residui di lavorazioni dell'industria casearia e delle altre industrie agroalimentari, dai rifiuti degli allevamenti bovini e di pollame, e dai rifiuti biologici urbani;

-il biometanolo, ottenuto da legni e rifiuti cellulosici attraverso processi termochimici e fermentazione, anch'esso equivalente alla benzina. La coltivazione e il trattamento dei vegetali impiega il 40% dell'energia che da essi si può ricavare; i biocarburanti, rispetto ai combustibili fossili, evitano l'immissione di anidride carbonica nell'atmosfera, perché le piante, crescendo, assorbono la stessa quantità di CO₂ che poi restituiranno con l'utilizzo del biocarburante; tuttavia le pratiche agronomiche e industriali per ottenere i biocarburanti richiedono apporti di energia, e se questa è ottenuta da combustibili fossili viene diminuita la riduzione delle emissioni di CO₂. E' merito indubbio dei biocarburanti l'essere privi di zolfo (i cui composti sono uno dei fattori del fenomeno delle piogge acide) e di poliaromatici, sostanze tossiche e cancerogene anch'esse prodotte dall'utilizzo dei combustibili fossili.

Tuttavia i biocarburanti dovrebbero essere prodotti soltanto utilizzando scarti vegetali e rifiuti organici di ogni tipo, mentre le apposite coltivazioni per produrli (che naturalmente sono sponsorizzate dalle grandi multinazionali agricole) *consumano due risorse sempre più rare sul pianeta: l'acqua e il terreno fertile* (si vedano i par. 15.1, 15.2 e 15.5). Infatti occorrono enormi superfici per ottenere relativamente modeste quantità di biocarburanti, e di conseguenza il crescente utilizzo di terreni agricoli per la loro produzione, non solo sta accelerando il *disboscamento delle foreste* (ovunque, ma specialmente nell'Amazzonia) ma sta provocando anche, in tutto il mondo, un *forte aumento del prezzo dei più importanti prodotti agricoli destinati all'alimentazione umana*. Già si è visto che *se questo trend dovesse*

¹⁵ La questione viene esaminata in modo più approfondito da Vincenzo Balsamo, intervistato da G. Beccaria su "La Stampa" *Tuttoscienze*, 29-8-07.

¹⁶ Si veda: G. Parrini, "La Stampa" *Tuttoscienze*, 10-3-10.

continuare si trasformerebbe in un'autentica tragedia per i paesi più poveri, aggravando la sottoalimentazione di centinaia di milioni di esseri umani. Si sta lavorando per risolvere questa contraddizione mediante l'utilizzo di particolari enzimi che trasformano in zuccheri semplici, e quindi in bioetanolo, le parti cellulosiche (fusti, steli, foglie) di tutte le piante attualmente coltivate per l'alimentazione umana; in tal modo si produrrebbero biocarburanti senza dover ricorrere a coltivazioni apposite.

“La ricerca punta infatti allo sviluppo entro i prossimi dieci anni di etanolo e biodiesel di ‘seconda generazione’, derivati da biomassa cellulosica, quindi dai resti delle coltivazioni, il che renderà progressivamente disponibili in larghe quantità biocombustibili a elevata compatibilità ambientale, *senza incidere sul mercato delle materie prime alimentari.* (...) Non ci sarà nessuna concorrenza tra alimenti e biocarburanti, perché con la tecnologia di seconda generazione la pianta verrà utilizzata per intero e quindi sfruttata sia per la sua proprietà energetica che alimentare”¹⁷.

Inoltre si potranno coltivare - in terreni aridi oppure salmastri, e quindi inadatti alle coltivazioni alimentari - piante selvatiche ricche di cellulosa.

Una diversa ma analoga possibilità (microrganismi anziché enzimi) è prospettata dal biologo John Craig Venter, il celebre scienziato che per primo ha decifrato l'intera sequenza del genoma umano, secondo il quale si useranno

“microrganismi capaci di trasformare, catturando anidride carbonica dall'atmosfera, gli scarti di alcune colture non commestibili, in biocarburante. Il National Renewable Energy Laboratory ha finanziato un prototipo di bioreattore sviluppato da Du Pont proprio a questo scopo”¹⁸.

La strada più promettente nel campo dei biocarburanti sembra essere quella delle *biomasse marine*, alla cui coltivazione e utilizzo stanno lavorando i ricercatori:

“La soluzione sta nella capacità di coltivare alghe marine e fitoplankton: questi organismi *non richiedono terra o acqua potabile* e le tecniche per convertire la biomassa acquatica in elettricità e in carburanti esistono già”¹⁹.

Esistono migliaia di specie di alghe adatte ai vari climi, e si stanno inoltre sperimentando alghe di acqua dolce, coltivabili in stagni naturali o in apposite vasche, utilizzando anche le acque reflue degli insediamenti umani, ricche di fosfati e di nitrati.

Le alghe presentano rendimenti energetici altissimi e non hanno controindicazioni: crescono rapidamente anche in condizioni climatiche avverse, non producono CO₂ ma al contrario ne assorbono grandi quantità, e non producono rifiuti tossici.

Appare ben avviata anche la produzione di biogas, miscela di vari gas equivalente al metano (del quale contiene il 50 per cento), che si ottiene dalla decomposizione dei rifiuti organici e delle deiezioni animali in assenza di ossigeno (“digestione anaerobica”). Il biogas viene prodotto in impianti adiacenti alle discariche cittadine ed alle stalle.

Si sta inoltre lavorando per produrre “sistemi di ristrutturazione molecolare” che trasformano *qualsiasi* materiale organico (in particolare i rifiuti) in petrolio sintetico, privo di impatto ambientale, che eliminerebbero anche i costi della raffinazione e del trasporto.

Si sta sperimentando anche la via genetica alla produzione di biocarburanti. Craig Venter sta lavorando anche alla “costruzione”, mediante le tecniche dell'ingegneria genetica, di microrganismi capaci di produrre in tempi brevi grandi quantità di sostanze grasse, da cui estrarre biocarburanti di qualità. Infine altri ricercatori puntano ad ottenere batteri in grado di sfruttare il processo della fotosintesi (che è il fondamento di tutti i vegetali: si veda il punto 5) per produrre sostanze grasse trasformabili in biocarburanti.

¹⁷ C. Clini, direttore della *Global Bioenergy Partnership*, intervistato sul “Corriere Economia”, 19-11-07.

¹⁸ J. Craig Venter, intervistato da L. Gabaglio, “L'Espresso”, 12-6-08.

¹⁹ W. Haseltine, “La Stampa” *Tuttoscienze*, 12-3-08. (Corsivo aggiunto).

7. L'ingegneria genetica per produrre energia, farmaci e altre sostanze, e per ridurre l'inquinamento. Nei più diversi settori sono numerosi i progetti ai quali sta lavorando l'ingegneria genetica.

1- *Modificando il patrimonio genetico di alcuni tipi di batteri*, questi vengono indotti a produrre direttamente sia biocarburanti (si veda il punto 6) sia altre sostanze abitualmente ricavate dal petrolio. Il primo successo è stato ottenuto dagli Stati Uniti: mediante un investimento di 100 milioni di dollari è in corso la costruzione, nel Tennessee, di uno stabilimento che utilizzando batteri geneticamente modificati convertirà lo zucchero in propanediolo, un polimero per realizzare materie plastiche che finora si ottengono dal petrolio.

2- Si sta cercando di *costruire ex novo una cellula batterica* molto semplice, dotata soltanto dei geni indispensabili per vivere e riprodursi, e priva dei geni preposti a tutte le altre funzioni. Basterebbe allora aggiungere al genoma delle "cellule base" specifici geni per indurle a *produrre le più diverse sostanze*, utilizzabili in medicina (umana e animale) e in agricoltura.

3- Raccogliendo negli oceani di tutto il mondo una grande varietà di organismi, sono stati individuati 1,2 milioni di nuovi geni, più che in tutta la storia della biologia molecolare; tra questi ce ne sono almeno 800 coinvolti nella *conversione della luce solare in energia*; questi geni potrebbero essere inseriti nelle "cellule base", ottenendo energia dal sole nel modo più diretto²⁰.

4- E' a buon punto la selezione di batteri in grado di "digerire" il petrolio e altre sostanze che inquinano l'acqua e la terra, trasformandole in altre sostanze facilmente eliminabili.

8. Neutralizzazione dell'anidride carbonica. Una parte rilevante della produzione di anidride carbonica nel mondo è concentrata in circa ottomila grandi impianti: centrali elettriche, raffinerie e grandi impianti industriali (industrie del cemento, del ferro e dell'acciaio, e impianti petrolchimici). Si stanno studiando tecnologie per concentrarla e confinarla, riducendo in tal modo l'effetto serra. Alla Columbia University si sta lavorando al prototipo di una macchina per trasformare l'anidride carbonica e gli altri gas a effetto serra in minerali, da seppellire sotto terra a grande profondità. In Canada, Norvegia e Algeria, sotto la direzione del gruppo di studio delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici, l'anidride carbonica prodotta da tre grandi impianti già viene iniettata nelle profondità della terra; si possono utilizzare giacimenti esauriti di petrolio o metano, oppure strati di rocce porose circondate da rocce impermeabili. Infine è allo studio la possibilità di iniettare nel mare la CO₂: a due chilometri di profondità, gassosa o liquefatta, si dissolve nell'acqua senza alcun danno, oppure, liquefatta, si raccoglie su fondali di almeno tre chilometri di profondità in una specie di laghi che permangono stabili. Complessivamente l'immissione di CO₂ nell'atmosfera potrà essere ridotta dal 30 al 40 per cento.

9. Agricoltura senza terra. Si prevede la possibilità che in futuro l'agricoltura venga sostituita dalle *colture idroponiche*: tutte le specie vegetali potrebbero crescere in grandi vasche d'acqua (nelle quali verrebbero immerse le sostanze nutritive necessarie) a temperatura costante e ideale per ciascuna specie, al riparo dalle vicende atmosferiche, e quindi ad *altissima resa per unità di superficie*.

10. Forte riduzione di ogni tipo di inquinamento. Si ridurranno fortemente gli attuali livelli di inquinamento dell'aria, dell'acqua e del suolo:

a- *tutti i mezzi di trasporto funzioneranno a energia elettrica grazie all'idrogeno* (si veda il punto 4) o *alla realizzazione di accumulatori leggeri a basso costo*: a questi obiettivi si sta lavorando intensamente con risultati molto promettenti;

²⁰ Le notizie di questi tre punti sono tratte da un'intervista del N.Y. Times a John Craig Venter, lo scienziato che ha guidato il team che ha decifrato la sequenza del genoma umano. Una sintesi dell'intervista si trova su "La Stampa" *Tuttoscienze* del 24-5-2006.

b- *l'idrogeno e l'energia elettrica a basso costo, prodotta dalla fusione nucleare, sostituiranno tutti i processi di combustione* oggi utilizzati in numerose lavorazioni industriali e nel riscaldamento delle abitazioni. In tal modo l'inquinamento atmosferico potrà scomparire completamente;

c- *il progresso delle biotecnologie* (si veda il par. 42) *eliminerà l'uso dei fitofarmaci, degli antiparassitari e di una parte dei concimi chimici* che inquinano il terreno, le acque dei fiumi e dei mari e le falde idriche;

d- *il progresso tecnologico ridurrà in modo sempre più consistente i più diversi tipi di inquinamento chimico* dovuto a lavorazioni industriali;

e- si sta mettendo a punto la tecnologia dei prodotti fotocatalitici, detti "materiali ecoattivi" oppure "sostanze mangia smog"; sono costituiti da una miscela contenente biossido di titanio (TiO₂) che, spalmata sulla superficie esterna degli edifici oppure sull'asfalto, in presenza di luce provoca il degrado e l'inattivazione delle principali sostanze inquinanti; la miscela agisce soltanto come catalizzatore delle reazioni chimiche alle quali non partecipa e mantiene quindi un'efficacia continua e costante nel tempo. I prodotti dell'inattivazione delle sostanze inquinanti organiche e inorganiche sono sali solubili assolutamente innocui, automaticamente eliminati dalle piogge.

11. Risparmio di energia e di materie prime. Tra i caratteri che maggiormente distinguono la rivoluzione tecnologica in atto dai precedenti periodi dello sviluppo industriale, vi è una forte tendenza al risparmio di energia e di materie prime.

a- la crescita del Pil nei paesi avanzati dipenderà sempre meno dalle vecchie industrie divoratrici di energia e materiali, e sempre più invece dallo *sviluppo di imprese che producono beni e servizi quasi del tutto immateriali* (cultura, informazione, comunicazione, raccolta ed elaborazione dati, consulenze, assicurazioni, servizi finanziari, ecc.) o a ridotto impiego di beni materiali (turismo, tempo libero, servizi sanitari e assistenza alle persone, ecc.);

b- l'evoluzione della tecnica nei più diversi settori renderà possibile *enormi risparmi di materiali e di energia anche nelle produzioni tradizionali*; ad esempio il primo forte aumento del prezzo del petrolio, nel 1973, ha promosso l'adozione di efficaci tecnologie risparmiatrici di energia: oggi le economie occidentali consumano mediamente 800 barili di greggio per generare un milione di dollari di Pil, mentre nel 1976 ne occorreavano 1400 barili. Il successivo ribasso del prezzo aveva rallentato la ricerca finalizzata a questo risparmio, ma dopo i recenti aumenti essa ha ripreso impulso. Si sta lavorando a diversi progetti di automobili a basso consumo, ed altri consistenti risparmi si potrebbero ottenere imponendo l'utilizzo di efficaci tecnologie per l'isolamento termico delle nuove abitazioni.

c- si stanno sempre più perfezionando le tecniche di utilizzo degli scarti, e di *ricupero e riciclaggio dei materiali di ogni genere*.

12. Nuove riserve di metano. Nell'attesa che l'utilizzo delle nuove fonti di energia rinnovabili fin qui descritte diventi economicamente conveniente, si stanno creando nuove tecniche per ottenere gas metano intrappolato in formazioni geologiche finora ritenute non sfruttabili.

Idrati di metano dal permafrost. Il metano è il principale costituente del gas naturale (nel quale si trova associato, in proporzioni variabili, con l'etano, il propano e il butano); se aumenta la pressione, il metano liquefa, e se la temperatura si riduce il metano liquido ghiaccia; viene denominato idrato di metano perché le molecole di metano sono avvolte da molecole d'acqua. La combinazione di alta pressione e bassa temperatura si trova nelle zone artiche e antartiche dove esiste il "permafrost", e negli abissi marini sotto i fondali. La produzione di metano da queste formazioni è stata finora soltanto sperimentale perché ancora antieconomica, ma si prevede che entro il 2020 potrà diventare una fonte energetica conveniente.

Giacimenti di gas e di petrolio negli scisti argillosi. Si trovano gas naturale e petrolio intrappolati negli scisti argillosi; sono state create tecniche di perforazione che consentono di estrarli frantumando

la roccia e iniettando acqua e sostanze chimiche; sono particolarmente estesi gli scisti argillosi che si trovano in Cina, negli Stati Uniti, in Argentina, nel Messico e nel Sudafrica.

13. *Conoscenze biologiche e progresso della medicina.* Infine vi sono le speranze riposte nell'evoluzione delle conoscenze biologiche e nel progresso della medicina e delle tecnologie mediche, che contribuiranno anche a risolvere le attuali difficoltà dello Stato sociale:

“Le nuove tecnologie permettono di dare più vitalità alla mente e al corpo in senescenza evitando l'assurdo concetto di persona che si ritira dalla vita aspettando passivamente la morte. (...) La tecnologia, nel futuro, permetterà di mantenere attivo un individuo fino all'ultimo riducendo il raggio di tempo in cui ha bisogno di assistenza totale. Quindi più persone potranno lavorare più a lungo ed essere meno dipendenti dalla pensione”²¹.

Se queste previsioni si rivelassero fondate, dovrebbero cadere gli ostacoli allo sviluppo derivanti dall'esaurimento delle risorse e dall'inquinamento, ma si tratta di previsioni a scadenza non breve, e nel frattempo i problemi devono essere affrontati. Per farlo seriamente resta la difficoltà esaminata: la *disponibilità dei cittadini dei paesi industrializzati a pagare il costo dell'avvio di una autentica trasformazione dei Pvs*²².

²¹ C. Pelanda, P. Savona, *Sovranità e fiducia*. Sperling & Kupfer, Milano, 2005, p. 183.

²² Descritta nel par. 4.2.