

Giorgio Spinozzi

Il futuro dell'energia



Copyright © MMVI
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 a/b
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 88-548-0670-6

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: luglio 2006

Indice

| | |
|-----------------------------------|-----|
| <i>Prefazione</i> | 7 |
| L'energia oggi | 11 |
| Declino del petrolio | 17 |
| L'uomo e l'energia | 22 |
| Le diverse forme di energia | 28 |
| L'inquinamento | 31 |
| L'energia nucleare | 37 |
| L'energia solare | 43 |
| L'energia idraulica | 54 |
| L'energia geotermica | 68 |
| La fusione nucleare | 74 |
| Gli scenari futuri | 78 |
| L'auto elettrica | 89 |
| L'auto a idrogeno | 94 |
| Il motore ad aria calda | 101 |
| L'anidride carbonica | 105 |
| Quale futuro? | 108 |
| <i>Bibliografia</i> | 111 |

Prefazione

Quello sull'energia è ormai un dibattito permanente. Alla prospettiva di un rapido esaurimento delle tradizionali fonti di combustibili fossili che forniscono l'energia del nostro mondo moderno, si è aggiunta la necessità di ridurre l'inquinamento che ha raggiunto livelli preoccupanti.

Il dibattito ha coinvolto anche l'uomo della strada che sempre più spesso si vede limitato nell'uso del suo giocattolo preferito, l'automobile, il mezzo il cui motore a combustione interna è il maggior responsabile dello smog nelle grandi città.

Il mondo scientifico ha cercato di proporre rimedi a questa spiacevole realtà e ha ideato la pila a combustibile per usare l'idrogeno al posto della benzina, accumulatori di grande capacità per realizzare l'auto elettrica, celle fotovoltaiche per produrre l'elettricità dal sole in modo pulito, aeromotori giganteschi per sfruttare la forza del vento, superconduttori per ridurre a zero le perdite di elettricità, apparecchi per innescare la fusione nucleare e risolvere in via definitiva il problema energetico.

Queste innovazioni già realizzate o in via di realizzazione, hanno avuto una lunga gestazione e messo in evidenza che nel campo energetico non possiamo aspettarci novità rivoluzionarie. La pila a combustibile fu ipotizzata nel 1838. Divenne operativa nel 1959 ed è tuttora costosissima. Diversi sono i tipi di accumulatori realizzati ma nessuno è risultato economicamente accettabile per dar vita all'auto elettrica. L'energia solare ha una densità di potenza al suolo troppo modesta per una sua conversione diretta in elettricità nelle proporzioni richieste dal mondo moderno. I superconduttori sono allo studio da più di dieci anni e ancora non decollano.

L'innovazione più promettente ma anche più problematica è quella che si propone di produrre artificialmente il processo solare che consiste nel fondere fra loro atomi di idrogeno per trasformarli in elio e produrre immense quantità di energia. È un traguardo al quale i fisici si sono molto avvicinati con uno sforzo enorme iniziato nel 1952, ma l'ultimo tratto del cammino sembra essere il più difficile.

Purtroppo la storia ci insegna che anche le scoperte sono caratterizzate da cicli che hanno una fase ascendente, un picco e una rapida caduta. All'inizio di ogni campo esplorato, i risultati sono cospicui e i costi contenuti, poi superato l'apice della curva si hanno solo miglioramenti sempre più modesti e a costi sempre più alti.

Oggi ci sono nuovi filoni di ricerca come l'elettronica, le biotecnologie, l'informatica dove vengono continuamente annunciate nuove importantissime scoperte che rivoluzioneranno il mondo di domani.

Nel campo dell'energia siamo invece in fase discendente. Tutti i modi di sfruttarla sono vecchi. I motori termici e quelli elettrici sono più che centenari. La pila atomica e il turboreattore mostrano la canizie dei sessantenni. Le celle solari al silicio hanno trent'anni e un difetto d'origine: richiedono più energia per farle di quanta ne restituiscono nel corso della loro vita. Il tentato svecchiamento dell'auto con la turbina a gas o col motore rotativo di Wankel, è fallito. Gli aeromotori hanno antenati che risalgono al tredicesimo secolo. Sostituti della benzina come quella sintetica o l'alcool adottato dal Brasile per le sue auto, sono espedienti che risalgono alla seconda guerra mondiale. I combustibili fossili, ai ritmi attuali dei consumi stanno imboccando la fase discendente della loro disponibilità e hanno davanti una prospettiva di vita che non raggiunge il secolo.

L'umanità si trova di fronte un problema gigantesco che è ad un tempo qualitativo e quantitativo. Tutto il suo benessere è basato su una macchina energetica di dimensioni colossali che deve essere sostituita in tempi brevi.

I combustibili fossili hanno determinato il tipo di società in cui viviamo, vale a dire le istituzioni, le imprese industriali, lo stato nazionale, l'agglomerato urbano, lo stile di vita del nostro benessere. Con il loro esaurimento tutta questa immensa struttura entrerà in crisi e l'inerzia legata alla sua mole impone che ci si muova per tempo perché il necessario cambiamento non potrà avvenire che lentamente e per gradi.

Nella storia umana non mancano esempi di grandi civiltà che non avendo saputo cogliere i segnali premonitori, una volta esaurito il loro regime energetico, sono miseramente crollate.

Il rapido esaurimento dei combustibili fossili è un campanello d'allarme che ci deve far pensare. Ignorandolo siamo destinati a invecchiare e a perire.

La fisica atomica ci lascia intravedere interessanti prospettive, alcune molto remote come la trasformazione della materia in energia, altre

più vicine come l'accensione del sole artificiale usando l'idrogeno come combustibile. Se i fisici riusciranno a realizzarla il mondo avrà trovato una fonte di energia praticamente inesauribile. Se invece il sole difenderà a oltranza il suo segreto, potremo ripiegare sulla fisica classica e usare l'idrogeno come tramite tra un gestore centralizzato e milioni di utenti che in una società di tipo diverso da quella attuale dovranno diventare produttori del proprio fabbisogno energetico.

L'energia oggi

Lo storico del futuro che dovrà parlare del nostro tempo, non avrà alcun dubbio nel definirlo come l'era del petrolio. Oggi quasi tutto ciò di cui usufruiamo nel nostro mondo tecnologico, deriva dal petrolio o più genericamente dagli idrocarburi. Ci scaldiamo col petrolio, ci muoviamo col petrolio, ci illuminiamo col petrolio, lavoriamo col petrolio. Se venisse a mancare il petrolio, il mondo si fermerebbe. Ne avemmo un piccolo assaggio nel 1956 quando il canale di Suez venne ostruito e restammo a piedi e senza riscaldamento. Dovemmo rispolverare le biciclette e dormire col cappotto. Fu allora che cominciammo a parlare di soluzioni alternative. Ma ne parlammo soltanto.

Più grave fu la crisi del 1973 quando dall'oggi al domani gli arabi decisero di portare il prezzo del barile da tre a undici dollari. La necessità di fonti alternative divenne più concreta. Furono impostati i primi progetti che valsero soltanto a dimostrarci quanto fosse difficile un valido sostituto del petrolio.

Fortunatamente l'economia ci diede una mano. Gli arabi avevano solo petrolio e sabbia. Tutto il resto dovevano importarlo. Loro aumentarono il prezzo del petrolio e noi aumentammo i prezzi delle cose che gli vendevamo. Il temuto travaso di ricchezze da noi a loro poté essere contenuto.

Oggi la prospettiva di restare senza petrolio è molto più concreta perché è iniziata la curva discendente della sua disponibilità. I consumi crescono più rapidamente delle scoperte di nuovi giacimenti e ciò significa l'inizio della fine. Al ritmo attuale e con i dati di cui oggi disponiamo, siamo già in grado di definire con sufficiente approssimazione la data del suo esaurimento. La curva riportata in Figura 1, elaborata dal geologo statunitense King Hubbert, è vecchia di trent'anni, e quando fu elaborata destò non poche perplessità. Ma oggi si è appurata la sua sostanziale validità perché il picco della curva va spostato in avanti solo di pochi anni.

Ad aggravare il problema si sono poi aggiunti due nuove voci: l'inquinamento e la situazione politica mondiale.

Il primo è dovuto sia ai miliardi di tonnellate di anidride carbonica che riversiamo nell'atmosfera, sia alla nostra incapacità di trasformare tutto il calore che produciamo in lavoro.

L'atmosfera non è un pozzo senza fondo. È un sistema finito che si mantiene o si manteneva in equilibrio grazie alla luce del sole e al processo della fotosintesi. L'anidride carbonica prodotta dalla respirazione degli esseri viventi, animali e vegetali veniva assorbita dalle piante e trasformata in carboidrati e ossigeno. Bruciando i combustibili fossili per alimentare le nostre centrali termoelettriche e le nostre industrie a ritmi sempre crescenti, abbiamo rotto questo equilibrio e dato origine a quel fenomeno fisico che viene definito come effetto serra. L'atmosfera non è più in grado di restituire per irraggiamento una parte del calore solare assorbito dal terreno e la temperatura globale del pianeta si innalza.

Il problema è enfatizzato dal fatto che solo una parte del calore che produciamo viene effettivamente utilizzato. Il resto si disperde nell'at-

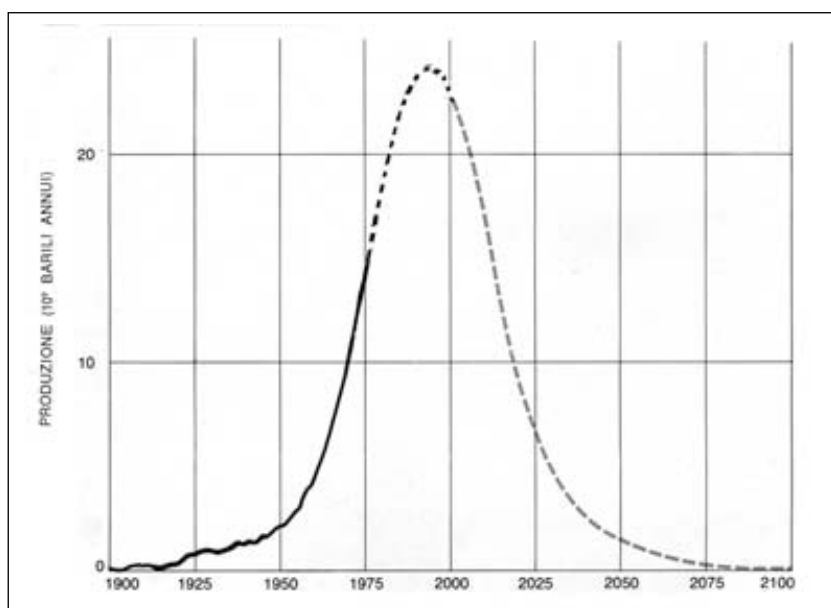


Figura 1 – La disponibilità finita di petrolio è responsabile della forma di questa curva che rappresenta la produzione mondiale nel corso di due secoli. La previsione è basata sul lavoro di M. King Hubbert del Geological Survey degli Stati Uniti.

mosfera. Le conseguenze a lungo andare sono molto gravi. I ghiacciai si sciolgono. Il livello dei mari cresce. Il clima si tropicalizza. I tifoni cominciano a comparire anche alle medie latitudini.

L'altra grande incognita che grava sul nostro futuro è rappresentata dai rapporti politici con molti paesi produttori di petrolio, rapporti minati da conflitti e incomprensioni che possono compromettere i nostri rifornimenti.

Una parte notevole dei giacimenti di idrocarburi è dislocata nei paesi arabi dove sta avanzando a grandi passi il fondamentalismo islamico che può causare gravi ripercussioni sui nostri rifornimenti petroliferi e sul nostro benessere.

È un fenomeno che nasce dalla frustrazione del modo arabo nei confronti dell'Occidente e ha radici antiche che affondano nella storia prima ancora che nella politica egemonica della Gran Bretagna prima e degli Stati Uniti poi.

Bisogna tornare all'epoca in cui in Palestina nacque il cristianesimo che avrebbe condizionato tutta la storia del mondo occidentale, e nell'Arabia Saudita seicento anni dopo quando nacque l'Islam che avrebbe condizionato quella orientale.

Fra le due religioni c'è una differenza fondamentale.

Per il cristiano il paradiso è un premio che l'uomo deve guadagnarsi durante la sua esistenza terrena antepoendo la virtù al peccato con una vita condotta all'insegna della fede e dell'operosità.

Per il mussulmano invece il paradiso è un dono di Allah. Ogni evento compreso il suo cammino, è tracciato da Dio. Basta seguirlo e la meta è assicurata. Non ci sono intermediari ne sacramenti. A lui si chiede solo la fede incondizionata in Allah, la preghiera, il digiuno diurno durante il mese di Ramadan, l'elemosina ai poveri e il viaggio alla Mecca almeno una volta nella vita. Alla morte lo attende un paradiso pieno di delizie terrestri.

Nella religione mussulmana c'è anche una forte componente sociale perché attraverso i precetti del corano, il libro sacro dell'Islam, si propone di raggiungere la concordia fra tutte le genti, l'equa ripartizione delle ricchezze e la giustizia sociale. Niente barriere fra Stati dunque ne creazione di nazioni, ma un mondo universale fatto di concordia e di mutuo soccorso.

Questa idilliaca visione del mondo ebbe un impatto formidabili su tutte le genti dell'Oriente. Mentre l'Occidente si chiudeva nei conventi in vita contemplativa nell'attesa del ritorno di Cristo, l'Islam si espan-

deva a macchia d'olio, accompagnato da uno straordinario rigoglio nel campo della matematica, dell'astronomia e della filosofia.

Cento anni dopo la morte del suo fondatore, Maometto, aveva già raggiunto l'India, mentre in Occidente, attraversato come un ciclone tutto il Nordafrica, era dilagato in Spagna e cercava di entrare in Francia. L'Occidente cristiano si difese e nell'epica battaglia di Poitiers gli arabi ebbero la prima cocente sconfitta. Correva l'anno 732.

Dopo la parentesi delle crociate durante le quali il mondo cristiano cercò invano di riconquistare la Palestina, gli arabi ripartirono all'attacco. Nel 1529 riuscirono ad arrivare fino a Vienna e la cinsero d'assedio. Ma furono respinti da Carlo V. Lo scontro successivo avvenne sul mare, a Lepanto nel 1571, dove una poderosa flotta saracena venne sbaragliata da quella cristiana al comando di Don Giovanni d'Austria.

Decisive furono le quattro galeazze veneziane che coi loro cannoni fecero scempio degli agili e veloci navigli saraceni.

Fecero un ultimo tentativo nel 1683 quando cinsero nuovamente d'assedio Vienna. Questa volta fu il re di Polonia Giovanni III Sobieski a rispedirli a casa.

Nel frattempo in Occidente c'era stato uno straordinario risveglio dopo i secoli bui del medioevo. Abbandonata l'idea dell'imminente ritorno di Cristo, si era scoperta la ragione: "cogito ergo sum", penso dunque sono. La filosofia ben presto trovò un compromesso fra fede e ragione. L'uomo cominciò a ragionare con la propria testa. Il culmine di questo processo si ebbe con l'Illuminismo, quando l'uomo divenne il centro dell'universo con la sua iniziativa e la sua creatività. Scienza e politica dominarono il suo pensiero, mentre le cose spirituali vennero relegate all'ambito della sua coscienza. I risultati non tardarono a manifestarsi. In campo scientifico e sociale si ebbero straordinari cambiamenti che portarono alla rivoluzione francese e al secolo delle invenzioni.

Nel mondo islamico invece tutto rimase come ai tempi di Maometto perché l'uomo, privo di iniziative, era solo un suddito del Regno di Dio e la donna non contava niente.

Di nuovo c'erano solo gli Stati arabi nati dopo il crollo dell'impero turco che di fatto erano dei protettorati della Gran Bretagna, la quale aveva voluto premiare i capitribù che l'avevano aiutata nel corso della prima guerra mondiale, tracciando dei semplici tratti di penna sulla carta geografica del Medio Oriente. Fra questi c'era anche la Palestina sul cui territorio nel 1948, per decisione dell'ONU, nacque lo

Stato ebraico, che aggiunse un altro motivo alla frustrazione dei musulmani.

Arabi agiati che avevano studiato nelle università occidentali, cominciarono ad accorgersi che nel mondo islamico c'era qualcosa che non funzionava e si fecero promotori di una corrente di pensiero che cercava di conciliare i principi fondamentali dell'Islam con l'etica occidentale, mentre altri più radicali propugnavano idee estreme, ovvero la completa adozione del materialismo occidentale.

Lo scia Reza Pahlavi in Iran e Nasser in Egitto furono le punte di diamante di questo nuovo corso. Nasser in particolare propugnava un nuovo panarabismo che mirava alla creazione di un superstato arabo con una costituzione di tipo socialista. Il suo panarabismo si infranse contro i carri armati israeliani durante la guerra dei sei giorni quando le armate arabe congiunte subirono una nuova cocente sconfitta ad opera di un paese di soli tre milioni di abitanti.

In Iran fu la crisi di identità di molti giovani di fronte a una troppo rapida occidentalizzazione imposta dallo Scia a creare una reazione di rigetto che costò il trono a Reza Pahlavi.

Ispiratore di questa ondata reazionaria un egiziano di nome Sayyid Qutb, l'ideologo del fondamentalismo islamico. Apparteneva alla setta dei Fratelli Musulmani. Inizialmente aveva sperato di trovare il modo di conciliare la democrazia occidentale con il contesto islamico senza intaccare l'essenza spirituale della fede. Ma ben presto di era accorto che Nasser e tutti i capi arabi infettati dalla venefica influenza dell'Occidente, erano in realtà dei nemici della fede e perseguivano politiche tendenti ad allontanare i fedeli dall'Islam. Qutb individuava la ragione del declino del mondo musulmano nel fatto che era stata abbandonata la strada indicata da Dio, per aprire le porte al materialismo occidentale e vedeva la soluzione del problema nella *sharia*, ovvero nel ripristino della legge coranica.

Fu questo il retroterra ideologico che indusse i governi musulmani a rovesciare l'ordine economico mondiale imposto dagli Stati Uniti decidendo unilateralmente di portare il prezzo del petrolio da 3 a 11 dollari a barile. Motivo scatenante era stata la guerra del Kippur che aveva visto gli Stati Uniti schierarsi apertamente a fianco di Israele.

Quella decisione fu per molti giovani il segnale che era finalmente giunto il momento di pareggiare i conti con l'Occidente.

Il drastico aumento del prezzo del greggio fece precipitare le nazioni industriali in una profonda depressione, mentre un fiume di denaro

si riversò sui paesi produttori del Medio Oriente. Ma per colmo d'ironia favorì anche una più incisiva penetrazione delle modernità occidentali nei paesi arabi. Il flusso di petrolio da Oriente a Occidente venne ben presto compensato da un flusso in direzione contraria di beni e idee occidentali.

La nuova ricchezza aveva ridato prestigio agli arabi, ma era finita esclusivamente nelle tasche dei governanti corrotti. Il precetto di Maometto di lottare contro l'iniquità creando una società solidale, era stato completamente disatteso. Molti giovani si chiesero che cosa significasse essere mussulmani e trovarono la risposta nel fondamentalismo. Trovarono anche un leader, Osama Bin Laden. L'uomo aveva tutte le carte in regola. Nato ricco aveva rinunciato agli agi della ricchezza per finanziare azioni terroristiche contro gli Stati Uniti e i governi arabi corrotti. Il successo dell'attacco contro le Twin Towers di New York gli ha dato anche il carisma del vincente.

L'America e l'Occidente hanno cercato di combatterlo portando nei paesi arabi la democrazia. Ma la cosa paradossale è che attraverso libere elezioni, proprio i fondamentalisti potrebbero andare al potere per affossarla definitivamente. Un esempio si ebbe in Algeria dove il secondo turno delle elezioni dovette essere cancellato perché quella formazione politica stava per vincerle.

Non va dimenticato che c'è una differenza fondamentale fra il concetto occidentale di politica e quello islamico. Per noi è il popolo che legittima il governo. Per l'Islam è Dio. La nostra democrazia non è che un'usurpazione della sovranità di Dio.

Ovviamente a casa propria ciascuno può pensarla come meglio crede. Se a loro sta bene così noi non abbiamo nulla da eccepire.

Quello che ci interessa sono le forniture di petrolio per le quali gli scenari che si prospettano sono due ed entrambi inquietanti. O gli arabi continueranno a venderci il petrolio, perché è loro interesse farlo, ma a prezzi sempre più alti, o i fondamentalisti arriveranno ai rubinetti e per l'Occidente sarà il buio.

Nell'uno e nell'altro caso dobbiamo trovare un'alternativa perché comunque vadano le cose, si comincia a intravedere il fondo del barile mentre l'inquinamento atmosferico si avvicina sempre più a livelli intollerabili.

Declino del petrolio

Sembra incredibile che tracciando la curva dei consumi di un grande protagonista come il petrolio, quando questa raggiunge l'apice del suo andamento e poi inizia la fase del suo declino, bisogna cominciare a preoccuparsi per la sua fine. Le cifre parlano chiaro. Al ritmo attuale del suo consumo che accenna solo a crescere e a quello delle scoperte di nuovi giacimenti che accenna invece a diminuire, anno più anno meno, possiamo già sapere la data della sua morte. Ormai disponiamo di una tale messe di dati e di conoscenze circa la consistenza dei giacimenti già scoperti che sono più del 90% e di quelli ancora da scoprire dei quali si conosce l'ubicazione e l'estensione delle relative aree sedimentarie che il margine di approssimazione delle nostre previsioni si è ridotto a non più di dieci anni.

Oggi siamo già sulla discesa della curva di Hubbert perché per ogni nuovo barile scoperto, ne consumiamo due. Quando entro breve Cina e India consumeranno come noi, il declino sarà precipitoso. Quella del petrolio sarà una morte tribolata perché di pari passo che la curva discendente della sua vita si avvicinerà al punto zero, non la famelicità dei paesi produttori, ma l'inesorabile legge di mercato della domanda e dell'offerta farà sì che un mondo assetato di energia si contenderà a suon di petrodollari le ultime gocce disponibili. Non siamo ancora nella fase recessiva della sua disponibilità, ma la dimensione del problema è tale che fin da oggi dobbiamo cominciare a chiederci chi ne prenderà il posto.

Il petrolio era già noto fin dall'antichità. Ai tempi di Settimio Severo veniva usato per scaldare l'acqua.

I cinesi sono considerati i precursori dell'uso del metano che già prima dei romani estraevano mediante perforazioni e convogliavano ai punti di utilizzo con primitivi metanodotti fatti di canne di bambù.

Fino all'ottocento il petrolio veniva usato come medicamento e come componente dei prodotti anticalvizie. Fu nella seconda metà dell'ottocento che si cominciò a raffinarlo per usarlo nelle lampade a olio e come lubrificante.

Il primo pozzo petrolifero risale al 1859 e fu scavato in Pennsylvania da Edwin L. Drake, pensionato delle ferrovie e sedicente colonnello, con una perforatrice a percussione.

L'uso sistematico di un suo distillato, la benzina, risale al 1900 quando iniziò l'era del motore a scoppio.

Negli anni trenta del secolo scorso venne messa a punto la distillazione in continuo e la perforatrice rotativa per un'esplorazione più rapida e un'estrazione più efficace. Dopo di allora iniziò l'ascesa vertiginosa del suo utilizzo sia come combustibile sia come materia prima per la petrolchimica alla quale si devono una serie vastissima di prodotti che vanno dalle materie plastiche alle fibre sintetiche.

Allo stato di origine si presenta come un liquido oleoso infiammabile, di colore scuro e odore caratteristico, con un potere calorico di circa 10.000 kcal/l. È composto in prevalenza da idrocarburi. Sua unità di misura il barile che corrisponde a 159,9 l.

Varie sono le ipotesi della sua formazione, ma la più accreditata è che derivi dall'accumulo di resti organici animali e vegetali (alghe, coralli, lamellibranchi) sul fondo di mari chiusi, successivamente ricoperti da sedimenti portati dai fiumi che, compattati dal peso di altri sedimenti, si trasformarono in rocce, dette rocce madri, perché in esse sarebbe avvenuta la lenta trasformazione in assenza di ossigeno e con l'azione di batteri anaerobici, in petrolio. Da queste rocce strizzate come spugne il petrolio sarebbe poi migrato verso rocce più alte e più porose ricoperte da strati impermeabili di argilla, dette rocce magazzino. Infine per il piegamento di queste rocce, il petrolio sarebbe confluito in sacche che oggi si cerca di individuare, perché sono le cosiddette trappole dove il petrolio si è accumulato.

Dove invece nella serie stratigrafica manca lo strato di copertura argillosa, il petrolio è migrato in superficie e ha dato origine a rocce asfaltiche e scisti bituminosi.

La ricerca geologica del petrolio consiste nell'individuare quelle aree sedimentarie originatesi nei bacini caldi, dove può essere avvenuta la genesi del petrolio e di procedere poi con la ricerca geofisica che consiste nel definire con apparecchi ricettori, detti geofoni, i punti di riflessione sulle superfici di separazioni degli strati, di onde sismiche generate da piccole esplosioni. L'insieme di questi punti consente di ricostruire l'andamento degli strati e di individuare quelle pieghe con la convessità verso l'alto, dette anticlinali, sotto le quali possono essersi accumulati gli idrocarburi. Queste sono le trappole più promettenti e

più ricercate, ma ce ne sono anche di altro tipo come quelle delle faglie o della risalita di duomi salini attraverso gli strati che contengono petrolio (Fig. 2).

Individuate le possibili trappole, si procede alla perforazione che, se fortunata, provoca la fuoriuscita del petrolio, in quanto il gas metano in esso contenuto crea nel deposito pressioni molto elevate.

Le operazioni successive consistono nell'istallazione di una grossa valvola, l'albero di natale, nell'intubazione del pozzo con filtri in corrispondenza dello strato produttivo che trattengono le sabbie e con l'invio del petrolio ai serbatoi di stoccaggio dopo averlo liberato dall'acqua salata e dal metano che un tempo veniva bruciato sul posto mentre oggi viene recuperato e instradato in metanodotti.

Si procede poi alla raffinazione mediante distillazione frazionata che consente di ottenere propano, butano, benzine avio, benzine per auto, cherosene, idrogeno, gasolio da riscaldamento e per autotrazione.

Il residuo bituminoso può essere sottoposto ad altri procedimenti come la piroschissione o l'idrogenazione per ottenere altri distillati leggeri.

Questa in sintesi la storia del petrolio che sappiamo già come sostituire con quello sintetico ricavandolo dal carbone, o come ricavarlo dagli scisti e dalle sabbie bituminose quando quello sotterraneo comincerà a scarseggiare. Ma i danni che abbiamo inferto e continuiamo a inferire all'ambiente con l'uso di quello naturale, ci impongono una pausa di riflessione per valutare se e a quali costi ci convenga proseguire su questa strada.

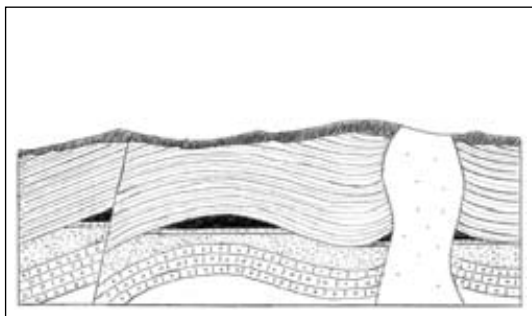


Figura 2 – Tre tipiche trappole: da faglia; da anticlinale; da diapiro salino.



Figura 3
Uno dei primi autoveicoli a benzina, il mezzo più amato dall'uomo e anche il più inquinante.

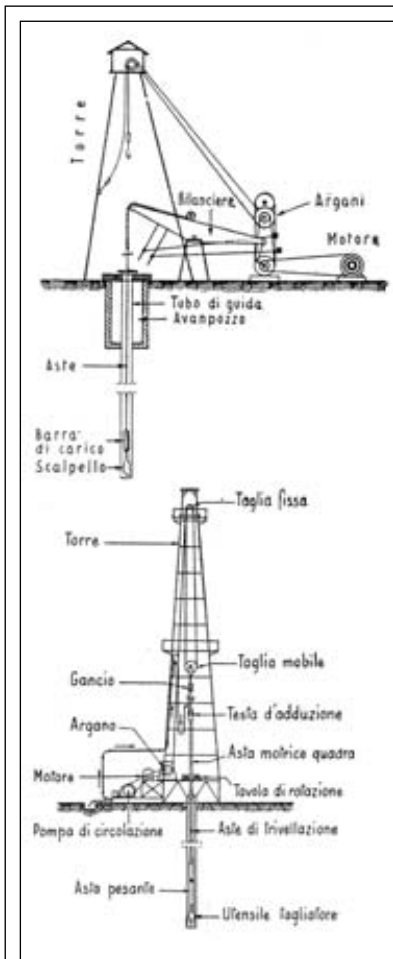


Figura 4 – Macchine di perforazione.

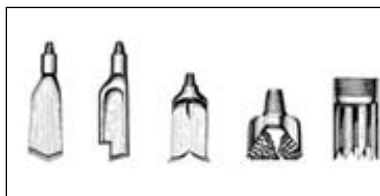


Figura 5 – Tipi di scalpelli: a percussione; a rotazione.

Gli **apparecchi di perforazione** sono di due tipi: a percussione e a rotazione.

Quelli a percussione storicamente sono i più antichi. Si ha notizia del loro impiego presso i cinesi che usavano come scalpello un blocco di selce appeso a una corda di seta. Il primo pozzo petrolifero venne scavato con una sonda a percussione.

Negli apparecchi a percussione lo scalpello è appeso a un cavo d'acciaio che lo solleva e lo lascia ricadere ritmicamente, mediante l'azione di un bilanciere.

L'estensione elastica del cavo provvede a far ruotare lo scalpello. Nei terreni coerenti questo lavoro con uno strato d'acqua sul fondo. I detriti della perforazione vengono periodicamente rimossi con un contenitore cilindrico chiuso in basso da una valvola, la curretta.

Nei terreni incoerenti si opera a secco e il materiale rimosso dallo scalpello viene estratto con una benna. Di pari passo che lo scavo procede, si fa scendere un tubo di acciaio per proteggere le pareti del foro. Il sistema a percussione viene oggi impiegato esclusivamente per le ricerche idriche e lo scavo dei pozzi d'acqua. Le profondità raggiungibili variano dai cento ai 300 m. Negli apparecchi a rotazione lo scalpello viene fatto ruotare da una batteria di aste avvitte, l'ultima delle quali, quella che emerge dal foro, ha una sezione quadrata. Essa scorre all'interno di una tavola rotante che imprime il movimento rotatorio a tutta la batteria.

Le aste sono cave e all'interno viene pompato un fango a base di argilla bentonitica, tramite una testa di iniezione avvitata all'estremità superiore dell'asta quadrata. Il fango fuoriesce dallo scalpello e risale nell'intercapedine fra le aste e le pareti del foro trascinando in superficie i detriti della perforazione. Con la sua pressione idrostatica provvede a sostenere le pareti del foro.

Le sonde a rotazione possono raggiungere i 4000 m di profondità.

Distillazione frazionata – È il processo usato per separare i vari componenti del petrolio sfruttando le differenze dei loro punti di ebollizione. Si effettua in una colonna metallica suddivisa da ripiani a diverse altezze. Il petrolio viene immesso nella parte bassa o zona di flash, dopo essere stato riscaldato a una temperatura di 340° in una caldaia. È questa la temperatura di ebollizione della miscela. I vapori che si formano, salendo nella colonna vengono fatti gorgogliare attraverso gli strati di liquido che si sono formati sui vari ripiani per effetto del riflusso, ovvero del condensato di una parte dei vapori. Quelli che salgono si arricchiscono progressivamente dei prodotti più volatili che vengono recuperati alla testa della colonna, mentre alla base vengono estratti quelli più densi.

Oltre ai prodotti di testa e di coda si possono effettuare spillamenti di prodotti intermedi, in corrispondenza dei ripiani posti a diverse altezze.

La distillazione frazionata viene usata anche in altri processi. Dall'aria liquida ottenuta col metodo di Linde, si possono separare l'azoto e l'ossigeno, nonché gas rari in essa contenuti: argo, neo, cripto, xeno.

Dall'acqua del mare si può isolare l'acqua pesante per la produzione del deuterio.

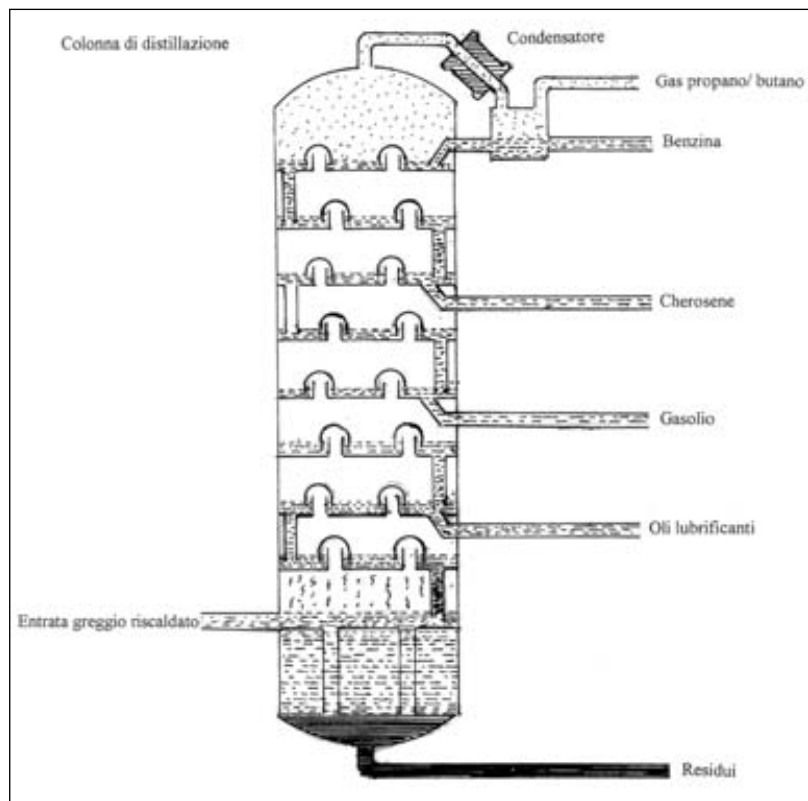


Figura 6 – Distillazione frazionata.

L'uomo e l'energia

La storia dell'uomo e della sua evoluzione è strettamente legato al concetto di energia, un termine che deriva dalla parola greca *energheia* (= forza soprannaturale) e che fu usata per la prima volta da Keplero per esprimere la forza dalla quale ha tratto origine ogni movimento dell'universo.

Diverse unità di misura sono state proposte per esprimere l'energia e di queste quella che ci sembra la più adatta per la nostra trattazione, è la caloria che viene espressa come il calore necessario per innalzare da 14,5° a 15,5° la temperatura di un grammo d'acqua.

L'uomo dell'età della pietra per sopravvivere aveva bisogno di 2.000 kcal al giorno che nel processo metabolico del suo corpo si traducevano in energia muscolare, per respirare, per camminare, per muovere le braccia, insomma per vivere.

Il primo passo verso un consistente aumento dell'uso dell'energia, fu la scoperta del fuoco vale a dire dell'energia termica, ottenuta mediante lo sfregamento di due corpi che altro non era se non la trasformazione di un lavoro meccanico in calore.

Con la scoperta del fuoco l'uomo apportò un notevole miglioramento alle sue condizioni di vita perché bruciando legna imparò a vincere i rigori del freddo. Inoltre lo sgretolamento di rocce dovuto a grandi incendi o all'effetto del gelo nelle fenditure delle formazioni rocciose gli svelò il rapporto esistente fra i fenomeni termici e quelli meccanici.

Anche l'utilizzo della forza degli animali addomesticati (Fig. 7), la scoperta della vela e il lavoro meccanico che si poteva trarre da una caduta di acqua, apportarono nuova energia alla sua esistenza.

Ma la svolta decisiva nella vita dell'uomo si ebbe nel XVIII secolo con la scoperta della macchina a vapore, dovuta alla genialità di James Watt. Con questa macchina si sfruttava il calore prodotto dalla combustione di legna o carbone per produrre vapore che dilatandosi in un cilindro, poteva tradursi in energia meccanica e compiere un lavoro. Questa macchina era stata suggerita da una necessità pratica. L'uomo dopo aver disboscato intere regioni per scaldarsi, aveva cominciato a

scavare carbone per sostituire la legna. Ma scavando in profondità, le gallerie si erano inondate di acqua. Occorrevano pompe per tenerle asciutte e una gran quantità di energia per farle funzionare. Fu la macchina di Watt a risolvere il problema e a fornire un valido sostituto ai cavalli che trainavano in superficie i carrelli carichi di carbone. Da qui la nascita di quella grandezza che va sotto il nome di Cavallo Vapore e l'inizio della rivoluzione industriale.

Nello stesso periodo alle prime ruote ad acqua la tecnica moderna sostituì turbine molto più efficienti per trasformare l'energia cinetica dell'acqua in caduta, in energia meccanica.

L'interdipendenza dell'energia termica e di quella meccanica portò a una miglior definizione delle due grandezze e all'enunciazione di due teoremi. Il primo dice che un'energia può trasformarsi in un'altra ma non distruggersi. Il secondo invece dice che mentre si può trasformare tutta l'energia meccanica in calore, non tutto il calore può trasformarsi in energia meccanica, ma una parte consistente di questa viene dissipata.

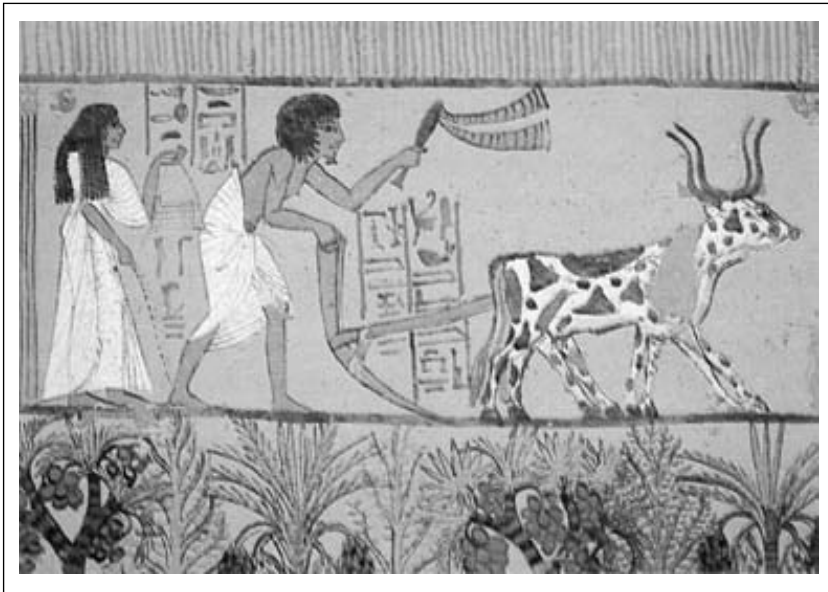


Figura 7 – Aratro egizio risalente al 1250 a.C., come risulta da un affresco scoperto in un'antica tomba di Tebe. È trainato da una coppia di buoi guidati da un contadino.

In termini più vasti questo concetto si esprime dicendo che l'entropia dell'universo cresce, vale a dire che tutta l'energia che lo muove col tempo si trasforma interamente in calore. Il fenomeno che ha non solo un significato fisico, ma anche filosofico, è alla base della struttura del nostro universo. A noi il sapere che fra qualche manciata di miliardi di anni l'universo collasserà, non ci preoccupa più di tanto. Ci preoccupa molto di più il sapere che di tutti i miliardi di barili di petrolio, di metri cubi di metano e di tonnellate di carbone che bruciamo ogni anno per produrre energia, meno della metà si trasforma in energia meccanica. Il resto si dissipa nell'atmosfera alterandone la temperatura nella stessa misura in cui vi contribuisce l'anidride carbonica con l'effetto serra.

Questa enorme quantità di energia che la macchina tecnologica moderna inghiotte ogni anno altro non è che energia chimica originata dal sole, cioè energia solare imprigionata che attraverso processi biochimici è stata trasformata in composti organici prima e in carbone e idrocarburi poi.

Il consumo di questi ultimi ha subito un'impennata vertiginosa a partire dagli inizi del novecento quando accanto alla macchina di Watt comparve il motore a combustione interna che funzionava con un distillato del petrolio, la benzina.

Poco tempo prima aveva fatto la sua comparsa un'altra forma di energia, l'elettricità, che aveva il vantaggio di potersi trasportare a grande distanza, a costi limitati. L'elettricità ha trasformato molti settori di produzione e di servizi come l'illuminazione delle case, i trasporti pubblici, le industrie chimiche e metallurgiche e ha consentito a paesi come l'Italia, poveri di combustibili fossili ma ricchi di energia idraulica, di inserirsi nella grande corrente dello sviluppo industriale.

Oggi anche l'elettricità viene prevalentemente prodotta per via termica bruciando petrolio o carbone.

Con la seconda guerra mondiale una nuova forma di energia si è affiancata a quella della fisica classica, l'energia nucleare che ha confermato un teorema enunciato da Einstein, quello dell'equivalenza fra massa ed energia. Espressa in una formula in cui compare un coefficiente numerico pari al quadrato della velocità della luce, ci dice che l'annichilimento della massa di un grammo di materia corrisponde a una quantità di energia pari a 23 milioni di kWh. Naturalmente siamo ancora molto lontani da questo traguardo. La sola energia nucleare che riusciamo a sfruttare è quella che scaturisce dalla fissione dei nuclei di elementi pesanti quali uranio e torio. Nata come forza dirompente per

Motori a combustione interna – Si dividono in motori alternativi a pistoni e in motori rotativi. Nei primi un pistone si muove alternativamente in un cilindro, essendo collegato a una manovella tramite una biella. Due valvole situate sulla testa del cilindro, aprendosi e chiudendosi in sincronia col movimento del pistone, provocano le fasi di aspirazione, compressione, espansione e scarico del ciclo termico. I motori a pistoni possono essere a scoppio o Diesel. I primi bruciano benzina. Questa viene aspirata, miscelata con aria, quindi compressa e fatta esplodere. Espandendosi fornisce la spinta propulsiva al pistone.

Nel motore Diesel si aspira solo aria che viene fortemente compressa acquisendo una temperatura sufficiente per l'autoaccensione del gasolio che viene iniettato a fine compressione. La sua combustione provoca la spinta propulsiva.

Nella turbina a gas il processo di combustione avviene con continuità in una camera di combustione dove viene immessa a pressione con una turbina, una miscela di aria e cherosene. Questa bruciando si espande e fornisce la spinta propulsiva a una seconda turbina. Oggi la turbina a gas viene impiegata negli aerei a turboelica mentre si è rivelata inadeguata negli autoveicoli perché manca della elasticità e accelerazione richiesta dalla marcia su strada. Nel motore Wankel un pistone di forma triangolare ruota all'interno di una camera opportunamente sagomata dando origine alle quattro fasi del ciclo Otto. Il problema di questo motore è la tenuta delle guarnizioni disposte sui tre spigoli del pistone rotante. È stato affrontato dalla casa automobilistica tedesca NSU che ha equipaggiato con questo motore un proprio modello di serie. Ma non ne sono seguiti altri.

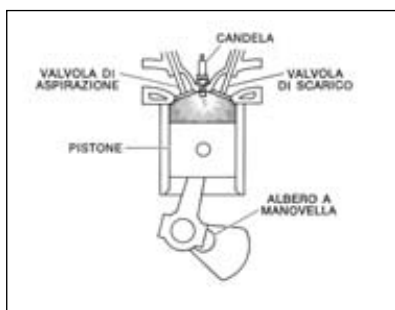


Figura 8 – Motore a scoppio.

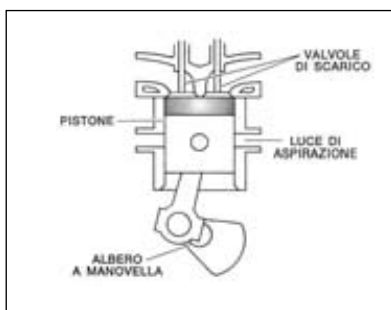


Figura 9 – Motore Diesel.

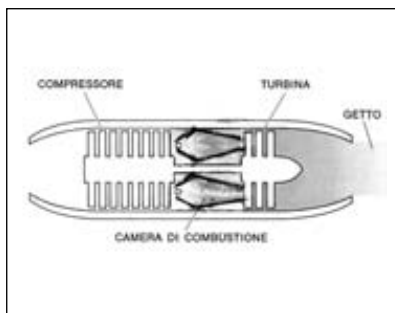


Figura 10 – Turbina a gas.

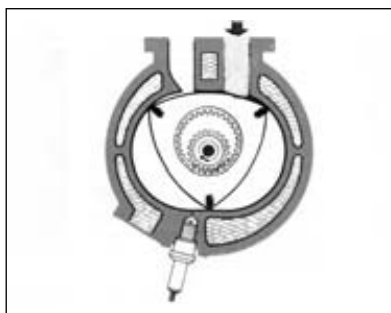


Figura 11 – Motore Wankel.

Produzione dell'energia elettrica – L'energia elettrica ha preso l'avvio dalla scoperta della pila di Volta e viene oggi prodotta da macchine elettromagnetiche, gli alternatori, fatte girare da turbine idrauliche, da turbine a vapore e da turbine a gas. Storicamente le turbine idrauliche sono state le prime utilizzate a questo scopo e sono anche le più economiche perché sfruttano cadute d'acqua (Fig. 12).

Le turbine a vapore funzionano con l'espansione del vapore prodotto in caldaie dove viene bruciato carbone o petrolio o col vapore prodotto dal calore dei reattori nucleari (Figg. 13 e 14).

Le turbine a gas funzionano con l'aumento di pressione di un fluido, che si verifica in una camera di combustione, dalla reazione di un comburente (aria) con un combustibile. L'aumento di pressione del fluido fa ruotare una turbina. Il calore del gas di scarico viene recuperato a valle da una caldaia che produce vapore per azionare un'altra turbina e un altro generatore elevando così il rendimento del sistema dal 25 al 39 per cento (Fig. 15).

Il combustibile può essere metano o gas d'acqua ottenuto in un gasogeno dove carbone rovente viene gasificato con vapore d'acqua e depurato dallo zolfo.

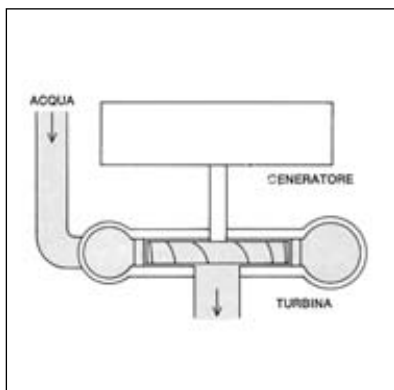


Figura 12 – Turbina idraulica.

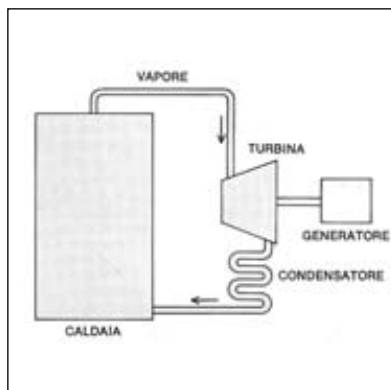


Figura 13 – Turbina a vapore.

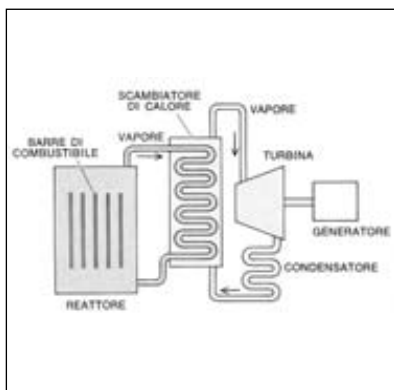


Figura 14 – Turbina nucleare.

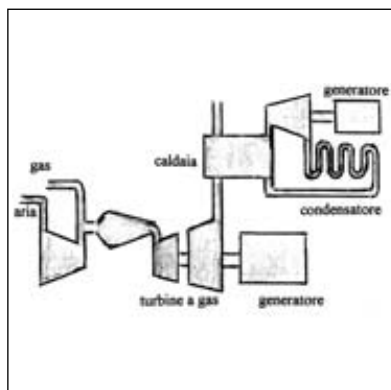


Figura 15 – Turbina a gas e a vapore.

produrre ordigni nucleari, la si sfrutta oggi per usi pacifici controllando il processo di fissione in appositi reattori schermati dove si produce calore che viene trasformato in energia elettrica.

L'apporto calorico che tutte queste forme di energia hanno dato all'uomo tecnologico moderno per soddisfare il suo benessere oscillano fra le centocinquantamila e le 250.000 kcal al giorno e poiché gran parte di queste gli vengono dal petrolio che ha ormai gli anni contati, deve seriamente pensare fin da adesso a trovare una valida alternativa, per non dover ridurre drasticamente il suo tenore di vita.

Le diverse forme di energia

Dovendo stabilire una classifica in ordine di importanza dell'energia che muove il mondo moderno, al primo posto vengono i combustibili fossili ovvero energia solare imprigionata milioni di anni fa e che processi di accumulo geologico hanno concentrato in depositi sotterranei. Sono il petrolio, il metano e il carbone.

Al secondo posto vengono le energie che derivano indirettamente dal sole e sono quelle della fotosintesi, quella idraulica e quella del vento.

La fotosintesi tramite la sintesi clorofilliana catalizzata dalla luce solare, ci fornisce i cibi sia direttamente sotto forma di carboidrati e proteine vegetali, sia indirettamente sotto forma di proteine animali.

L'energia idraulica è quella che deriva dall'irradiazione solare che fa evaporare l'acqua trasformandola in nubi e pioggia. Questa posiziona grandi quantità d'acqua sui rilievi montuosi donde per gravità tendono a tornare al mare. Queste acque che si trovano al di sopra del livello marino, sono dotate di una energia di posizione suscettibile di essere trasformata in energia cinetica e quindi in energia meccanica.

Analoghi sono i processi di irradiazione che portano a squilibri termici fra masse d'aria di diversa dislocazione geografica e a flussi ventosi tendenti a ristabilire l'equilibrio.

L'energia geotermica è quella proveniente dell'interno della terra dove flussi anomali di calore possono dar luogo a campi di vapore geotermico sfruttabili per la produzione di energia elettrica. L'Italia vanta una posizione di primo piano in questo settore coi soffioni di Larderello sfruttati da più di un secolo.

Infine ci sono elementi particolari come l'uranio, presenti nella crosta terrestre, che naturalmente o artificialmente emettono radiazioni e con tecniche particolari possono essere scissi per ottenere altri elementi ed energia. Dal 1967 è iniziato industrialmente il loro utilizzo nei reattori atomici per la produzione di energia elettrica.

Non va nemmeno dimenticata l'energia delle maree dovute all'attrazione congiunta della Luna e del Sole sulle masse d'acqua. In zone par-

ticolari della terra esse raggiungono diversi metri di altezza risalendo i corsi dei fiumi e uno sbarramento di questi mediante dighe può consentirne lo sfruttamento a prezzi competitivi.

Di queste forme di energia, l'idraulica e la fossile sono state quelle che maggiormente hanno contribuito allo sviluppo e al benessere della civiltà industriale.

La grande disponibilità di quelle fossili nei primi cinquant'anni del secolo scorso, ha consentito un rapido aumento della produzione e del benessere in tutti quei paesi dove esistevano assieme alle fonti di energia, anche le strutture economiche e sociali capaci di trarre profitto da quelle fonti.

La reperibilità delle fonti, il loro costo, le caratteristiche di impiego e il rendimento energetico erano gli unici elementi che condizionavano le scelte.

La stabilità che caratterizzava il quadro dei rapporti internazionali e la relativa modestia del tasso di incremento dei consumi, permettevano di considerare le scelte energetiche impostate dai paesi consumatori come al riparo da qualsiasi spiacevole imprevisto.

La crisi di Suez del 1956 che portò alla chiusura del canale, vena giugulare dell'Europa, fu il primo fatto di portata storica che turbò il sistema dell'ordine costituito sul quale il mondo industrializzato dell'Occidente fondava la sua sicurezza in campo energetico. Poi venne la crisi del 1973 che cambiò radicalmente i rapporti economici fra paesi produttori e paesi consumatori del petrolio.

Problemi che in passato non avevano minimamente preoccupato l'opinione pubblica come l'esaurimento entro un tempo prevedibile delle risorse naturali e il deterioramento della qualità dell'ambiente, divennero improvvisamente di attualità.

Si accesero dibattiti e su due fronti opposti di trovarono coloro che sostenevano la necessità di una sospensione della crescita e dei bisogni e dei consumi e coloro che vedevano nell'arresto dell'incremento demografico l'unico sistema per il mantenimento dei livelli di benessere raggiunti. Nel contempo si cominciò a parlare seriamente di fonti alternative e rinnovabili e a progettare i primi impianti pilota. Ma l'unico vero provvedimento fu la diversificazione delle fonti di approvvigionamento del petrolio. Gli idrocarburi di provenienza mediorientale e nordafricana vennero integrati con combustibili provenienti da altri settori geografici e politici, mentre nel contempo venivano scoperti i giacimenti del mare del nord e quelli dell'Alaska. Fu anche impostato un

programma di centrali nucleari al quale inizialmente aderì anche l'Italia che in fatto di fonti energetiche non godeva di grandi risorse. L'unica sua vera fonte energetica era quella idraulica, alla quale davano un modesto contributo le centrali geotermiche di Larderello, alcuni depositi di lignite, il carbone del Sulcis in Sardegna e il metano di Cortemaggiore.

Furono costruite le centrali nucleari di Trino Vercellese in Piemonte e quelle del Garigliano e di Latina nel Lazio, ciascuna con potenza di 150 MV, cui si aggiunse quella di Caorso da 850 MV, sulla rive del Po presso Piacenza.

Il programma successivo che prevedeva la costruzione di altre quattro centrali da 1.000 MV ciascuna, venne bloccato da un referendum.

Percentualmente su scala mondiale le fonti energetiche della civiltà industriale si possono così suddividere: 45% petrolio, 25% metano, 12% carbone e il restante 18% suddiviso fra energia idraulica, nucleare, geotermica e maree.

Limitandosi ai soli combustibili fossili il mondo tecnologico moderno consuma ogni anno duemilanovecento miliardi di barili di petrolio, duecentonovantamila miliardi di metri cubi di metano, e duecentotrentamila miliardi di chili di carbone.

Il 32% di tutta questa energia è assorbito dai trasporti, il 38% dall'industria e il rimanente 30% dall'uso domestico e commerciale

Le uniche fonti energetiche che teoricamente possono offrire una valida alternativa a queste cifre, in termini quantitativi, e non producono anidride carbonica, sono l'energia nucleare, l'energia solare e la fusione nucleare della quale finora si è solo accennato perché ha una potenzialità immensa, ma è ancora molto lontana da un possibile sfruttamento.

Purtroppo come vedremo, la prima presenta inquietanti risvolti, la seconda è difficile da catturare e la terza lo è ancora di più.

L'inquinamento

Prima di prendere in esame queste tre possibilità cerchiamo di capire perché la parola energia è strettamente legata al termine inquinamento e perché sia urgente porvi un rimedio.

Va subito detto che oggi la quasi totalità dell'energia proviene dal calore che produciamo bruciando combustibili a base di carbonio. Ciò comporta due inconvenienti. Il primo è che bruciando tali combustibili, produciamo anidride carbonica. Questo processo rientrerebbe nell'ordine naturale delle cose se bruciassimo legna. Invece bruciamo combustibili fossili e in quantità tale da sconvolgere i ritmi naturali. La natura si ribella presentandoci un conto molto salato da pagare.

La trasformazione del calore in energia comporta il secondo inconveniente. Non riusciremo mai a trasformarlo tutto in lavoro, ma una parte consistente si disperderà. È il secondo principio della termodinamica che lo dice e l'unica cosa che possiamo fare è quella di ottimizzare al massimo il rendimento dei processi di trasformazione.

Dopo la seconda guerra mondiale ai due inconvenienti di cui sopra, se ne è aggiunto un terzo, le scorie radioattive delle centrali nucleari che, se gestite senza regole, potrebbero compromettere il nostro habitat per migliaia di anni.

Dal quattromila avanti Cristo o giù di lì quando i Sumeri, gli Assiri, i Babilonesi e gli Egizi cominciarono a scrivere e a costruire quei magnifici edifici di cui possiamo ancora immaginare le dimensioni e la bellezza, fino alla prima metà dell'ottocento, l'uomo ha vissuto in perfetto equilibrio con la natura. Il ciclo del carbonio assorbiva i suoi prodotti di scarto restituendogli cibo e ossigeno.

Già allora aveva scoperto che il petrolio, il carbone e il metano sono combustibili, ma più che fonti energetiche le considerava bizzarre curiosità della natura. Tutto gli derivava dal sole, il cibo, l'erba per i cavalli, il vento per muovere le navi e macinare il grano, la legna per scaldarsi e cuocere i cibi. Poi nel giro di centocinquanta anni ha cambiato tutto. Prima ha scoperto i motori termici, poi la chimica e infine l'energia nucleare.

È indubbio che tutto ciò ha consentito di migliorare la sua vita, ma lo ha fatto con sprechi incredibili lasciando dietro di sé una montagna di scorie che sono mine vaganti nelle quali lui stesso potrebbe inciampare.

Tralasciamo qui tutti gli inquinanti che l'industria chimica immette nel mercato sia come prodotti pericolosi sia come scarti delle sue produzioni e che l'uomo paga col buco dell'ozono e con terribili malattie professionali.

Limitiamo il discorso a quella parte dell'inquinamento che è direttamente connessa con la produzione di energia.

Abbiamo visto che la produzione di energia da combustibili fossili, al livello tipico di ogni moderna nazione industriale, rappresenta un fatto colossale con pesanti conseguenze per la biosfera. Quella di gran lunga più importante è l'emissione di anidride carbonica. Ma oltre a ciò la combustione immette nell'atmosfera un numero rilevante di agenti inquinanti. I più diffusi sono in ordine di tonnellaggio l'ossido di carbonio, gli ossidi di zolfo, gli idrocarburi, gli ossidi di azoto e le particelle solide.

Le principali fonti di inquinamento sono gli autoveicoli, gli stabilimenti industriali, le centrali termoelettriche, gli impianti di riscaldamento degli ambienti, gli inceneritori dei rifiuti.

Anche sulle acque il consumo dei combustibili fossili produce notevoli conseguenze: effetti chimici quando gli inquinanti atmosferici ricadono con le precipitazioni; effetti termici derivanti dalla dissipazione del calore residuo scaricato dalle centrali elettriche, sia termiche che nucleari.

Finora l'unico prodotto della combustione del quale sia stato documentato l'aumento su scala mondiale è l'anidride carbonica. Il suo apporto all'atmosfera nelle ingenti quantità degli ultimi decenni, è stato troppo brusco rispetto ai tempi lunghissimi dei processi naturali. Essa dovrebbe distribuirsi per cinque sesti nell'acqua degli oceani e per un sesto nell'aria. In realtà avviene in parti uguali perché l'assorbimento dell'acqua è molto lento. Si calcola che dal 1860 a oggi sia passata da 290 parti per milione a 400 parti destinate a salire a 540 parti nel 2020.

L'argomento più dibattuto è che ciò porta a un aumento generale della temperatura del globo.

La molecola dell'anidride carbonica presenta notevoli bande di assorbimento soprattutto nella regione infrarossa dello spettro a lunghezza d'onda fra i 12 e i 18 micron, cioè nella zona spettrale in cui si concentra la maggior parte dell'energia termica che dalla terra si irra-

dia nello spazio. Per conseguenza si riduce la quantità di energia termica che dalla terra si perde nella stratosfera. Al fenomeno si è dato il nome di “effetto serra” anche se impropriamente perché nelle serre il calore viene trattenuto dal vetro che annulla quasi completamente lo scambio di calore con l'esterno per convezione.

Si è tentato di calcolare l'aumento medio della temperatura in funzione dell'aumento dell'anidride carbonica, ma il problema è molto complesso perché l'eventuale aumento della temperatura della superficie terrestre comporta una più intensa evaporazione e quindi un aumento della nuvolosità che a sua volta provoca una alterazione dell'albedo cioè del potere riflettente della terra.

La situazione si complica ulteriormente quando si tiene conto della torbidità dell'atmosfera che ad esempio tra il 1940 e il 1960 ha portato a una lieve diminuzione della temperatura del globo, dovuta in parte alle polveri di emissioni vulcaniche e in parte a grandi incendi nelle regioni tropicali causati dall'uomo per strappare alle foreste nuovi terreni agricoli.

Resta il dato di fatto che il tenore di anidride carbonica è decisamente aumentato e che a medie latitudini sono sempre più frequenti fenomeni di tipo tropicale che prima erano inesistenti.

L'ossido di carbonio è un inquinante dovuto esclusivamente all'imperfetta combustione che avviene nel motore a scoppio. Nonostante sia prodotto in grande quantità non sembra sia capace di accumularsi nell'atmosfera, per nostra fortuna perché è un gas altamente tossico.

Il meccanismo di eliminazione è sconosciuto. Potrebbe trattarsi di una spugna biologica costituita da batteri saprofiti. In ogni caso da alcuni anni a questa parte si cerca di ridurlo con le marmitte catalitiche di cui sono dotate tutte le macchine di nuova costruzione.

Uno degli inquinanti che destano le maggiori preoccupazioni è lo zolfo presente in forma di impurità in molti combustibili fossili. Durante la loro combustione si forma anidride solforosa che reagendo con le acque meteoriche può originare acido solforico. È probabile che l'intensa attività industriale del Nord Europa sia la causa dei bassi pH dei laghi della Svezia che incidono negativamente sul loro ecosistema.

Le emissioni di idrocarburi nell'atmosfera costituite da metano, provengono prevalentemente dalla fermentazione di sostanze vegetali ma le attività umane vi concorrono per circa il 15%. La massima concentrazione si ha in corrispondenza dei centri urbani e deriva principalmente dalla combustione dei motori a scoppio.

La reazione degli idrocarburi con gli ossidi di azoto in presenza di radiazioni ultraviolette spiega lo smog fotochimico che spesso si osserva nel cielo dei grandi centri urbani.

Gli effetti biologici dei prodotti derivati da queste reazioni possono essere molto gravi perché si sospetta che siano cancerogeni.

L'inquinamento delle acque marine per effetto di travasi di grandi quantità di idrocarburi per affondamento o collisione di petroliere, sono invece una tragica certezza. La televisione ci ha mostrato ripetutamente i catastrofici effetti che questi travasi provocano sulle coste e sulla fauna marina.

Oltre ai disastri ecologici c'è anche da considerare l'inquinamento determinato dalle petroliere che in alto mare lavano le loro stive. Si valuta che gli idrocarburi immessi nel mare con questi sistemi criminosi ammontino a un milione di tonnellate ogni anno. Fortunatamente non si verificano effetti su scala mondiale, per cui si ha ragione di ritenere che siano i batteri a provvedere alla rapida decomposizione di queste sostanze inquinanti.

La produzione degli ossidi di azoto nella combustione risente moltissimo delle temperature molto elevate che si formano nei motori a combustione interna. Di questi il più pericoloso è il biossido di azoto che è un forte assorbente dei raggi ultravioletti e ha la capacità di avviare le reazioni fotochimiche responsabili dello smog. In combinazione con le acque meteoriche può formare acido nitrico.

Le particelle solide che entrano negli strati inferiori dell'atmosfera provengono soprattutto dalla combustione del carbone. Si possono abbattere facilmente con appositi filtri purché ci sia la volontà di farlo o normative che lo impongono.

Infine c'è da considerare l'inquinamento da calore che nelle centrali convenzionali è costituito dai fumi caldi degli scarichi delle ciminiere e dalle acque di raffreddamento dei condensatori.

Le centrali nucleari non producono fumi ma l'inquinamento proveniente dal calore di raffreddamento dei reattori e dai condensatori è più del doppio di quello prodotto da una centrale termica di pari potenza.

Per ogni chilowattora di energia bisogna dissipare circa un milione di calorie da un impianto a combustibile fossile e circa due milioni e mezzo da una moderna centrale atomica.

Le temperature sempre più elevate delle acque dei fiumi da cui questa viene attinta per il raffreddamento, provoca la diminuzione della

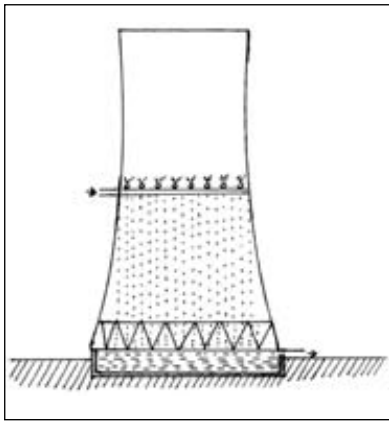


Figura 16 – Torre di raffreddamento.

Torre di raffreddamento – È un'apparecchiatura in cemento molto usata dove non ci sono laghi o fiumi in prossimità della centrale per raffreddare l'acqua calda proveniente dai condensatori o dai reattori nucleari.

La torre è a forma di camino per generare col suo tiraggio una circolazione d'aria dal basso verso l'alto.

L'acqua calda viene immessa nella torre attraverso una griglia forata che la nebulizza, e cade a pioggia in controcorrente all'aria che sale, alla quale cede calore e si raffredda. L'acqua raffreddata viene raccolta in una vasca alla base della torre e riciclata.

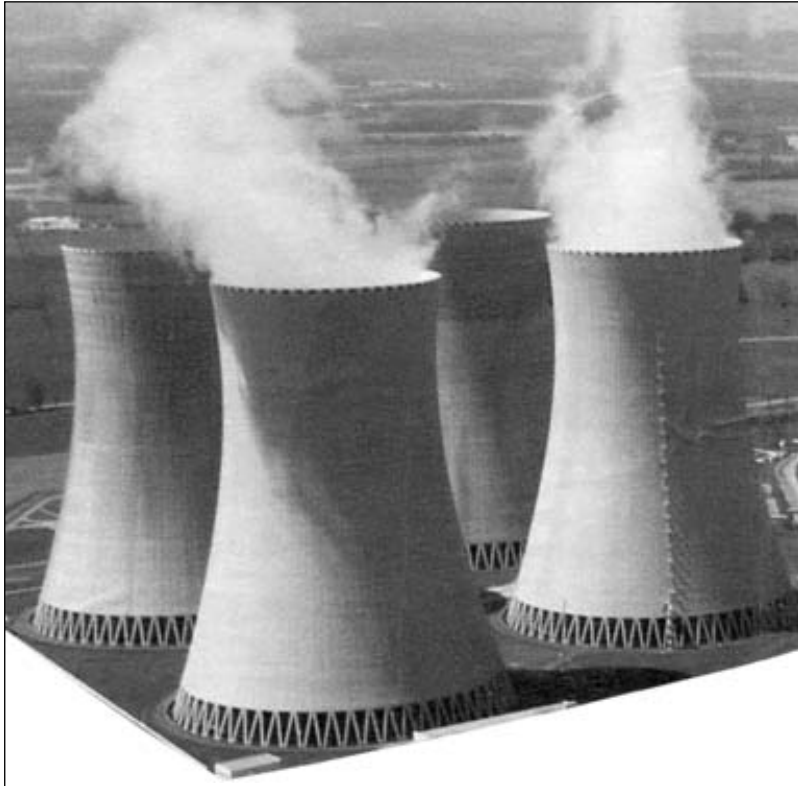


Figura 17 – Torri di raffreddamento di una centrale nucleare.

quantità di ossigeno in soluzione compromettendo così la capacità dei corsi naturali di assimilare i residui organici.

Il calo di ossigeno ostacola la sopravvivenza degli organismi acquatici proprio quando la più alta temperatura ne fa aumentare il tasso di metabolismo e quindi il bisogno di ossigeno.

Interi corsi d'acqua sono stati privati della loro fauna ittica.

Sotto l'incalzare di norme severe si ricorre sempre più spesso alle torri di raffreddamento che funzionano facendo evaporare una parte dell'acqua in modo da dissipare il calore residuo nell'atmosfera anziché nell'acqua (Fig. 17).

Sono enormi camini nei quali l'acqua di raffreddamento dei condensatori e dei reattori nucleari viene riciclata cedendo il suo calore, mentre scende a pioggia, a una corrente ascendente d'aria.

Oggi l'inquinamento da calore è prevalentemente concentrato nei paesi a più alta densità industriale come l'Europa e gli Stati Uniti. Ma paesi come la Cina e l'India sono incamminati sulla stessa strada e gli effetti che il loro apporto di calore potranno avere in futuro sull'atmosfera, sono imprevedibili. L'equilibrio della macchina atmosferica è delicatissimo e ogni eccesso energetico sia pure limitato e circoscritto, può avere conseguenze di incalcolabile portata.

La conferenza di Kyoto in Giappone nel dicembre del 1997 ha elaborato un protocollo che fissa dei paletti alle emissioni dei gas responsabili dell'effetto serra. Ma non tutti i paesi lo hanno sottoscritto e fra questi gli Stati Uniti che di quei gas sono i maggiori produttori.

La strada del risanamento purtroppo è tutta in salita e quanto maggiore è il benessere raggiunto dall'uomo, tanto maggiore è la sua resistenza a porvi un limite.

L'energia nucleare

È quella che scaturisce dalla fissione di atomi di uranio quando questi, colpiti da neutroni, si dividono in due parti. La fissione del loro nucleo comporta una riduzione della massa iniziale che si traduce nella emissione di una grande quantità di calore, secondo la formula di Einstein che enuncia l'equivalenza della massa con l'energia.

La fissione è accompagnata dalla emissione di nuovi neutroni che vanno a colpire altri atomi, creando una reazione a catena. Se questa viene controllata e moderata mediante opportuni schermi, il calore prodotto può essere sfruttato per generare vapore e quindi energia meccanica trasformabile in energia elettrica.

Se è incontrollata, si ha un'esplosione atomica. Ma perché ciò accada il materiale fissile deve avere una massa critica e una concentrazione molto superiore a quella presente nei reattori nucleari.

L'uranio è un elemento radioattivo con simbolo U, scoperto nel 1789 da Klaproth e isolato nel 1842 da Peligot. Ha numero atomico 92 e peso atomico 238. È l'elemento più pesante che si conosca. Non è molto diffuso in natura. Si trova sotto forma di ossido (U_3O_8), un minerale verdastro simile al ferro chiamato Pechblenda, e come ortovanadato di Uranio e Potassio, molto più raro, chiamato Carnotite.

I principali giacimenti di Pechblenda si trovano in Congo, in Russia, in Canada e in Boemia. Quelli di Carnotite in Russia, nel Colorado e in Utah.

I giacimenti di Uranio vengono localizzati con il contatore Geiger, un tubo metallico con un conduttore di elettricità posto coassialmente al suo interno. Fra il filo metallico e le pareti del tubo si stabilisce una forte differenza di potenziale, prossima alla scarica. Il tubo è riempito con tetrafluoruro di boro allo stato gassoso. Quando questo viene attraversato da particelle ionizzanti come quelle emanate dall'Uranio, si genera una scarica che amplificata, alimenta un dispositivo acustico oppure un sistema di conteggio il quale registra il numero di particelle.

L'Uranio si estrae dalla Pechblenda attaccando il minerale con acido nitrico. Il nitrato di uranile viene poi calcinato a UO_3 e quindi ridotto

con carbone in forno elettrico a uranio metallico. Quello destinato alla fissione nucleare richiede un processo più laborioso perché deve contenere meno di una parte per milione di elementi quali boro, cadmio, afnio e samario.

Dalla carnotite lo si ricava mediante trattamento con acido solforico e successiva filtrazione. Poi l'uranio viene separato con resine a scambio ionico.

L'Uranio è una miscela di tre isotopi, U 238 per il 99,28%, U 235 per lo 0,7% e U 234 per lo 0,006%. Di questi l'unico fissile per bombardamento di neutroni lenti, è l'uranio 235 che per essere utilizzato, deve essere separato dagli altri due e portato a una concentrazione del 4%.

La separazione avviene o mediante diffusione gassosa o mediante centrifugazione spinta.

La diffusione gassosa consiste nel far passare esafluoruro di uranio attraverso migliaia di setti porosi, dove l'uranio 238 più pesante è trattato più facilmente dell'U 235 che è più leggero. È un processo molto costoso da addebitare alla complessità tecnologica degli impianti e al notevole consumo di energia elettrica necessaria per farli funzionare.

Il processo mediante centrifugazione è più recente e anche molto meno costoso. Consiste nel far entrare l'esfluoruro in una centrifuga ultraveloce. L'uranio 238, più pesante, viene spinto verso la periferia, mentre l'uranio 235, più leggero, si deposita nella parte centrale dove viene raccolto.

Le eccezionali sollecitazioni cui vengono sottoposti i materiali dell'ultra centrifuga, comportano grossi problemi tecnologici, ma la potenza elettrica richiesta è solo il 10% di quella della diffusione gassosa.

La fissione nucleare venne scoperta a Roma nel 1934, nell'Istituto di Fisica di via Panisperna, da un gruppo di giovani fisici, guidati da un professore venticinquenne, titolare della cattedra di fisica, che si chiamava Enrico Fermi.

Per questa scoperta, il giovane scienziato venne insignito nel 1938 del premio Nobel per la fisica. Andò a ritirarlo a Stoccolma dalle mani del re Gustavo di Svezia, e da lì si trasferì direttamente negli Stati Uniti perché quell'anno l'Italia fascista aveva varato le leggi razziali e la moglie di Fermi era ebrea.

L'atto di nascita dell'energia nucleare per scopi pacifici può farsi risalire al 1942, quando Enrico Fermi nella palestra dell'Università di Chicago mise a punto la prima pila atomica, un mucchio di mattoni di uranio e di grafite il quale aveva il limitato obiettivo di dimostrare che

una reazione a catena poteva essere innescata, regolata a piacere e arrestata.

I primi reattori veri e propri furono costruiti a Hanford nello stato di Washington per produrre il plutonio necessario per le prime bombe atomiche del progetto Manhattan.

L'acqua di raffreddamento era prelevata dal fiume Columbia e scaricata in una vasca. I principi della progettazione di reattori capaci di funzionare a temperature sufficientemente alte per applicazioni di potenza, erano studiati solo in funzione di possibili applicazioni militari.

Tra il 1954 e il 1962 entrarono in funzione una mezza dozzina di reattori prototipo e impianti dimostrativi di medie potenze. Ma le società elettriche si dimostrarono scettiche perché l'energia nucleare risultava non competitiva coi tradizionali sistemi funzionanti a carbone. Inoltre i produttori di carbone avevano studiato sistemi più razionali per il trasporto del carbone dalla miniera alla centrale che gli aveva consentito di abbassare il prezzo del combustibile fossile.

Fu solo tra il 1966 e il 1967 che i costruttori di reattori furono in grado di fornire impianti da 500.000 e 800.000 kW che potevano considerarsi competitivi rispetto a una tradizionale centrale a carbone.

Due furono i tipi di reattori impiegati, uno ad acqua pressurizzata e uno ad acqua bollente, entrambi funzionanti con uranio 235 il solo isotopo presente in natura che diventa fissile per cattura di neutroni lenti. La fissione di un solo grammo di uranio 235 produce energia equivalente a 2,7 tonnellate di carbone e a 13,7 barili di petrolio grezzo. Una centrale da 1.000 MW con un rendimento del 33% consuma ogni giorno tre chili di uranio 235 (Fig. 18).

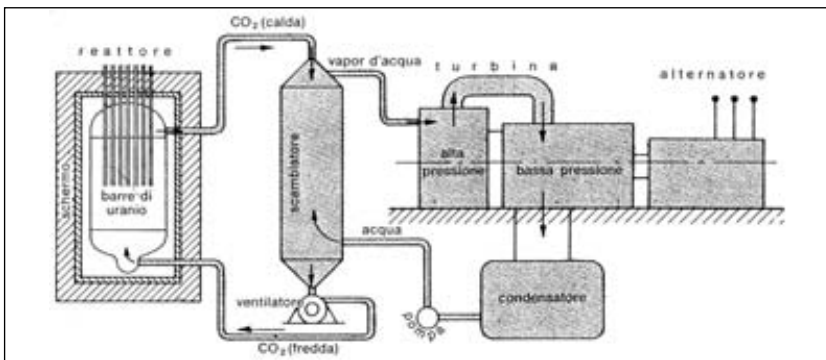


Figura 18 – Schema di una centrale termoelettrica nucleare.

Come si è visto l'uranio 235 è presente solo in minima percentuale nei minerali uraniferi e se ne prevede l'esaurimento in tempi brevi. Perciò a partire dagli anni ottanta sono comparsi i primi reattori autofertilizzanti capaci di produrre il plutonio 239 e l'uranio 233, isotopi entrambi fissili che possono agire da catalizzatori per utilizzare nelle centrali atomiche l'uranio 238 e il torio 232 che sono più abbondanti (Fig. 19).

Va anche segnalato il reattore canadese denominato "Candu" che impiega acqua pesante come moderatore e uranio naturale non arricchito come combustibile, il quale però da un rendimento inferiore rispetto a quelli statunitensi e problemi di corrosione alle turbine

Dopo il disastro di Chernobyl in Ucraina avvenuto nell'aprile del 1986, i programmi di costruzioni di nuove centrali sono stati rallentati o addirittura cancellati, ma non in tutti i paesi. La Francia ha proseguito nel suo massiccio programma nucleare e oggi l'85% della sua energia elettrica prodotta, proviene da centrali atomiche. In più di vent'anni di esercizio in nessuno dei suoi impianti si è verificato un incidente.

Centrale nucleare con reattore autofertilizzante – Nel reattore autofertilizzante un eccesso di elettroni viene catturato da uno schermo di atomi non fissili (uranio 238 e torio 232) che si trasformano in atomi fissili per produrre calore. Il calore viene asportato con sodio liquido che lo cede a una caldaia dove si produce il vapore che aziona la turbina e il generatore di elettricità.

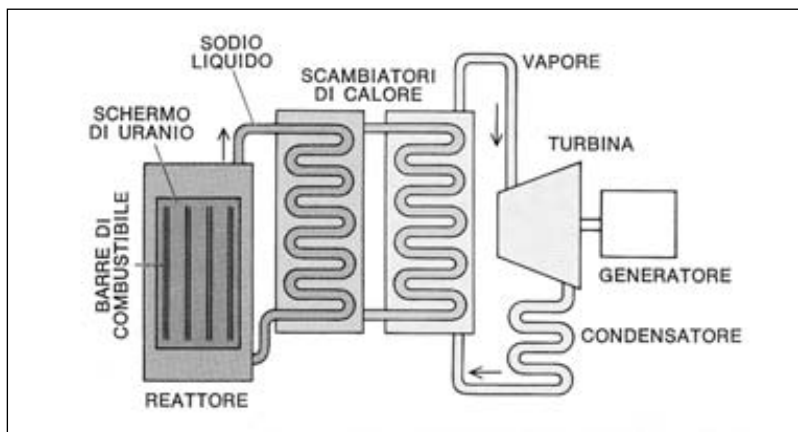


Figura 19 – Centrale nucleare con reattore autofertilizzante.

Infatti la tecnologia dei reattori è pervenuta a un grado tale di perfezione da rendere la produzione di elettricità assolutamente sicura. L'Italia invece che aveva sperato nella messa a punto del processo di fusione, si ritrova a dover importare energia elettrica dalla Francia e dalla Svizzera.

Allo stato attuale delle ricerche, la via della fissione nucleare sembra essere ancora l'unica percorribile. È di poco tempo fa l'annuncio dell'ENEL di essere entrata in compartecipazione con la Slovacchia per la costruzione sul suo territorio di una centrale termonucleare che consentirà all'Italia di importare una parte dell'elettricità colà prodotta. Questa sembra essere l'unica possibilità del nostro paese di rientrare nel nucleare, perché l'opinione pubblica italiana è stata oggetto di un devastante processo di disinformazione e non accetterebbe centrali di quel tipo sul nostro territorio. Ne avemmo un esempio indiretto qualche tempo fa quando un intero paese della Calabria insorse perché era stato individuato un sito da quelle parti per seppellire le scorie radioattive della centrale di Caorso ormai disattivata.

La storia del nucleare in Italia ha tutti gli ingredienti del romanzo di spionaggio.

Essendo praticamente privi di carbone e di petrolio, noi fummo fra i primi a costruire le centrali atomiche, ma dopo l'ultimazione della terza, il prof. Ippolito, presidente del CNEN e artefice del programma nucleare italiano, venne esautorato da un complotto di politici e petrolieri con un processo farsa che lo condannò a 11 anni di carcere. L'atto finale fu un referendum ben orchestrato da certi politici che impose l'arresto della costruzione della mega centrale atomica quasi ultimata di Montalto di Castro e della sua conversione ai combustibili fossili. L'operazione costò al paese una cifra astronomica e l'uscita dell'Italia dal nucleare. Oggi ci ritroviamo a essere dipendenti dall'estero non solo per il petrolio ma anche per una parte del nostro fabbisogno di elettricità.

Purtroppo siamo un disinformato popolo di emotivi. Nel nostro immaginario collettivo pensiamo che un reattore nucleare sia una potenziale bomba atomica pronta a esplodere, mentre in realtà è solo un generatore di calore che funziona con efficienti dispositivi di sicurezza come ogni caldaia.

Vogliamo il benessere ma non accettiamo la vicinanza di dighe o di centrali elettriche. Produciamo rifiuti ma non vogliamo le discariche e gli impianti di smaltimento. Dobbiamo accettare l'idea che i vantaggi

dell'era moderna comportano anche gli oneri. Possiamo pretendere l'applicazione di severe norme di sicurezza, ma non assumere atteggiamenti preconcepi e irrazionali di totale rifiuto. Altrimenti saremo sempre un popolo di subalterni.

L'energia solare

È quella che potenzialmente ha tutti i numeri per poter costituire una valida alternativa ai combustibili fossili. Infatti la quantità totale di energia che arriva giornalmente sulla superficie terrestre è pari a 173.000×10^{12} W, cifra che supera di parecchie lunghezze tutta l'energia mondiale ottenuta in un anno dalla combustione di petrolio, carbone e metano. Di questa il 30% viene riflessa direttamente e dissipata nello spazio, il 47% è assorbito dall'atmosfera, dalla superficie terrestre, dagli oceani e direttamente convertita in calore, un altro 25% è consumato nei processi di evaporazione del ciclo idrologico, una piccola parte sostiene la circolazione oceanica e il moto ondoso, e una parte ancora minore viene catturata dalla clorofilla delle foglie delle piante per il processi fotosintetico del mondo organico.

Purtroppo l'energia solare è una forma di energia diluita su tutta la superficie terrestre. Se la si riferisce al metro quadro essa si riduce a poca cosa: nella migliore delle ipotesi e cioè in una giornata limpida con il sole allo zenit è pari a circa 1 kW. Alle medie latitudini si riduce alla metà. Se poi la riferiamo alle ventiquattro ore e alla media annuale, il valore si riduce a 217 W/m².

La crisi del '73 che ha visto triplicare il prezzo del petrolio dall'oggi al domani ci ha drammaticamente posto di fronte a domande cui occorreva dare una risposta:

In che misura l'energia solare è in grado di contribuire alla copertura della nostra domanda energetica globale?

È l'energia solare economicamente competitiva con le fonti tradizionali?

Furono creati enti come l'ISES (International Solar Energy Society) a cui aderì anche l'Italia e in America l'ERDA (Energy Reserc and Development Administration) allo scopo di individuare tutti quei sistemi capaci di dare una risposta a queste domande.

Oggi alla luce delle esperienze fatte possiamo dire che ci sono due modi per sfruttare l'energia solare. Il primo è quello diretto raccogliendo il calore solare per scaldare l'acqua e per produrre energia elettrica.

Il secondo è quello indiretto sfruttando le cadute d'acqua e i venti, causate le une e gli altri dal riscaldamento del sole di vaste aree della superficie terrestre.

Per quanto riguarda il primo modo, i risultati ottenuti dopo trent'anni di sperimentazioni non sono molto incoraggianti e stanno a dimostrare quanto sia difficile piegare i raggi del sole al nostro volere.

In pratica gli unici risultati veramente concreti sono i pannelli solari per il riscaldamento dell'acqua o dell'aria, e piccoli pannelli fotovoltaici per alimentare apparecchiature elettriche in zone dove sia antieconomico far pervenire l'elettricità via cavo.

L'energia solare è una radiazione elettromagnetica di lunghezza d'onda compresa fra 0,3 e 3 μ . È costituita da una componente visibile pari a circa la metà della radiazione totale e da una componente infrarossa. La difficoltà di convertirla in modo efficiente in qualche forma di energia utilizzabile, è dovuta al basso valore della sua densità di potenza al suolo. Inoltre non è uniforme ma varia con la latitudine, l'altezza sul suolo, la stagione, l'ora del giorno e può mutare rapidamente in seguito alle variazioni delle condizioni meteorologiche.

Per poter impostare razionalmente il progetto di un impianto a energia solare bisogna conoscere l'entità dell'insolazione in quel luogo. L'Istituto di Fisica dell'atmosfera del CNR ha redatto apposite tavole che danno per località campioni comprese fra l'estremo nord e l'estremo sud del paese, i valori giornalieri e i valori mensili massimi e minimi della radiazione globale espressa in calorie per centimetro quadro.

I pannelli solari possono essere senza concentrazione, cioè piani o a concentrazione. Quelli piani sono scatole rettangolari basse di ferro zincato sul cui fondo è posata una piastra nera in cui sono affogati tubi per la circolazione dell'acqua. La piastra al calore del sole si scalda e trasmette il calore all'acqua. Sulla parte inferiore, sotto la piastra c'è uno strato di materiale isolante, lana di vetro o poliuretano espanso per impedire che il calore assorbito dalla piastra si disperda verso il basso, mentre superiormente la scatola è chiusa da una lastra di vetro per impedire la dispersione del calore verso l'alto. Si migliora l'efficienza se fra la piastra e il vetro viene praticato il vuoto.

Concettualmente è una apparecchiatura molto semplice che però ha richiesto studi accurati perché la piastra annerita scaldandosi diventa a sua volta una fonte di calore e tende a disperdere quello che ha assorbito, abbassando notevolmente l'efficienza del pannello. Per evitare che ciò accada occorre trattare la parte annerita della piastra in modo che sia

enfaticamente il suo potere assorbente del calore e minimizzato il suo potere radiante. Sono stati messi a punto dei film selettivi al nero di Nichel o al nero di Cromo che hanno queste due proprietà e che vengono depositati sulla lastra assorbente con metodi di elettrodeposizione.

Anche la lastra di vetro può essere trattata internamente con uno strato selettivo di ossido di stagno che lascia passare le radiazioni solari ma riflette quelle all'infrarosso emesse dalla piastra (Fig. 20).

Per contenere le dimensioni del collettore entro limiti di costo accettabili, la sua efficienza non deve scendere al di sotto del 75%.

Di solito viene montato sul tetto della casa con la superficie rivolta al sud e un'inclinazione che si adatti sia ai raggi inclinati del sole invernale che a quelli estivi quasi verticali.

I modelli in commercio sono dotati di un serbatoio posto dietro la parte alta del collettore e collegati con questo mediante un circuito di tubi che favorisce la circolazione dell'acqua a termosifone. Sono dimensionati per portare l'acqua a una temperatura di 70°.

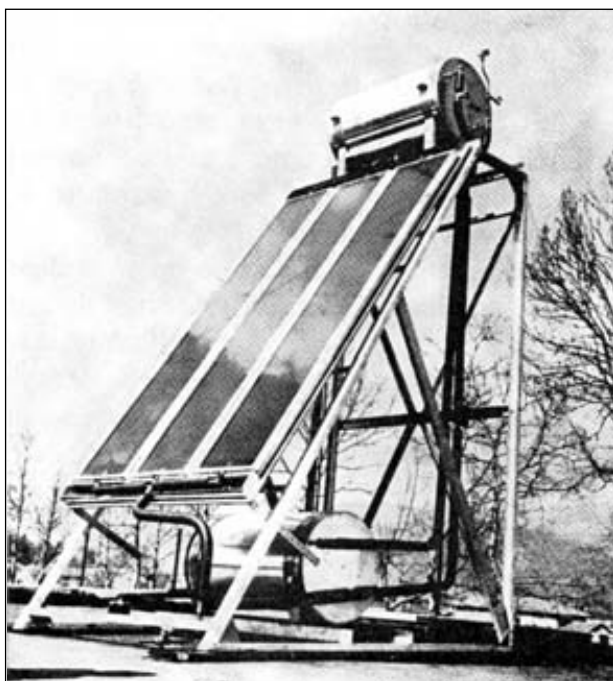


Figura 20 – Primi collettori solari di costruzione italiana (anni Sessanta).

Nelle regioni fredde il liquido della piastra è un antigelo a circuito chiuso che cede il calore all'acqua del serbatoio.

Nei collettori ad aria, l'aria calda viene generalmente impiegata come fluido termovettore in impianti termici per uso domestico. Come quelli ad acqua sono costituiti da una scatola metallica sormontata da una lastra di vetro, contenente una piastra metallica assorbente nera, che può essere ondulata, pieghettata a V o dotata di alette per aumentare la superficie di contatto con l'aria.

Oltre che per uso domestico i collettori ad aria vengono impiegati negli impianti di essiccamento dei prodotti agricoli.

I pannelli piani per scaldare l'acqua, sono diffusissimi in Israele, in Giappone e in Australia. In Italia invece il loro uso è ancora molto limitato forse perché non c'è stata una adeguata incentivazione da parte governativa. Eppure l'incidenza del consumo energetico per scaldare l'acqua di uso domestico in tutta l'Italia, è notevole. È stato calcolato che essa corrisponde alla potenzialità di tre centrali termoelettriche di media potenza. Avrebbero maggior fortuna se l'utente fosse informato del fatto che un buon 30% dell'ammontare della sua bolletta elettrica è dovuta al consumo di elettricità per scaldare l'acqua della lavapanni, della lavastoviglie e del boiler.

Il calore solare si presta anche alla climatizzazione delle case.

Una casa solare è quella che minimizza le perdite di calore attraverso le pareti e le finestre e ottimizza nello stesso tempo l'uso della radiazione solare disponibile.

In Francia nella regione dei Pirenei, è stata costruita una casa solare con un sistema di riscaldamento a circolazione dell'aria che è originale e interessante da un punto di vista economico.

La parete di cemento rivolta a sud è verniciata di un colore scuro in modo da favorire l'assorbimento della radiazione solare, e ricoperta da lastre di vetro che lasciano un'intercapedine di qualche centimetro fra muro e lastra (Fig. 21).

Con l'insolazione si crea un movimento convettivo d'aria che attraverso apposite canalizzazioni, viene fatta affluire dalle parti basse degli ambienti da scaldare, nell'intercapedine dove si scalda e sale rientrando dall'alto negli ambienti abitabili.

I muri sono stati studiati in modo da assorbire calore che mantiene l'ambiente a una temperatura confortevole durante la notte.

In estate l'aria calda viene mandata verso l'esterno mentre aria fresca viene richiamata dalla zona d'ombra dell'edificio (Figg. 22 e 23).

In India è stata proposta una casa il cui tetto piano è ricoperto da uno specchio d'acqua sovrastato da un pannello di materiale isolante scorrevole che può scoperciare o coprire lo strato d'acqua. Il fondo del serbatoio che lo contiene è metallico e annerito.

In inverno durante il giorno il pannello viene rimosso e l'acqua si scalda cedendo calore all'ambiente sottostante. Durante la notte viene posizionato sull'acqua che continua così a cedere calore. In estate di giorno il pannello copre l'acqua, mentre di notte viene rimosso e l'acqua assorbe calore dall'ambiente sottostante che si rinfresca.

Il sistema giudicato molto interessante, è stato imitato costruendo una casa simile a Phoenix in Arizona e un'altra a Paso Robles in California ottenendo in entrambe temperature pressoché costanti sia in estate che in inverno.

Un problema particolare è l'accumulo di calore per i giorni in cui non c'è il sole. Il sistema più semplice è quello di cederlo a un ammasso di pietrisco stivato in uno scantinato coibentato da dove attingerlo con una circolazione d'aria durante la notte o nei giorni piovosi.

Un altro sistema è quello di usare il sale di Glauber che viene immesso in un serbatoio contenente acqua. Questo sale è solfato di sodio decaidrato che ha la proprietà di assorbire calore quando si scioglie nell'acqua e di cederlo quando torna allo stato cristallino. Perciò l'acqua del serbatoio rimane costantemente alla temperatura di 32° sia

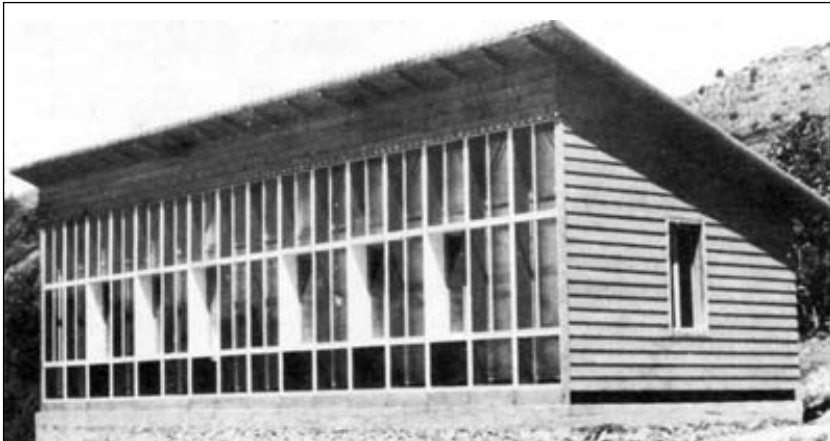


Figura 21 – Casa sperimentale a Odiello Font Romeu nei Pirenei, del 1956. Le pareti di accumulazione termica rivestite di vetro sono costruite in calcestruzzo.

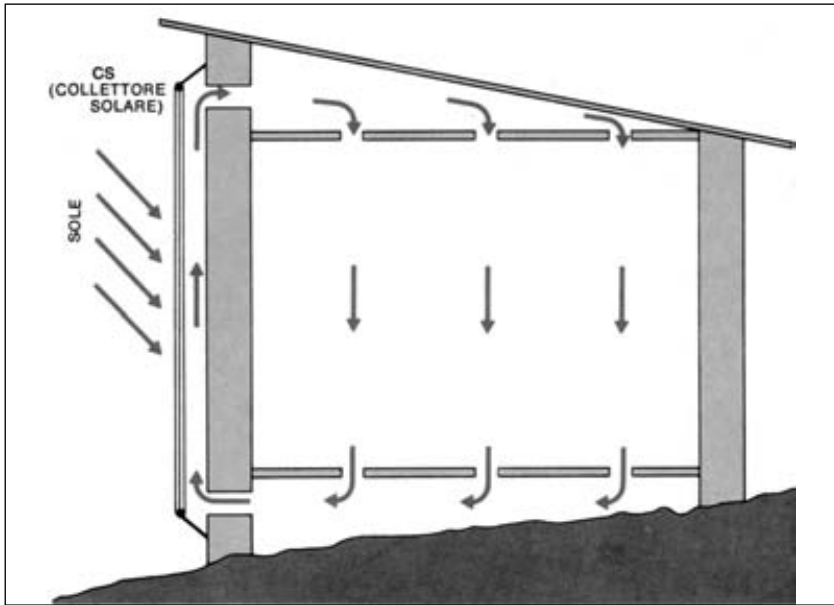


Figura 22 – Ciclo dell'aria in inverno.

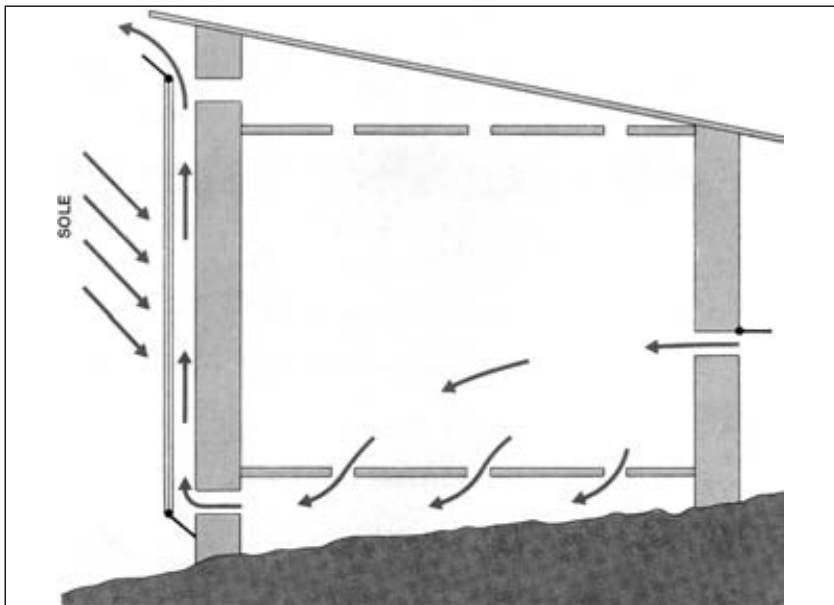


Figura 23 – Ciclo dell'aria in estate.

quando gli si cede calore che quando il calore viene asportato. Il serbatoio diventa un accumulatore di calore.

Per le unità abitative unifamiliari, l'energia solare può sostituire l'energia termica della combustione per il riscaldamento e la produzione di acqua calda in misura che può essere del 75%. Perciò la casa deve essere provvista di un sistema di accumulo o di un impianto integrativo tradizionale.

Sono state costruite in tutto il mondo circa duecento prototipi di case solari, con sistemi di assorbimento del calore solare dislocato sul tetto o sulle pareti verticali. Tutte hanno in comune due caratteristiche: sono state costruite con appositi criteri di isolamento e sono orientate per offrire la massima esposizione al sole. I palazzi di città dove vive oggi la maggior parte della popolazione, non si prestano alla trasformazione in case solari.

Ci sono poi pannelli a concentrazione che convogliano la luce solare in un unico punto o in un'unica linea e specchi multipli che producono lo stesso effetto quando sono orientati in modo che tutti fanno convergere la luce che riflettono nello stesso punto (Fig. 24).

I pannelli solari a concentrazione possono essere dei semicilindri a sezione parabolica (A) o degli specchi parabolici circolari (B). Gli uni e gli altri devono essere costantemente orientati verso il sole in funzione dello spostamento della Terra in modo che i raggi rimangano sempre indirizzati verso il fuoco o la linea focale dello specchio.

Per questo sono dotati di un dispositivo di regolazione che può essere a orologeria o comandato direttamente dal sole).

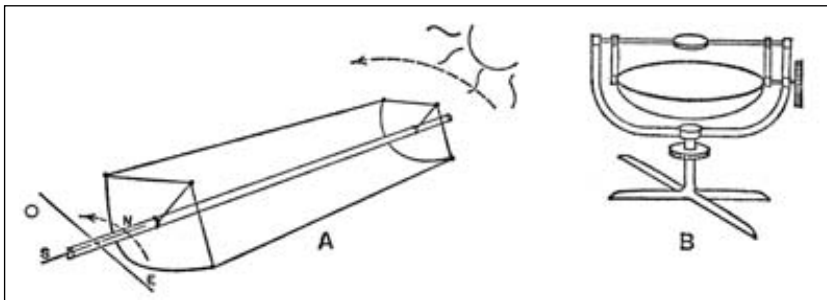


Figura 24 – Specchi a concentrazione.

Con la concentrazione lungo una linea si possono ottenere temperature fino a 540° , mentre con le concentrazioni in un punto si possono superare anche i 3.000° .

Il potere riflettente degli specchi varia dal 72 al 96 per cento in funzione del trattamento che è stato dato alla superficie riflettente.

I collettori a concentrazione servono ad alimentare piccoli forni solari dove vengono manufatti prodotti di elevata purezza, o caldaie solari per produrre vapore e generare elettricità. In quest'ultimo caso parliamo di centrali elettriche solari (Fig. 25).

Alcune di queste centrali sono state costruite in zone desertiche a scopo sperimentale e una anche in Sicilia. Sono costituite da una prateria di specchi tutti orientati e orientabili verso un caldaia posta alla sommità di una torre. Il vapore che in essa si produce aziona una turbina collegata con un alternatore e produce elettricità.

Particolari accorgimenti devono essere adottati affinché la caldaia assorba i raggi concentrati del sole e non restituisca una parte del calore per irraggiamento.

Calcolando il rendimento degli specchi, quello della caldaia e quello della conversione del vapore in elettricità, il rendimento complessivo dell'impianto è del 15%. Oltre al costo molto elevato dell'impianto e alla modestia della potenza che si ottiene (1.000–5.000 kW), c'è anche l'onere della manutenzione degli specchi che devono essere

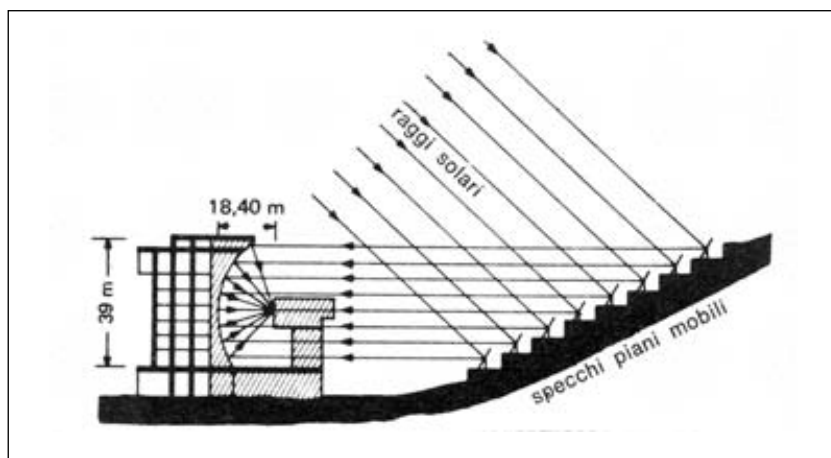


Figura 25 – Forno solare.

costantemente lustrati per evitare che il loro potere riflettente si riduca, e il problema degli shock termici che si generano quando una nuvola oscura il sole (Fig. 26).

Con specchi cilindrico parabolici sono state sperimentate fattorie solari costituite da batterie di specchi affiancati percorsi da tubi a doppia parete dove circolano miscele di sodio e potassio liquefatte che raggiungono temperature superiori ai 500° . Queste vengono convogliate in uno scambiatore di calore dove fanno vaporizzare acqua da convertire in elettricità (Fig. 27).

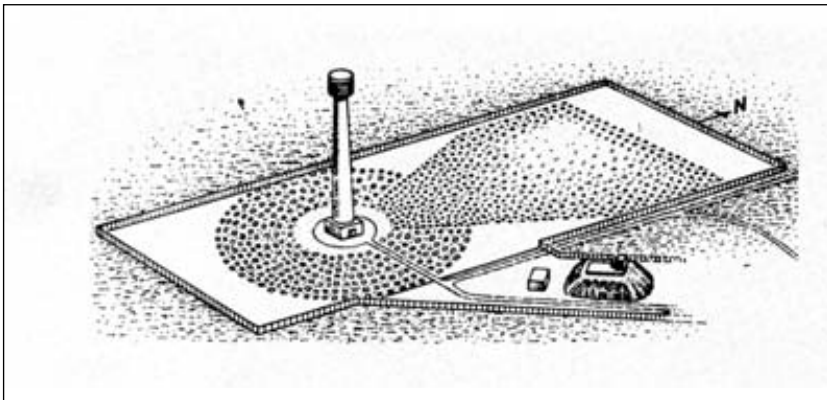


Figura 26 – Centrale solare a specchi rivolti verso la torre.

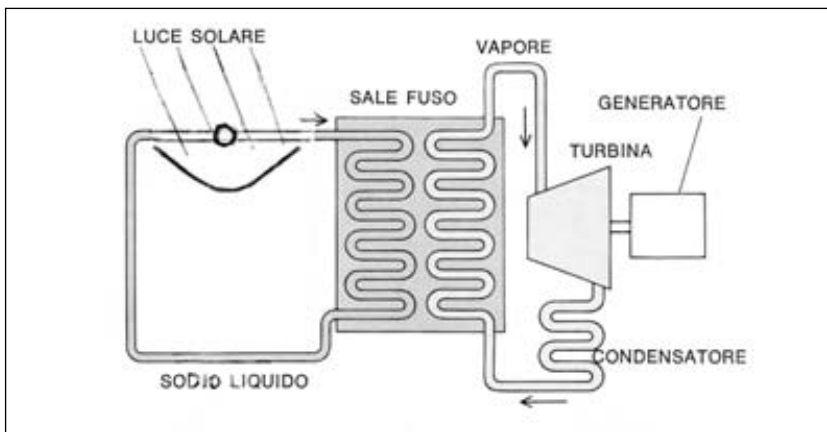


Figura 27 – Centrale solare a specchi parabolici che concentrano i raggi solari lungo una linea.

Benché il sole sia gratuito, questi esperimenti hanno dimostrato che le centrali solari a vapore per produrre energia elettrica, non sono competitive ne con le centrali tradizionali ne con quelle nucleari perché la quantità di energia che si ricava è troppo modesta in rapporto all'investimento dell'impianto.

Più promettenti sono le celle fotovoltaiche perché convertono direttamente la radiazione solare in energia elettrica. Perciò è in questa direzione che si sono maggiormente indirizzate le ricerche.

Le celle solari più comunemente usate sono quelle al silicio che vengono ottenute affettando cristalli cilindrici ottenuti da un bagno fuso di silicio che viene drogato con particelle di boro o di fosforo. La cella è ottenuta sovrapponendo una sottilissima fettina di silicio al boro a una contaminata con fosforo. Colpita dalla luce solare da una corrente con una tensione di 0,4 volt. Più celle affiancate costituiscono pannelli che danno un elevatissimo affidamento perché possono funzionare ininterrottamente anche per un periodo di 20 anni. Il loro rendimento varia da 6 a 12 per cento.

Il loro costo molto elevato ne ha limitato l'impiego ai pannelli che forniscono energia elettrica ai satelliti artificiali e a settori specifici come segnalatori ferroviari, servizi telegrafici e telefonici, allarmi anti-furto, dove la limitata dimensione dei pannelli richiesti consente di contenere il costo.

Altri materiali sperimentati sono l'arseniuro di gallio che ha dato risultati interessanti anche se la scarsa disponibilità di questo elemento rende proibitivo il costo della cella, e l'elettrogiunzione solfuro di cadmio, solfuro di rame che sembrano più accessibili.

I pannelli fotovoltaici potrebbero essere assemblati in strutture meno impegnative di quelle delle centrali a vapore ma dovrebbero coprire estensioni enormi misurabili in chilometri quadrati per dare potenze comparabili a quelle delle centrali convenzionali o nucleari. I costi però sarebbero molto elevati. Siamo ancora lontani da una situazione in cui sia lecito sperare di abatterli con produzioni di massa.

Il vertiginoso aumento del prezzo del petrolio ha ridotto di molto il divario fra il costo del chilowattora di origine termica e quello di origine solare, ma il rapporto è ancora di uno a quattro.

Per la produzione di energia elettrica dal calore solare, quello che non è conveniente su base collettiva, lo è invece su base individuale.

È stata sperimentata una casa solare, costruita per dimostrare la completa autosufficienza di chi vi abita che oltre a essere dotata di riscalda-

mento, di acqua calda e di elettricità aveva anche uno specchio parabolico di 2 m di diametro da cui traeva l'energia termica un piccolo motore ad aria calda della potenza di mezzo cavallo con cui veniva generata corrente per caricare le batterie di un'auto elettrica (Fig. 28).

Tutto ciò suggerisce una riflessione. La società in cui viviamo è di tipo concentrato, nata cioè dallo sfruttamento di energie che la natura ha accumulato in milioni di anni e che noi stiamo consumando nell'arco di due secoli. Essa ha portato allo spopolamento delle campagne e all'inurbamento, alla costruzione di centrali dove in poco spazio si producono grandi quantità di energia distribuibili a centinaia di migliaia di utenti. Ogni tentativo di piegare l'energia solare alla logica dei combustibili fossili si è rivelata fallimentare perché essa a differenza dei primi, è un'energia diluita su grandi spazi. È ad essi che bisogna ritornare con un processo inverso a quello generato dai primi se si vuole creare una società solare. Essa presuppone una nuova urbanistica e un nuovo rapporto con l'energia, dove ogni utente sarà il produttore del proprio fabbisogno energetico. Sarà una trasformazione di tipo epocale a cui si dovrà necessariamente ricorrere a meno che l'uomo non riesca a strappare al sole il segreto del suo processo.

Comunque sarebbe già un bel successo se coloro che hanno la fortuna di vivere in campagna scoprissero che il sole offre loro alternative da non sottovalutare. Potrebbero essere gli antesignani della civiltà di domani.

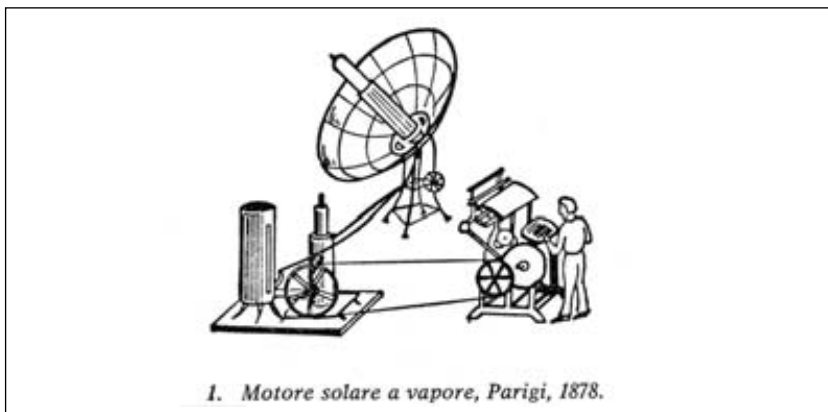


Figura 28 – Stampatrice funzionante col vapore generato dal calore solare.

L'energia idraulica

Molto più consistente è il contributo energetico che si può ottenere dal sole con un suo sfruttamento indiretto e cioè volgendo a nostro favore gli effetti che esso produce con il suo calore sull'acqua del mare e sulla temperatura dell'aria. Entrambi si esplicano su superfici vastissime della Terra e coinvolgono quelle migliaia di chilometri quadrati per noi impossibili da ricoprire coi nostri pannelli, che sono necessarie affinché un'energia diluita come quella solare possa trasformarsi e acquisire una consistenza tale da risultare utile per le nostre esigenze.

L'evaporazione dell'acqua del mare produce nuvole e pioggia. Questa ricadendo sui rilievi montuosi alimenta torrenti e fiumi che sono miniere di energia cinetica. Basti pensare ai milioni di metri cubi di acqua che precipitano dalle cascate del Niagara o dalle cascate Vittoria in Africa per rendersi conto di quale gigantesca potenza sia in grado di generare l'energia solare quando essa venga ripartita sui milioni di chilometri quadrati che costituiscono la superficie dei mari.

Lo stesso dicasi della formazione di aree di alta e bassa pressione che creano flussi d'aria capaci di muovere navi pesanti migliaia di tonnellate.

Lo sfruttamento dell'energia idraulica vanta nel nostro paese, ricco di montagne, una tradizione consolidata.

Le prime ruote ad acqua comparvero nel XII secolo nelle valli che solcano le nostre Alpi per far funzionare i mulini. Le prime filande delle valli bergamasche traevano l'energia dalle ruote ad acqua. Lo sfruttamento su scala industriale dell'energia idraulica si ebbe con la scoperta dell'elettricità perché il mezzo più economico per produrla era quello di far girare i generatori di corrente con turbine ad acqua.

I corsi d'acqua vennero sbarrati con dighe che crearono bacini artificiali a grandi altitudini da dove mediante condotte l'acqua veniva convogliata nelle centrali idroelettriche.

L'Italia, grazie alla sua particolare situazione orografica, fu ai primi posti nella costruzione di dighe per la produzione di energia elettrica.

Oggi anche i fiumi vengono sbarrati perché la potenza di una cen-

trale è data dal prodotto della quantità d'acqua (portata) per l'altezza da cui cade (pressione). Dunque si può ottenere la stessa potenza sia con una modesta quantità d'acqua che cade da una grande altezza, sia con una grande quantità d'acqua che cade da un salto modesto. A questo proposito si distinguono gli impianti ad acqua fluente e quelli a serbatoio. I primi sono quelli costruiti con uno sbarramento sul corso del fiume. Sono detti ad acqua fluente, perché l'acqua non può essere fermata, altrimenti tracimerebbe a monte della diga (Fig. 29).

I secondi invece accumulano l'acqua in un bacino artificiale delimitato da una diga e vengono utilizzati solo nei momenti di picco.

Una centrale idroelettrica comprende le opere di presa, la condotta forzata attraverso la quale avviene la caduta d'acqua, un pozzo piezometrico per quelle con grandi salti che andrebbero soggette al colpo d'ariete quando la condotta viene chiusa, la sala macchina con le turbine e gli alternatori, il canale di scarico e la cabina di comando (Fig. 30).

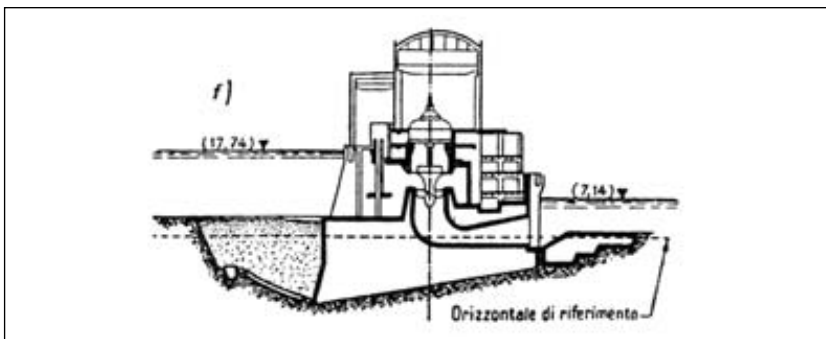


Figura 29 – Impianto ad acqua fluente.

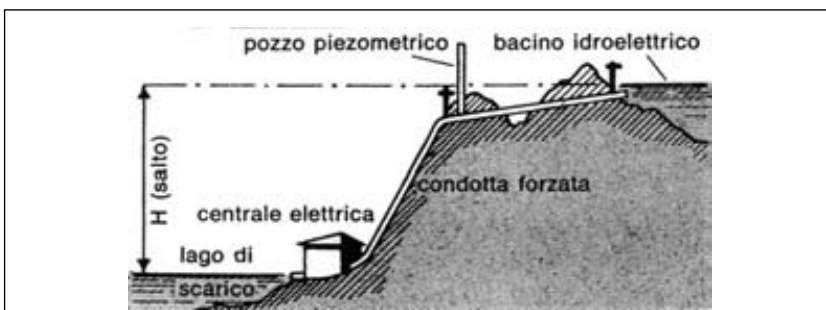


Figura 30 – Schema di una centrale idroelettrica.

Le turbine sono state studiate per dare la massima resa in funzione della pressione e della portata. Le centrali con salto superiore ai 200 m sono dotate di turbine Pelton, quelle con salto dai 200 ai 10 metri con turbine Francis, e quelle al di sotto dei 10 m con turbine Kaplan (Figg. 31–33).

In alcune valli sono state costruite più dighe in modo da sfruttare l'acqua in caduta con più salti.

I vantaggi di questi impianti idraulici sono dati dalla loro lunga durata e dai bassi costi di esercizio. Inoltre possono essere utilizzati come mezzi di accumulo dell'energia ripommando l'acqua ai livelli superiori con l'energia in esubero delle centrali termiche, quando la richiesta è ai minimi.

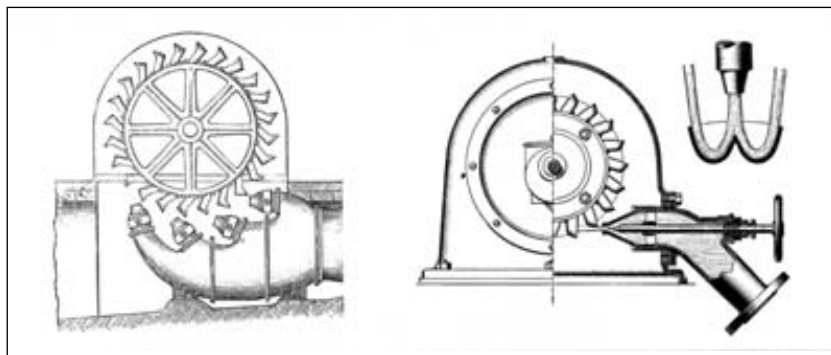


Figura 31 – Turbina idraulica Pelton ad asse orizzontale.

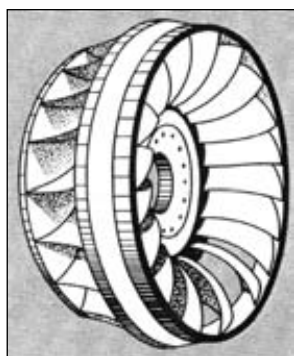


Figura 32 – Girante di turbina idraulica Francis.

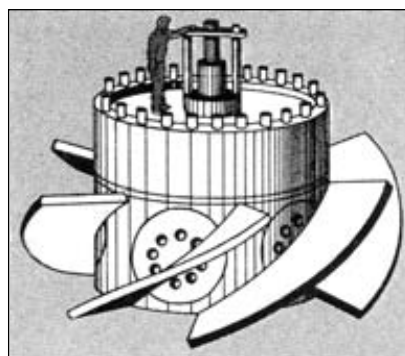


Figura 33 – Girante di turbina idraulica Kaplan.

In Italia fino al 1950 l'energia elettrica per via idraulica copriva l'85% del fabbisogno nazionale. Poi con il boom economico e il vertiginoso aumento dei consumi, la produzione di energia elettrica è stata indirizzata verso le centrali termiche, più economiche perché il petrolio costava tre dollari a barile. Nella decisione di quelle scelte concorsero non soltanto considerazioni di natura economica, ma anche un fatto drammatico avvenuto nel 1963, che sconvolse l'opinione pubblica: la tragedia dei Vajont. Mezza montagna franò nel bacino appena riempito a monte della più alta diga d'Europa, vanto dell'ingegneria italiana, e creò un'onda gigantesca. Questa trascinò oltre il bordo della diga e precipitò a valle distruggendo l'intero paese di Longarone. I morti furono più di duemila.

Non fu un errore dei progettisti della diga perché lo sbarramento è tuttora là nella sua integrità. Fu un errore dei geologi che non seppero individuare uno strato argilloso nella stratigrafia della montagna. Questo imbevuto dall'acqua dell'invaso, fece da lubrificante agli strati sovrastanti e creò la gigantesca frana.

La tragedia dei Vajont decretò la fine delle dighe in Italia, delle cui costruzioni eravamo i primi nel mondo.

Si disse che non c'erano più siti utili per la costruzione di altri impianti idraulici in Italia e si mise una pietra tombale sul sistema più pratico e conveniente per generare energia pulita dal sole.

Oggi le centrali termiche sono sotto accusa per i guasti che apportano all'ambiente. I conti dovranno essere rifatti introducendo nel computo oltre alle attuali quotazioni del petrolio che saranno sempre più alte, anche il costo dell'inquinamento chimico e termico. Si scoprirà sicuramente che ci sono ancora siti con un potenziale interessante per portare nuova luce nelle case degli italiani.

Inoltre i torrenti di molte valli giudicati non sfruttabili per i grandi produttori di elettricità, potrebbero esserlo per un consorzio di piccoli imprenditori che hanno le loro imprese in quelle valli.

Anche l'energia eolica di cui il sole è la fonte generatrice, vanta un glorioso passato. Al vento dobbiamo la scoperta dell'America da parte di Cristoforo Colombo e quella delle isole Hawaii raggiunte dal capitano Cook. Al vento dobbiamo la prima circumnavigazione del globo da parte di Magellano e i viaggi dei favolosi clipper della seconda metà dell'ottocento che grazie alla loro velatura, solcavano gli oceani in ogni parte del mondo a considerevole velocità. In tempi recenti è

tornato in auge nella navigazione con le regate veliche internazionali che hanno sollevato nuovo interesse per la vela e promosso studi sull'aerodinamicità del loro funzionamento e sui materiali che le costituiscono, fino a realizzare catamarani che possono varcare gli oceani a tempo di record.

Non meno interessanti sono i mulini sulla terra ferma. Primi furono i mulini cretesi costituiti da una grande ruota di legno fra i cui raggi venivano stese delle vele triangolari di tela. Montate alla sommità di una torre cilindrica in pietra con un asse orizzontale volto nella direzione del vento dominante, azionavano una macina all'interno della torre.

Gli stessi mulini furono costruiti nella Spagna dei tempi di Don Chisciotte e in Sicilia adibiti al travaso dell'acqua nelle saline da un bacino all'altro.

L'apice di queste macchine eoliche si ebbe nel XVIII secolo coi mulini olandesi che montavano alla sommità di una torre una girante a quattro pale, costituite da un traliccio di legno sul quale venivano stesi dei teli. Quelle più evolute erano ricoperte da una serie di alette che con vento troppo forte si piegavano lasciando fluire l'aria attraverso la pala.

La torre era girevole per adattarsi ai cambi di direzione del vento. Alla rotazione provvedeva una seconda elica più piccola, disposta a 90° rispetto a quella principale che, quando investita dal vento, entrava in funzione, provvedeva a riportare l'asse della grande girante nella direzione del vento.

All'interno una serie di ingranaggi di legno trasmettevano il movimento alle macchine per macinare il grano o segare il legname.

Una diretta derivazione di queste macchine eoliche era il rotore multipala costituito da una ruota metallica la cui superficie era ricoperta da una serie di pale metalliche leggermente concave, disposte radialmente e inclinate in modo che la spinta del vento su di esse si traducesse in una spinta in senso tangenziale che metteva in movimento la ruota. Il suo asse orizzontale era montato alla sommità di un traliccio metallico ed era provvisto di un timone che lo faceva ruotare in modo che fosse sempre orientato parallelamente alla direzione del vento.

Il meccanismo per portare il suo movimento alla base del traliccio poteva essere una coppia di ingranaggi troncoconici oppure un collo d'oca per far salire e scendere un albero verticale collegato con una pompa aspirante.

Il rotore multipala ebbe una vastissima diffusione in tutto il mondo, tra la seconda metà dell'ottocento e la prima metà del novecento, per

aspirare acqua dai pozzi destinata all'irrigazione, perché funzionavano anche con venti non molto forti.

Molti di questi impianti sono ancora visibili nelle nostre campagne, ma sono più che altro cimeli storici perché l'elettricità che ha raggiunto anche i casolari di campagna, ha consentito la loro sostituzione con elettropompe che, non soggette ai capricci del vento, sono più affidabili.

L'energia eolica cadde nel dimenticatoio per circa un ventennio, durante il quale il mondo si cullò nella beata illusione dei benefici senza fine apportati dal petrolio. Nel 1973 ci fu il brusco risveglio: il petrolio era diventato caro e poteva anche finire.

Fu allora che si presero in considerazione anche altre alternative e si scoprì che il vento aveva tutte le carte in regola per presentarsi come uno dei protagonisti delle fonti energetiche di domani. Infatti è gratuito, si rinnova e dà energia pulita. Si cominciò a studiarlo sistematicamente e a monitorare i siti dove più utilmente poteva essere sfruttato. Oggi possiamo dire di conoscerlo bene.

Il vento è energia cinetica di masse d'aria che si spostano sulla superficie terrestre per effetto di gradienti termici e della rotazione terrestre. Da un punto di vista fisico la sua energia è uguale alla metà del valore della massa per il quadrato della sua velocità. Per quanto invece attiene alla sua potenza la legge del cubo ci dice che essa, per una densità media di 1 kg/m^3 , è pari alla metà della superficie esposta moltiplicata per il cubo della velocità.

Alcuni venti sono permanenti come gli alisei, i controalisei, i monsoni e le brezze. Altri sono intermittenti.

Sono stati classificati in base alla loro intensità con una scala proposta nel 1806 dall'ammiraglio Beaufort e tuttora usata come metro di riferimento.

Da essa leggiamo che i venti con movimento di $1,8\text{--}3,3 \text{ m/s}$ sono classificati brezza leggera, quelli con movimento di $7,5\text{--}9,8 \text{ m/s}$ sono venti tesi e quelli con movimento di $12,5\text{--}15,2 \text{ m/s}$ sono venti forti.

In funzione della sua velocità è stata misurata la potenza riferita a un metro quadro di superficie esposta. A un vento di velocità pari a 12 m/s corrisponde una potenza di $0,8 \text{ kW}$. Essa è dunque pari all'incirca all'energia termica del sole su una superficie uguale, ma c'è una differenza sostanziale fra i due tipi di energia. La prima è energia calorica e per essere trasformata in energia cinetica deve passare sotto le forche caudine del secondo principio della termodinamica che limita la nostra capacità di conversione a non più del 45%. La seconda invece è diret-

tamente utilizzabile e la sua trasformazione in lavoro dipende unicamente dal rendimento meccanico dei dispositivi che abbiamo inventato.

Per sfruttarla convenientemente dobbiamo tener conto che essa è energia fluente. O la si utilizza quando passa o la si perde. Purtroppo è anche aleatoria. Può variare di direzione e di intensità. Oggi però per ogni località disponiamo di parametri validi per la sua utilizzazione, per stabilire la convenienza economica di installare un motore eolico e per calcolare la sua potenza, le ore di utilizzo annuali e i periodi giornalieri e stagionali di funzionamento.

Per quanto riguarda l'Italia si può dire che le zone più convenienti per l'utilizzo del vento sono tutta la dorsale appenninica dall'Emilia alla Puglia, la costa calabra e le isole.

L'Enel che è il nostro produttore nazionale, considera conveniente un sito se ha un regime medio annuale di 2.000 ore di vento utile con una velocità non inferiore ai 10 m/s. A questi valori i suoi aerogeneratori si collocano nella fascia della convenienza economica.

Il generatore eolico più efficiente è l'elica, che può essere a due o tre pale. Con venti molto tesi può raggiungere un rendimento del 90%. È del tipo ad asse orizzontale e deve essere orientato mediante un timone in modo che l'asse risulti sempre parallelo alla direzione del vento. Solitamente viene montato alla sommità di un pilone metallico provvisto di tiranti che ne assicurano la stabilità.

Il generatore di corrente può essere calettato direttamente sull'asse di rotazione oppure dislocato alla base del pilone con un asse di rotazione verticale che lo collega a quello orizzontale dell'elica mediante una coppia di ingranaggi troncoconici.

I tipi più grandi finora sperimentati hanno eliche con un diametro di 50 m che possono dare potenze dell'ordine di 500 kW, ma ne sono previsti anche di più grandi (Fig. 34).

Questo tipo di aeromotore ha solo due limiti. Il primo è che funziona bene solo con venti non inferiori ai 10 m/s. Per valori più bassi la sua resa decade a valori modesti.

Il secondo limite è che aumentando il diametro dell'elica, aumenta anche la velocità periferica in ragione del quadrato del raggio, vale a dire che raddoppiando il raggio la velocità periferica quadruplica. Perciò con eliche molto grandi si raggiunge facilmente la velocità del suono, in corrispondenza della quale esiste il muro del suono. Quando l'estremità della pala urta contro di esso, l'elica si spezza. Oggi vengo-

no costruite eliche a passo variabile, che raggiunta la velocità di regime, si stabilizzano a quella velocità e non la superano.

Un altro dispositivo molto interessante che è stato messo a punto con gli studi sistematici sul vento, è la turbina di Darrieux, chiamata familiarmente frullino perché la sua forma richiama il frullino da cucina per montare la panna.

Ha un asse di rotazione verticale al quale sono ancorati due o tre nastri di ferro disposti ad arco e distanziati fra loro di 180° o di 120° . Come l'elica funziona con venti molto tesi e non ha bisogno di orientamento.

Il suo rendimento è leggermente inferiore a quello dell'elica, ma è di una semplicità estrema e non ha limiti dimensionali. Il suo unico neo è che necessita di un avviamento per poter entrare in funzione. Perciò lo si deve abbinare a un dispositivo ausiliario che può essere un piccolo rotore a pale concave montato sullo stesso asse della turbina (Fig. 35).

Questi motori eolici sono gli unici presi in considerazione dai produttori di energia elettrica i quali guardano allo sfruttamento dell'energia eolica con l'ottica di chi produce in una centrale e distribuisce agli

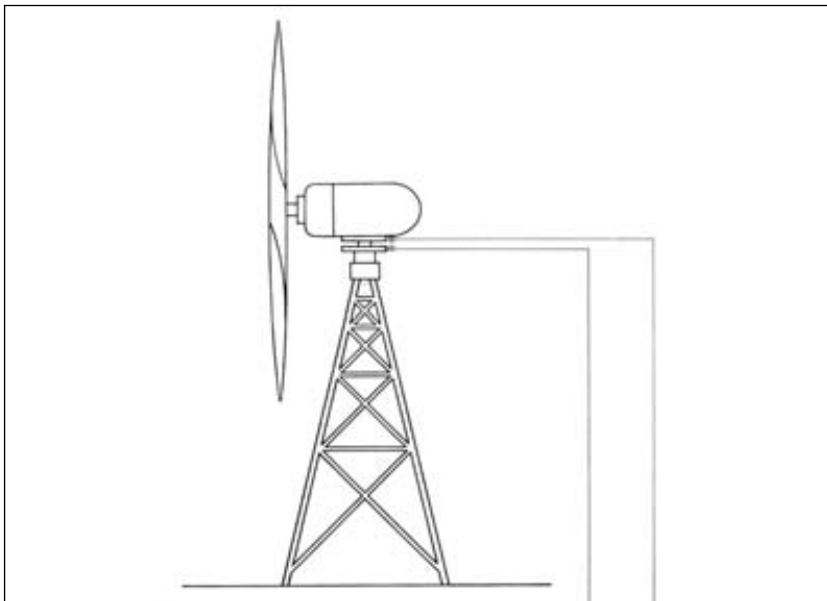


Figura 34 – *Generatore eolico.*

utenti. Perciò i loro impianti devono essere molto grandi e di rendimento adeguato. Ciò limita le loro installazioni a pochi siti caratterizzati da venti forti e costanti. Esiste però un campo di applicazione molto più vasto che non interessa il produttore di energia elettrica, ma può interessare moltissimo il singolo il quale può avvalersi di un dispositivo di dimensione e di costo molto più contenuti e calcolare l'economicità dell'installazione, e della produzione di energia elettrica con parametri più elastici.

Lungo tutte le coste ci sono venti costanti chiamati brezze, generati dalla diversa velocità con cui la terra e l'acqua si riscaldano al sole e si raffreddano di notte. Si crea perciò un gradiente di pressione tra l'aria sulla terra e quella sul mare che genera flussi d'aria dalla terra verso il mare di notte e dal mare verso la terra di giorno. Sono venti ben conosciuti dai pescatori che si recano al largo con le loro barche a vela per gettare le loro reti. Questi sono i venti che venivano sfruttati dai mulini multipala.

Praticamente tutte le coste italiane sono soggette alle brezze.

Oggi si possono costruire giranti ad asse verticale con pale orientabili che i cinesi avevano già inventato molti secoli fa, e che sono adat-

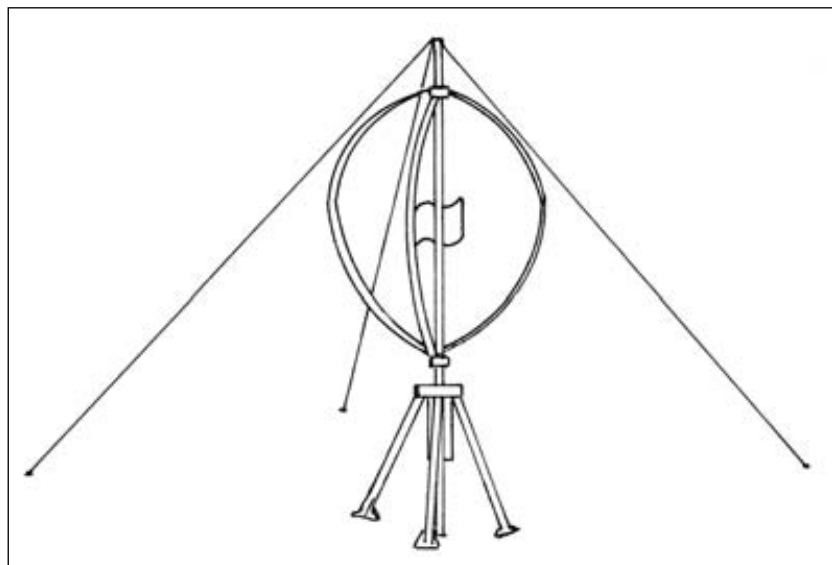


Figura 35 – *Generatore eolico di Darrieux.*

tissime alle necessità dei singoli. Non necessitano di orientamento e possono essere montate sui tetti delle case delle città rivierasche. Hanno un rendimento inferiore a quello dell'elica ma il vantaggio di poter funzionare bene con venti modesti e di esprimere potenze di 1 o 2 kW che, insignificanti per un produttore di elettricità, sono invece più che sufficienti per i consumi unitari. Qui possiamo riallacciarsi a un discorso già fatto per l'energia solare. Anche il vento si presta molto più alle esigenze del singolo che non a quelle dei produttori. La scomparsa dei combustibili fossili potrebbe portare a un tipo di società in cui ciascun utente che abita in prossimità del mare può diventare il produttore dei propri fabbisogni.

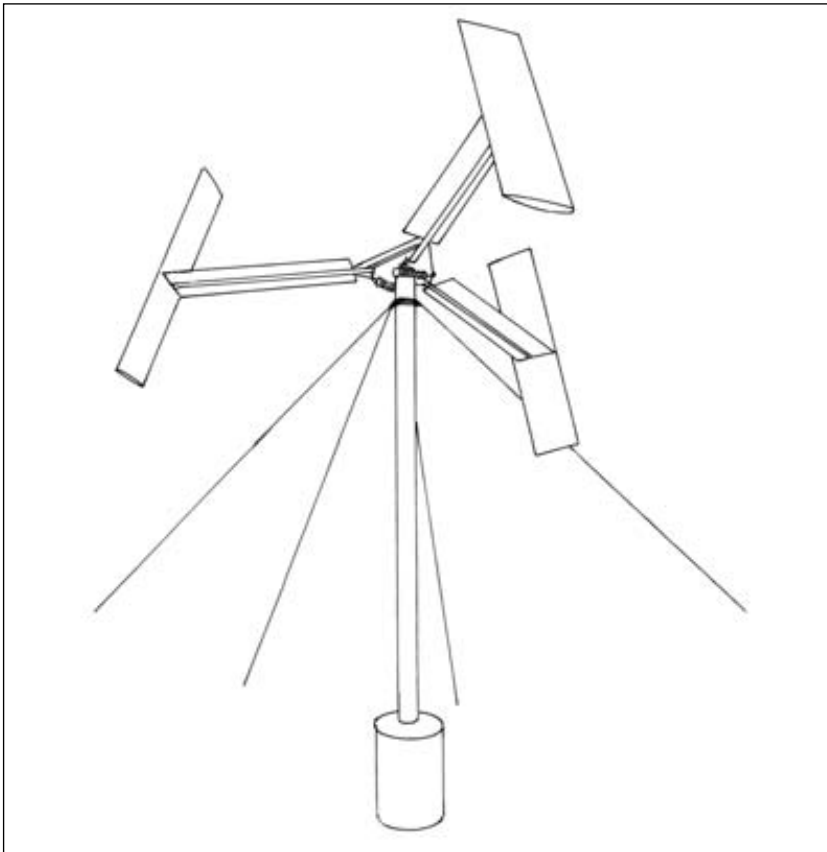


Figura 36 – Turbina a geometria variabile.

L'energia eolica è oggi competitiva e paesi come la Danimarca e la Germania la sfruttano intensamente. In Italia l'ENEL ha iniziato a installare i suoi aeromotori in Sardegna, in Toscana e in Puglia ma sta incontrando una tenace e inspiegabile opposizione da parte degli ambientalisti.

Eppure la mappa dei venti lascia capire che in questo settore l'Italia ha una notevole potenzialità (Fig. 37).

Anche per le navi si è ipotizzato un ritorno al vento che vanta grandi benemeritenze nel campo della navigazione. L'idea è scaturita dalla constatazione che il combustibile dei motori navali incide per il 35% sul costo totale del trasporto via mare. Un ritorno alla vela comporterebbe un risparmio non indifferente se il ricorso ai motori termici fosse limitato solo alle manovre in porto e al superamento delle zone di bonaccia.



Figura 37 –

L'utilizzo delle vele prevede manovre completamente automatizzate in modo da evitare un aumento degli uomini di equipaggio che vanificherebbe il risparmio di combustibile.

I giapponesi hanno realizzato un prototipo di petroliera con due alberi sui quali sono applicate due vele metalliche regolate da un computer.

Sono stati elaborati anche progetti che prevedono l'utilizzo di grandi vele o di aeromotori ad asse verticale, che funzionano con qualsiasi direzione del vento. Questi verrebbero collegati a generatori di corrente che alimentano un motore elettrico collegato con l'elica (Figg. 38 e 39).

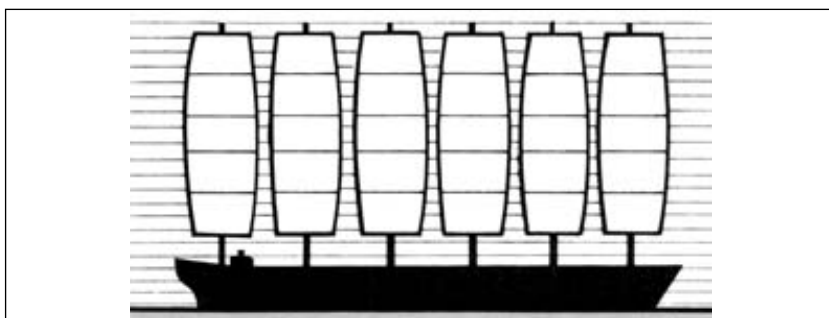


Figura 38 – Nel progetto della Dynaship di Wilhelm Prolss, sei alberi a tripode sostengono grandi vele quadre che possono essere spiegate e serrate su comando di un computer in grado anche di definire la rotta grazie al collegamento con satelliti meteorologici.



Figura 39 – Un principio diverso ha ispirato i progettisti che pensano di attrezzare le future navi con mulini a vento, ad asse verticale. Con questi dispositivi l'energia del vento è sfruttabile in tutte le direzioni perché non produce direttamente il moto di avanzamento, ma alimenta un generatore elettrico da cui proviene l'energia per i motori della nave.

Sono progetti molto realistici e se oggi non sono in grado di garantire la stessa velocità e gli stessi tempi di navigazione dei motori termici, indicano chiaramente che le navi non si fermeranno con l'esaurimento dei combustibili fossili.

Le navi con girante ad asse verticale suggeriscono anche un'altra prospettiva, quella di pontoni ancorati a qualche miglio dalla costa per la produzione di energia elettrica.

A completamento dei modi indiretti di usare l'energia solare, si possono citare altre due possibilità: la produzione di biogas e quella di oli vegetali da impiegare come combustibili dei motori Diesel.

La quantità di rifiuti urbani prodotti dalla civiltà industriale, è semplicemente gigantesca e costituisce un problema gravissimo per le amministrazioni comunali chiamate a risolverlo.

Una parte consistente di questi è costituita da prodotti biologici vegetali, animali o umani, che finiscono nelle fogne e nelle discariche. Questi rifiuti sono una miniera di energia perché contengono mediamente 2.500 kcal/kg.

Raccolti e immessi in un digestore chiuso, a pressione ordinaria e alla temperatura di 37°, fermentano per l'azione di batteri anaerobici e danno un gas costituito da una miscela di metano, idrogeno e anidride carbonica, che ha un potere calorico di 5.400 kcal/m³.

I residui disseccati della fermentazione sono un ottimo fertilizzante del tutto inodore.

Il calore necessario alla fermentazione può essere fornito dall'acqua riscaldata con una batteria di pannelli solari piani. Il circuito del riscaldamento deve prevedere anche un accumulo del calore per la notte e per i giorni piovosi. In mancanza di riscaldamento il processo si rallenta, ma non si arresta.

L'impianto per la produzione di biogas non richiede né l'uso di tecnologie avanzate né l'impiego di grandi capitali.

Paesi come la Svezia meno fortunati come insolazione, ma più previdenti, già sfruttano questo sistema in larga misura.

Forse un giorno anche noi scopriremo che di una parte del metano importato per riscaldare le nostre case, se ne poteva fare a meno.

Anche la fotosintesi clorofilliana attivata dalla luce solare può dare un contributo al problema energetico con la produzione di oli combustibili vegetali. Questi infatti sono ottimi come propellenti dei motori

Diesel. Senza voler sottrarre all'arte culinaria quelli pregiati che si ottengono dalla spremitura delle olive, dalla soia e dai semi di girasole, ce ne sono di meno pregiati ricavati dalle bacche di arbusti selvatici, che sono altrettanto ottimi da impiegare come combustibili dei motori.

Il terreno agricolo è un immenso pannello solare fornitoci gratuitamente dalla natura che opportunamente coltivato può trasformare l'energia del sole in cibi e in combustibili più adatti ai moderni motori di quanto non lo sia la legna.

La resa del terreno è bassissima perché nella maggior parte delle culture, non raggiunge l'1%. Ma la terra coltivata può avere un'estensione di gran lunga superiore rispetto a quella dei pannelli solari prodotti dall'uomo e compensare lo svantaggio di una resa così bassa.

I motori dei trattori agricoli, potrebbero domani funzionare con oli vegetali.

Ovviamente per la produzione di questi combustibili dovranno essere sfruttate zone oggi incolte perché non è pensabile di riconvertire a questo scopo terreni che un tempo fornivano erba per i cavalli e che ora sono più utilmente impiegati per produrre cereali e proteine vegetali.

L'energia geotermica

Accanto al sole, al vento e all'energia idraulica possiamo annoverare anche un'altra fonte di energia pulita e di basso costo: la geotermica, vale a dire quell'energia che si manifesta sulla superficie della Terra con i geysers, le fumarole, le sorgenti termali, e che in situazioni particolare può essere convenientemente usata per produrre energia elettrica o scaldare le case. Ci sono infatti delle zone particolari della superficie terrestre che sono delle enormi caldaie naturali sotterranee capaci di produrre vapore in pressione (soffioni) o acqua calda in abbondanza.

La temperatura della crosta terrestre è condizionata da due sorgenti di calore fra loro indipendenti: l'energia solare e quella interna della terra che genera un flusso continuo di calore verso la superficie.

L'energia solare è molto superiore a quella proveniente dall'interno della terra ed è praticamente l'unica responsabile delle variazioni di temperatura della superficie del pianeta. Gli effetti di tale energia però si risentono solo fino a profondità di 20 m. Dai 20 ai 50 m la temperatura rimane costante per tutto l'anno.

Al di sotto di questa zona la temperatura cresce con la profondità con un gradiente variabile da 1 a 5 gradi ogni 100 m (in media 3°) in relazione alla diversa conducibilità delle rocce e ai fluidi che le permeano.

Tale aumento di temperatura è dovuto ai flussi di calore terrestre la cui origine è connessa con l'energia liberata dal decadimento di elementi radioattivi che però da sola non basterebbe a giustificare il calore interno della terra stimato attorno ai 2.500°. Bisogna quindi supporre che tale calore sia un residuo del calore iniziale liberato dal decadimento di grandi quantità di elementi radioattivi che erano presenti nella prima fase della formazione del nostro pianeta.

Questo flusso termico è all'incirca costante sui continenti e sui fondi oceanici. Ma vi sono zone particolari dove esso è maggiore perché vi sono masse magmatiche incandescenti che risalgono verso la superficie. Una parte si disperde attraverso le eruzioni vulcaniche. Una parte

invece ristagna al di sotto di formazioni rocciose e le riscalda assieme ai fluidi in esse contenuti. Questi fluidi caldi se giungono in superficie, generano sorgenti termali, geyger, soffioni, fumarole.

Se la loro risalita verso la superficie è preclusa da uno strato di copertura impermeabile, si creano sistemi di convezione termica in cui solo una modesta quantità di calore si disperde per conduzione attraverso la copertura creando un'anomalia nel gradiente termico della superficie terrestre.

Talora ci possono essere fughe di fluidi attraverso faglie che danno origine in superficie a sorgenti di acqua calda. Queste fughe vengono compensate dalle acque meteoriche che penetrando in profondità raggiungono le rocce sovrastanti la massa magmatica. In queste condizioni si creano campi geotermici che sono giacimenti di energia utilizzabili per un tempo infinito se paragonato alla scala umana dei tempi.

La ricerca sistematica di questi campi è iniziata circa quarant'anni fa perché solo allora si è capita la loro importanza e si sono definiti i criteri geologici e geochimici per individuarli. È vero che il campo geotermico di Larderello era in funzione sin dal 1904, ma lo si considerava un fenomeno vulcanico unico e irripetibile di quella particolare zona della crosta terrestre.

Fino agli anni cinquanta l'ipotesi dominante sulla formazione dei campi di vapore era quella formulata dal geologo italiano Bernardino Lotti, secondo il quale questo vapore era di origine magmatica. I fluidi di Larderello dovevano dunque provenire da un'intrusione magmatica profonda attraverso fratture e faglie che arrivavano fino alla massa intrusa. Questa teoria venne messa in dubbio dal geochimico Goldschmidt il quale scoprì che il boro e il fluoro contenuti nei soffioni di Larderello, potevano avere anche un'origine diversa da quella magmatica, ipotesi confermata da un altro studioso italiano F. Tonani. Ma la vera svolta la diede il geologo francese Goguel nel 1953 con la formulazione della teoria delle correnti di convezione, secondo la quale era di origine meteorica l'acqua che penetrando in profondità fino a permeare completamente gli strati permeabili della roccia sovrastante la massa magmatica, riscaldandosi poteva dare origine a un campo geotermico e ai soffioni di Larderello. Questa nuova visione del meccanismo che poteva dare origine a un campo di vapore naturale, mise in evidenza che il fenomeno poteva essere molto più vasto di quello circoscritto alla regione toscana. L'estensione delle ricerche condusse a un primo punto fermo: le zone ad alta termalità si trovano nelle regioni di

vulcanismo attuale o recente, cioè mioceniche, plioceniche o quaternarie. Queste zone sono chiamate province geotermiche e sono quelle nelle quali vanno localizzate le ricerche perché solo qui ci possono essere le condizioni favorevoli per la formazione di campi geotermici.

Il secondo punto fermo è che nell'ambito della provincia geotermica, una massa magmatica si sia avvicinata alla superficie creando un'anomalia nel gradiente termico della superficie terrestre.

Il terzo punto fermo è la stratigrafia dell'area che deve essere caratterizzata da una successione di rocce porose al di sopra della massa magmatica, ricoperte da strati impermeabili (Fig. 40).

L'origine meteorica dell'acqua comporta una ricerca che tenga conto anche del bilancio idraulico oltreché termico del campo. Infatti l'acqua riscaldata per conduzione delle rocce deve avere la possibilità di ricaricarsi.

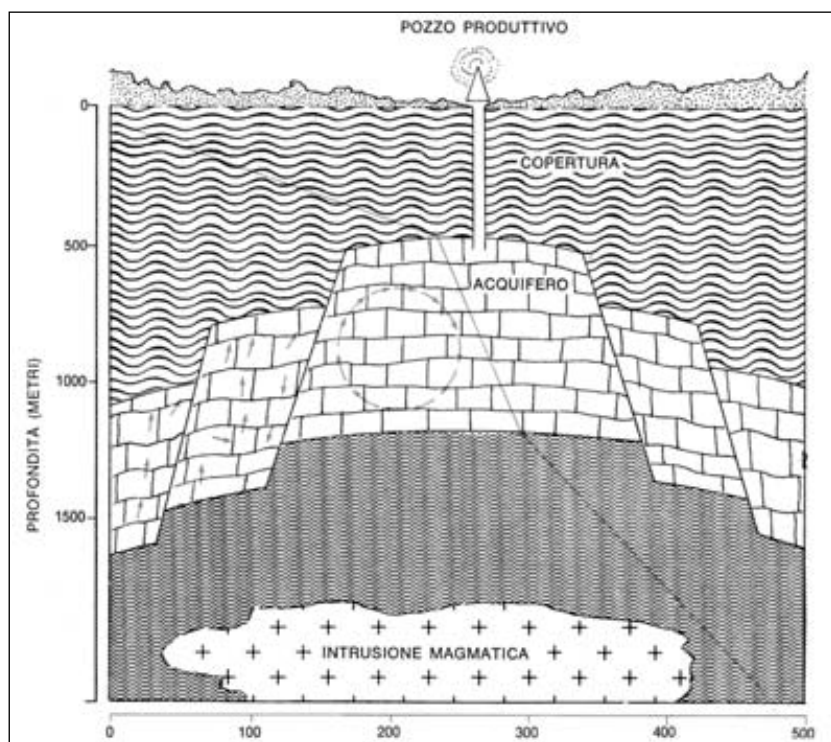


Figura 40 – Campo geotermico.

Se la permeabilità della roccia è grande, l'acqua si muove per convezione e tende a uniformare la temperatura per tutto lo spessore dell'acquifero. La parte superiore che si trova a contatto dello strato di copertura, gli trasmette per conduzione una parte di calore ed è questa la causa dell'anomalia che si riscontra nel gradiente termico della zona. L'acqua presente nella roccia ha una pressione che aumenta con la profondità. Se si trova a 500 m di profondità, ha una pressione di 50 atmosfere. In quelle condizioni il suo punto di ebollizione si eleva a 263°.

Se lo strato acquifero viene raggiunto da una perforazione, l'acqua risale violentemente. Il punto di ebollizione si abbassa e l'acqua si trasforma istantaneamente in vapore ad alta pressione che può essere convogliato in una turbina collegata a un generatore per la produzione di energia elettrica.

Ci può essere anche un secondo scenario, quello di un campo senza copertura impermeabile. In questo caso l'acqua calda raggiunge per convezione la superficie dando origine a sorgenti di acqua calda che possono essere sfruttate per il riscaldamento delle case o delle serre. È questo un caso molto diffuso in Islanda.

Molto importanti per la ricerca dei campi geotermici sono anche gli indizi di superficie rappresentati soprattutto dalle sorgenti di acqua calda, alle quali va data una giusta valutazione mediante uno studio geochimico perché non sempre sono indici sicuri della presenza di campi di vapore.

Le sorgenti più interessanti sono quelle cosiddette di fuga, determinate dalla presenza di una faglia che attraversa lo strato impermeabile di copertura e mette in comunicazione l'acquifero con la superficie. La faglia costituisce dunque una sorta di perforazione naturale attraverso la quale il vapore raggiunge la superficie dove si condensa in acqua calda priva di sali (Fig. 41).

Meno interessanti le fonti minerali di acqua calda, quelle cioè che contengono sali. Regole empiriche suggeriscono di non considerarle come indizi di possibili campi di vapore anche se non escludono questa eventualità.

Una terza categoria di indizi sono i depositi superficiali di silice idrotermale e il travertino, depositati in epoche passate in seguito all'evaporazione di acque calde ricche di silice e di calcare.

Infine vanno annoverate anche le fumarole, manifestazioni superficiali di vulcani tuttora attivi, per le quali non si è ancora chiarito se potranno essere sfruttate industrialmente.

Gli indizi superficiali sono utilissimi supporti nella ricerca di campi geotermici, ma la loro assenza non esclude affatto che questi siano presenti. Un esempio sono quelli scoperti presso il monte Amiata, dove non è stato riscontrato alcun indizio superficiale.

Tutta la documentazione relativa campi di vapore scoperti nel mondo, venne presentata a un congresso tenutosi a Roma nel 1961. Economisti e politici appresero così che l'energia geotermica offriva possibilità economiche inaspettate grazie al basso costo di produzione.

Un campo geotermico industriale è un sistema naturale di fluidi caldi che possono essere sfruttati in modo economico su vasta scala producendo energia a costi competitivi.

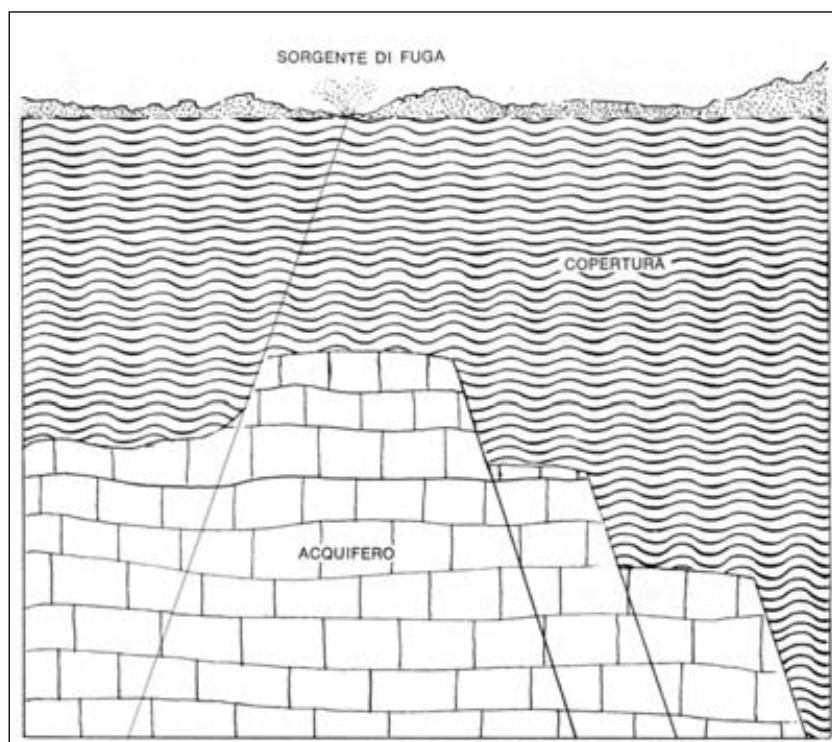


Figura 41 – Schema di campo geotermico detto di fuga (leakage manifestation). La faglia collega l'acquifero con la superficie, agendo come una perforazione artificiale.

Tra i campi oggi in produzione, quelli che presentano le migliori caratteristiche sono Larderello, Salton Sea in California e Cerro Priero in Messico perché hanno tutti un'ottima copertura di argilla e corrispondono bene al modello geologico ideale di un campo geotermico. Invece quello di Geysers in California sembra contraddire questo modello perché la copertura è costituita da un'arenaria. In realtà la contraddizione è solo apparente. Essa infatti è stata impermeabilizzata da fluidi caldi che attraversandola, hanno depositato silice, calcite e altri minerali, riempiendo le fratture della roccia che è così diventata un'ottima copertura.

La conoscenza geologica che è stata acquisita nel settore dell'energia geotermica, ha notevolmente ridotto il margine di rischio che è sempre legato alle perforazioni e vinto le diffidenze nei confronti di una forma di energia che viene ora considerata come di sicuro avvenire.

In Italia tutta la fascia occidentale che si estende dalla Toscana alla Campania è potenzialmente interessata alla possibile localizzazione di campi geotermici, e merita una ricerca sistematica perché un campo geotermico a differenza di uno petrolifero, non si esaurisce ma ha una durata valutabile in termini di secoli o millenni.

La fusione nucleare

Il mito di Prometeo, l'eroe che rubò agli dei il segreto del fuoco per farne dono ai mortali e venne severamente punito, rivive nei fisici moderni che cercano di rubare al sole il segreto del suo processo trasformando atomi di idrogeno in atomi di elio. Se ci riusciranno il mondo non avrà più sete di energia. Ma gli dei sono ora allertati e non sembrano disposti a subire un secondo furto.

Il tipo di idrogeno adatto a questo processo, è un isotopo dell'elemento, chiamato deuterio, che si trova nell'acqua del mare sotto forma di ossido, l'acqua pesante.

Questo composto l'abbiamo già incontrato parlando di energia nucleare. Viene estratto dall'acqua del mare per distillazione frazionata. Con il processo dell'idrolisi, si scompone in deuterio e ossigeno.

Fondendo due atomi di deuterio si può ottenere un atomo di elio 3 più un neutrone più 3,4 milioni di elettronvolt. Il processo di fusione richiede una temperatura di 400 milioni di gradi.

Più promettente la fusione di un atomo di deuterio con un atomo di trizio, altro isotopo dell'idrogeno, perché da essa si otterrebbe un atomo di elio 4 più un neutrone più diciassette milioni di elettronvolt e il processo potrebbe avvenire alla temperatura di (soli) 40 milioni di gradi.

Questa seconda strada sembra più percorribile, ma richiede la schermatura delle apparecchiature perché il trizio è radioattivo.

Il trizio esiste in natura solo in piccola quantità, ma può essere ottenuto per bombardamento nucleare del litio.

Il deuterio è abbondante in natura e il costo dell'energia necessaria per estrarlo, è insignificante rispetto alla quantità di energia che si otterrebbe dalla sua fusione. È stato calcolato che se con la fusione del deuterio si volesse riprodurre tutta l'energia ottenuta dai combustibili fossili dall'inizio del loro sfruttamento a oggi, la sua percentuale nelle acque dei mari si ridurrebbe solo dell'1%.

Uno dei vantaggi che prospetta la fusione nucleare è che essa avviene senza emissione di anidride carbonica. A questo si aggiunge il fatto

che alla fine del processo il combustibile non produce alcuna scoria radioattiva.

Le prospettive che offre la fusione nucleare sono così interessanti da giustificare l'interesse e l'impegno economico che è stato profuso per questo progetto da cinquant'anni a questa parte.

La fusione nucleare fu riprodotta per la prima volta in laboratorio nel 1932 con la collisione di nuclei di Deuterio accelerati artificialmente.

Ma l'esperimento decisivo fu l'esplosione della prima bomba all'idrogeno avvenuta nel 1952. Essa dimostrò che si può ottenere una produzione di energia di fusione su vasta scala aumentando la temperatura di un gas di particelle ad alta densità (plasma) fino a 50 milioni di gradi, perché a quel livello nel gas hanno luogo reazioni di fusione. In quel caso l'eccezionale temperatura era stata ottenuta facendo precedere l'esplosione della bomba, da quella di un piccolo ordigno nucleare. Subito dopo iniziarono le ricerche volte essenzialmente alla scoperta di un modo pratico per produrre una fusione controllata.

Il primo problema era quello di portare il plasma a una temperatura sufficientemente alta perché si inneschasse il processo di fusione.

Questa temperatura è detta di ignizione. Per la fusione tra nuclei di deuterio e nuclei di trizio la temperatura di ignizione si aggira sui 40 milioni di gradi.

Il secondo problema era il contenimento della palla di fuoco prodotta perché nessun materiale può esistere allo stato solido nell'intervallo di temperature necessario alla produzione di energia di fusione. Fin dall'inizio particolare attenzione era stata rivolta ai campi magnetici, per confinare il plasma.

Furono progettate diverse varietà di bottiglie magnetiche. Tali dispositivi erano stati proposti su base puramente teorica nel 1955 da H. Grad dell'Università di New York e furono usati per la prima volta con successo nel 1962 dal fisico russo M.S. Joffe.

Seguirono i contenitori a geometria toroidale detti Stellarator costruiti nei laboratori di fisica dei plasmi di Princeton e i Tokamak realizzati presso l'istituto dell'energia atomica I.V. Kurkatov, vicino a Mosca. Avevano caratteristiche diverse in funzione della diversa densità dei plasmi studiati.

In secondo luogo il plasma doveva rimanere confinato abbastanza a lungo perché potesse liberare una quantità di energia significativa. In terzo luogo l'energia doveva poter essere trasformata in una forma utilizzabile.

Il primo traguardo fu raggiunto nel 1963 quando in un laboratorio di Los Alamos venne raggiunta la temperatura di ignizione con una miscela deuterio trizio. Da allora molti dispositivi diversi hanno raggiunto lo stesso traguardo. Le principali difficoltà incontrate sono state determinate dalle perdite di energia dovute ad atomi di impurità che entravano a far parte del plasma, provenienti dalle parti del contenitore.

Un grande sforzo di ricerca sul vuoto e sulla tecnologia delle superfici è stato necessario per superare questi problemi.

Il problema del sconfinamento del plasma per un tempo sufficientemente lungo, si è rivelato molto più arduo perché sono intervenuti processi di diffusione anomala, cioè processi estremamente rapidi di perdita di energia.

Alla fine si è riusciti a ottenere sia il raggiungimento della temperatura di ignizione sia un adeguato tempo di sconfinamento con diversi tipi di macchine, tutte progettate al fine di ottenere il conseguimento dei due obiettivi.

Il traguardo successivo era il raggiungimento del punto a partire dal quale la fusione potesse autoalimentarsi, per poter poi passare alla fase finale: la progettazione di un reattore di fusione.

Negli anni ottanta vennero costruite le prime apparecchiature per questo scopo. Una negli USA a Princeton col progetto TFTR (Totamak fusion Test Reactor). Una in Europa con la sigla JET (Joint European Torus) finanziata dalla comunità europea (Fig. 42). Una in Giappone (JT 60) presso l'istituto di energia atomica di Tokai Mura e la quarta in Russia dove era stata messa a punto per la prima volta la tecnologia del Totamak, il reattore ad anello toroidale capace di confinare il plasma al centro del contenitore magnetico. A tutt'oggi, dopo venticinque anni di ricerche quel traguardo non è ancora stato raggiunto.

Nel frattempo si sono sperimentate altre apparecchiature come l'REX entrata in funzione all'Istituto dei Gas Ionizzati del CNR di Padova, che tentano di confinare l'anello di plasma con tecniche meno costose, e sistemi di confinamento inerziale. Questi si basano sulla collimazione di potenti raggi laser o di fasci di particelle accelerate su microbersagli di deuterio solidificato a bassissima temperatura. Con un processo estremamente rapido, si cerca di sfruttare l'inerzia per mantenere il plasma confinato il tempo necessario per innescare la fusione.

Un reattore concepito secondo questo schema funzionerebbe con una serie di microesplosioni dalle quali ottenere l'energia utile.

Dopo la delusione della fusione fredda, si parla anche di una fusione tiepida, ovvero di un processo basato sull'accelerazione di molecole d'acqua indirizzate su un bersaglio solido. Il termine tiepida è stato scelto solo per indicare la ridotta energia spesa per accelerare le molecole d'acqua.

Attualmente gli esperimenti segnano il passo perché si attendono risultati concreti dalle apparecchiature più grandi che hanno richiesto i maggiori investimenti.

Per il momento si può solo parlare a titolo accademico di come sfruttare il grande calore che si ricaverà dalla fusione nucleare. Si pensa che possano essere i neutroni emessi dalla reazione, a produrre l'energia estraibile. Il rallentamento delle particelle in un mezzo moderatore che potrebbe essere l'acqua, produce calore che può essere sfruttato per il ciclo termodinamico di Rankine con un turboalternatore.

Ma si parla anche dei cosiddetti generatori MDH, ovvero magnetoidrodinamici. Sono sistemi che consentono la trasformazione diretta

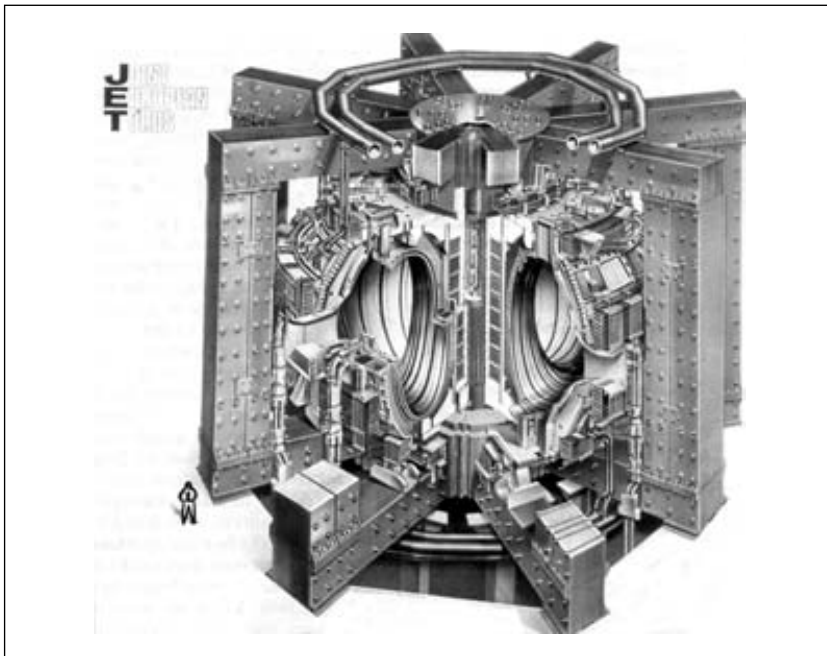


Figura 42 – JET (Joint European Torus).

dell'energia termica del plasma in energia elettrica. In pratica consistono nel far passare un gas ionizzato attraverso le linee di forza di un campo magnetico. Il rendimento passerebbe dall'attuale 43% di una centrale termica, o dal 33% di una nucleare, al 55–60%.

I progetti impostati negli anni ottanta prevedevano una soluzione dei problemi entro l'anno 2000. Quella data è stata superata e tutto lascia prevedere che ne occorreranno almeno altri venti per avere finalmente i risultati sperati.

La prospettiva di poter produrre energia pulita in quantità illimitata e a costi molto bassi è ancora una chimera che alimenta i sogni dei fisici e a noi non resta che augurarci che essa diventi molto presto una realtà.

Per il momento dobbiamo accontentarci di guardare all'idrogeno come il combustibile capace di bruciare senza produrre anidride carbonica. Va però fatta una precisazione. L'idrogeno non esiste in natura allo stato libero. Bisogna produrlo scomponendo l'acqua, il vapore o il metano. Solo quello ottenuto dall'acqua con l'elettricità, ha i requisiti del combustibile ecologico. Invece quello ottenuto dal vapore o dal metano si accompagna sempre alla contemporanea produzione di anidride carbonica.

Gli scenari futuri

Il fatto più inquietante del progetto che riguarda il tentativo di realizzare la fusione nucleare in modo sfruttabile, è che a più di vent'anni dalla loro entrata in funzione, da nessuno dei quattro impianti creati con grande impegno di scienziati e di finanziamenti, è ancora giunto il sospirato annuncio che il sole artificiale è finalmente stato acceso.

Il loro silenzio lascia capire che la soluzione non è dietro l'angolo e che bisogna aspettarsi tempi lunghi perché l'idrogeno possa dare una risposta definitiva ai nostri problemi energetici. Nel frattempo dobbiamo confrontarci con un prezzo del petrolio che ha raggiunto livelli elevatissimi e niente lascia sperare che essi possano ridursi. Questa situazione impone di rivedere tutte le previsioni per quanto riguarda l'immediato futuro.

Gli scenari che si profilano all'orizzonte sono tre: ritorno al carbone; ritorno al nucleare; benzina sintetica. Purtroppo nessuno dei tre si propone di risolvere il problema dell'inquinamento. Carbone e benzina sintetica bruciando producono anidride carbonica e calore di scarto. Il nucleare produce calore di scarto e scorie radioattive.

Un discorso a parte merita l'automobile, l'altro grande inquinatore dell'era moderna, per vedere fino a che punto è valida in alternativa all'auto elettrica, quella che marcia a idrogeno.

Il carbone per quanto riguarda le stime delle sue riserve, si trova in una posizione molto migliore di quella del petrolio, perché esse ammontano a circa 700 miliardi di tonnellate equivalenti.

La curva ancora in salita dei suoi consumi (Fig. 43) prevede un'inversione di tendenza attorno al 2100 e un punto di arrivo verso il 2400.

La curva in nero riflette la stima di Averitt, risalente al 1976 circa la disponibilità di carbone nel mondo. Quella tratteggiata il possibile andamento dei consumi qualora si ricorra al carbone per ricavarne anche metano e petrolio sintetico.

La storia del carbone non è delle migliori perché l'uomo nell'inseguire i suoi strati fino a 1.500 m di profondità, ha spesso pagato con la vita questo duro lavoro. Inondazioni delle gallerie e scoppi del Grisù, il

micidiale gas che accompagna sempre i giacimenti di carbone, sono stati la causa di immani tragedie avvenute nelle viscere della terra. Fra le vittime anche molti minatori italiani che rimasti disoccupati dopo la chiusura delle miniere siciliane di zolfo, andarono a cercarsi un tozzo di pane nelle miniere di carbone della Francia e del Belgio

Non mancano notizie di incidenti mortali neppure oggi, provenienti dalla Cina e da altri paesi dove la mano d'opera costa poco e la vita dell'uomo ancora meno.

Il ritorno al carbone più che una previsione, è ormai un dato di fatto. I grandi produttori di elettricità stanno rapidamente riconvertendo i loro impianti a questo combustibile che alle attuali quotazioni del barile, costa un terzo del petrolio.

Il carbone è un combustibile solido di colore nero, di origine vegetale che contiene un'alta percentuale di carbonio.

Nell'uso corrente per carbone si intende il minerale estratto dai giacimenti minerali, cioè il carbon fossile in contrapposizione al carbone di legna o carbonella, ricavato dalla legna carbonizzata.

Deriva dalla trasformazione di sostanze organiche vegetali per fermentazione della cellulosa fuori del contatto dell'aria. Questa trasformazione richiede tempi lunghi. Maggiore è l'età del carbone e maggiore è la percentuale di carbonio nella sua composizione che include anche idrogeno e impurezze varie.

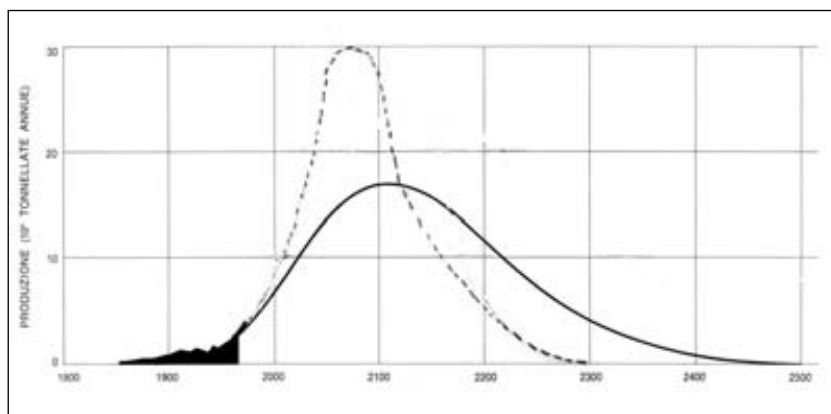


Figura 43 – *Curva elaborata da Averitt.*

Il carbon fossile più antico è l'antracite formatasi nel Paleozoico e precisamente nel periodo Carbonifero, quando le felci raggiunsero la loro massima espansione, cui seguirono il litantrace nel primo Mesozoico, la lignite del Cenozoico e la torba del neozoico.

Ci sono diverse ipotesi circa la sua formazione. Quella autoctona pensa che l'accumulo di vegetali sia avvenuto in loco per successiva stratificazione di sostanze vegetali o per sedimentazione in seguito ad abbassamento di zone palustri ricche di foreste. Ma si ipotizza anche che i vegetali provenienti da zone alte si siano accumulati in zone basse con formazione di bacini limnici. In ogni caso la petrogenesi ha messo in evidenza che il carbone è una roccia finemente pietrificata che ha subito un processo di metamorfismo in un clima caldo e umido favorevole allo sviluppo della flora. La protezione dei suoi strati è dovuta al successivo accumulo di detriti alluvionali.

La maggior parte dei giacimenti è distribuita lungo l'asse delle regioni montuose esistite in epoche passate. Infatti in Europa i giacimenti si trovano secondo l'ubicazione dell'antica catena caledoniana e di quella ercinica. In seguito questi giacimenti hanno subito una serie di corrugamenti per cui spesso si trovano deformati, laminati, fratturati e la loro coltivazione è molto difficile.

Il carbone più pregiato è l'antracite che ha un contenuto di carbonio del 90-95% e un potere calorico di 8.000 kcal/kg. Segue il litantrace con 7.500 kcal.

La lignite contiene molte sostanze volatili e ha un potere calorico che varia fra le 4.200 e le 6.200 kcal.

La torba è il minerale di più recente costituzione e contiene molta umidità residua anche allo stato secco. Il suo potere calorico è di 4.000 kcal/kg.

L'uso del carbon fossile è antichissimo. I cinesi furono i primi a utilizzarlo inizialmente per scaldarsi bruciandolo in bracieri e in seguito per fare la polvere pirica.

In Europa l'uso del carbon fossile risale al XII secolo, ma la sua estrazione divenne importante dopo l'invenzione della macchina a vapore.

Per più di un secolo il carbon fossile fu la fonte dalla quale si ottenne energia termica e le regioni carbonifere furono quelle che videro il maggior sviluppo industriale.

Prima dell'invenzione della lampadina, dal carbone si estraeva anche il gas per l'illuminazione delle case e delle strade. Era detto gas

illuminante perché vi si lasciava il benzolo che conferiva alla fiamma della lampada un colore bianco brillante. Depurato da quel componente più utilmente usato come solvente, si continuò a distribuirlo nelle case fino agli anni quaranta del secolo scorso per alimentare le cucine a gas, col nome di gas di città. Era pericoloso non solo perché le sue fughe potevano dare origine a esplosioni, ma anche perché la presenza dell'ossido di carbonio nella sua composizione, lo rendeva tossico. Oggi è sostituito dal metano.

Dopo la diffusione del petrolio e del gas naturale, la produzione carbonifera subì un rallentamento, ma soltanto percentualmente perché di fatto, la sua produzione è sempre aumentata.

Il carbon fossile resta la principale fonte termica nell'industria e la materia prima indispensabile per la siderurgia, mentre sottoprodotti della distillazione del carbone costituiscono elementi base dell'industria chimica.

Viceversa per la produzione di energia meccanica la macchina a vapore è stata completamente sostituita dal motore a combustione interna a eccezione della Cina che sta rapidamente industrializzandosi e della Germania dove il carbone ha una consolidata tradizione.

Il minerale si trova generalmente sotto terra e bisogna scavare per estrarlo. Il limite massimo varia da 500 m negli Stati Uniti a 1.500 m in altre parti della Terra. Per i giacimenti prossimi alla superficie, il sistema più economico per sfruttarlo, è quello detto a cielo aperto. Vengono fatti grandi sbancamenti dei terreni di copertura e quindi grosse macchine scavatrici a tazze provvedono a estrarlo dagli strati mineralizzati e a caricarlo direttamente su grossi camion.

Per quelli sotterranei il vecchio sistema del *longwall* consistente nell'impiego di minatori che scavano lunghe gallerie nel corpo dello strato operando sul fronte dello scavo con martelli perforatori, sta per essere sostituito, ove strati omogenei lo consentano, da sistemi completamente automatizzati.

Vengono perforati piccoli tunnel paralleli nello strato carbonifero, distanziati fra loro di alcuni metri, che terminano con tunnel trasversali i quali convergono in un tunnel centrale. In ciascuno di questi tunnel vengono installati dei nastri trasportatori. Poi macchine scavatrici comandate da un unico operatore, cominciano a erodere lo strato intermedio fra due tunnel paralleli e a convogliare il carbone scavato sui nastri trasportatori sui lati del fronte di scavo. Il carbone viene da questi convogliato nei tunnel trasversali e da questi in quello centrale dove

un grosso nastro convoglia verso la superficie tutto il carbone proveniente dalle scavatrici.

Tutte le operazioni sono quasi interamente automatizzate e il personale specializzato che lavora in sotterraneo è ridotto al minimo. Efficienti sistemi di ventilazione provvedono ad aspirare le sacche di gas.

Ove questo sistema che presuppone la presenza di strati uniformi e sufficientemente spessi, non sia possibile, si stanno sperimentando tecniche di gasificazione in profondità. Gli strati vengono raggiunti da coppie di perforazioni poste a una certa distanza fra di loro. Poi con acqua in pressione o esplosioni, si cerca di creare delle fratturazioni lungo lo strato di carbone, che mettano in comunicazione i due pozzi e infine si immette aria in un pozzo che alimenti una incompleta combustione lungo lo strato, e si raccoglie ossido di carbonio dall'altro pozzo. Questo gas può essere usato tal quale come combustibile oppure trasformato in idrogeno facendolo reagire col vapor d'acqua in presenza di un catalizzatore.

Il carbone che viene estratto allo stato solido, giunto in superficie, viene sottoposto a una cernita. Mediante un vaglio vengono isolati i pezzi più grossi che vengono frantumati in una cilindrata. Quindi il carbone viene separato dalla ganga e inviato a un vibrovaglio che lo divide secondo le pezzature richieste dal mercato.

La parte pulverulenta viene miscelata con pece e successivamente pressata per ottenere ovuli da impiegarsi nel riscaldamento domestico.

Il ritorno alla grande al carbone impone nuove tecnologie non solo per quanto riguarda la sua estrazione ma anche per ciò che concerne il suo utilizzo, sia perché oggi i quantitativi di combustibile che entrano in gioco, sono elevatissimi, sia perché la salvaguardia dell'ambiente è diventata prioritaria. Perciò l'espedito di usare ciminiere molto alte per meglio disperdere nell'atmosfera gli effluvi della combustione, non basta più. L'ENEL, dovendo importare tutto il carbone che brucia, sceglie fin che ne ha la possibilità, quelli a più basso tenore di zolfo e usa filtri nei condotti di scarico, per abbattere le polveri. Ma esistono sistemi più drastici anche se più costosi, che trasferiscono il problema a monte della combustione e sono i gasogeni nei quali il carbone viene prima gasificato e purificato e poi immesso nelle camere di combustione.

Il processo più consistente consiste nell'eliminazione dello zolfo che nel gasogeno viene trasformato in idrogeno solforato. Il gas viene fatto transitare in un contenitore dove è presente sesquiossido di ferro che reagendo con l'idrogeno solforato, si trasforma in solfuro liberan-

do zolfo e acqua. Il sesquiossido si ricompone per ossidazione lasciando il solfuro all'aria.

Il processo di gassificazione consiste nell'immettere nel gasogeno una miscela di aria e vapore che reagiscono col carbone rovente dando origine a un gas che è una miscela di ossido di carbonio, idrogeno e azoto con un potere calorifico di 1.350 kcal/m^3 .

In Germania il gasogeno più diffuso è il Lurgi che funziona bene solo con carboni privi di polveri (Fig. 44). Per questi sono stati sperimentati soprattutto in Francia gasogeni a letto fluido per ottenere la massima resa e altri tipi adatti ai più svariati tipi di carboni.

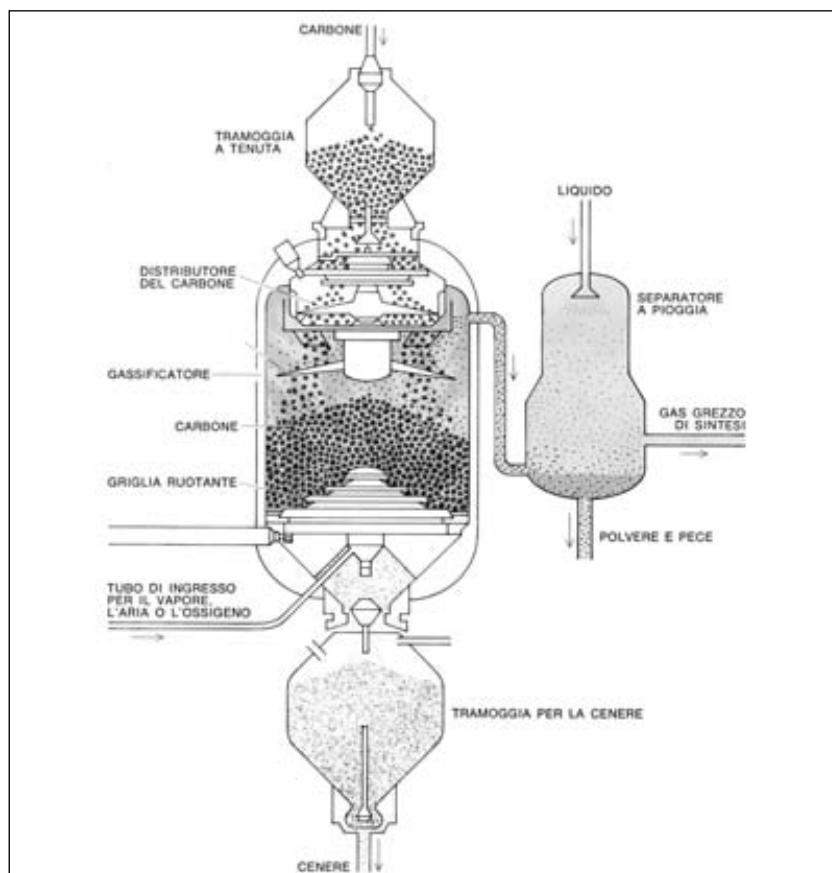


Figura 44 – Il processo Lurgi è uno dei metodi per la gassificazione del carbone.

È stato rispolverato anche il sistema Brin per recuperare il calore dei gas di scarico e produrre ossigeno da impiegare nei gasogeni al posto dell'aria. Il sistema Brin era quello utilizzato alla fine dell'ottocento per ottenere l'ossigeno con l'impiego dell'ossido di bario. Questo composto al di sopra dei 400° reagisce con l'ossigeno dell'aria fissandolo sotto forma di biossido. Al di sotto la reazione si inverte. Il biossido ritorna allo stato di ossido cedendo ossigeno. È perciò abbastanza logico pensare di poter recuperare con scambiatori di calore una parte del calore che se ne va per il camino trasferendolo all'aria da convogliare poi sull'ossido di bario.

L'utilizzo dell'ossigeno al posto dell'aria nel gasogeno, consente di elevare il potere calorico del gas da 1.350 a 2.800 kcal/m³.

Non è escluso che in un futuro non lontano anche il gas distribuito nelle case possa provenire di nuovo dal carbone, ma non sarà più il pericoloso gas di città di antica memoria, bensì metano che si può ottenere da speciali gasogeni (Fig. 45).

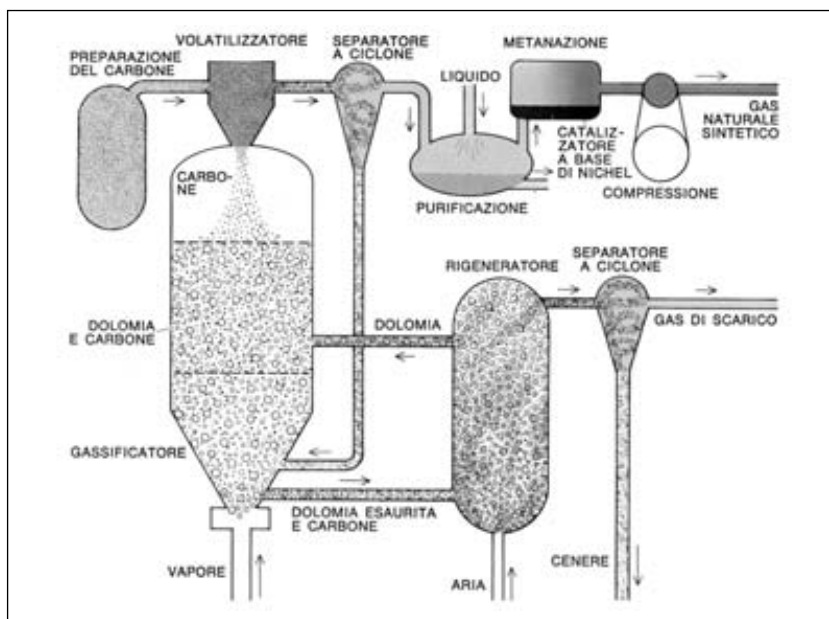


Figura 45 – Processo messo a punto dalla Consolidation Coal Company per la gasificazione del carbone a metano.

Ritorno al nucleare. Anche questa più che una previsione, è una constatazione. Il recente annuncio dell'ENEL di essere entrata in compartecipazione con la Slovacchia per la costruzione di una centrale nucleare sul suo territorio, ne è una conferma.

Purtroppo il mancato traguardo della fusione nucleare per l'anno duemila, ha sconvolto ancora una volta la nostra furbizia di poter salire sul podio del vincitore senza esserci adeguatamente allenati per vincere la corsa.

Ci ritroviamo a dover importare dalla Svizzera e dalla Francia una parte dell'energia elettrica che ci occorre, energia prodotta da centrali nucleari che non sono molto distanti dai nostri confini e che in caso di incidenti, coinvolgerebbero anche noi ne più e ne meno come ci coinvolse Chernobyl. D'altra parte il fatto che siano lì da più di vent'anni senza che si sia mai verificato un incidente, dovrebbe convincere gli italiani che la loro prevenzione nei confronti del nucleare è solo un ingiustificato preconcetto. Non va dimenticato che le norme occidentali di sicurezza sono molto più severe di quelle che portarono all'incidente ucraino.

Oggi non possiamo far altro che constatare che il ritorno al nucleare è una scelta obbligata anche perché tutti i bei propositi che avevamo formulato trent'anni fa sullo sfruttamento dell'energia solare e del vento, sull'incremento delle fonti geotermiche, sulla cogenerazione, sono rimasti nel libro dei sogni.

Il ritorno al nucleare, allo stato attuale delle nostre conoscenze, non ha alternative anche se la sua stretta parentela con le bombe atomiche non lo rende simpatico a nessuno.

L'inquinamento termico potrebbe trovare una soluzione nella cosiddetta cogenerazione, vale a dire nel recupero del calore di scarto prodotto in grande quantità dalla centrale, per il riscaldamento delle case. Un'altra soluzione potrebbe essere quello di abbinare l'impianto nucleare a uno di smaltimento dei rifiuti urbani per trasformare quelli organici in biogas.

Le scorie radioattive sono il vero problema.

Il combustibile nucleare esaurito che viene scaricato da un reattore, passa attraverso molti stadi. Prima viene messo in una piscina e lasciato raffreddare per qualche anno. Poi deve essere trasportato con speciali vagoni in un impianto per il ritrattamento chimico. Uranio e plutonio presenti vengono quasi interamente recuperati per essere riutilizzati. Quello che resta sono le scorie vere e proprie. Queste vengono dapprima

ma conservate in una soluzione acquosa per un ulteriore decadimento della radioattività usando speciali serbatoi a doppia parete. Dopo cinque anni le scorie vengono trasformate dalla fase liquida, a quella solida e dopo altri cinque anni stoccate in tubi di acciaio e sistemate in depositi sotterranei geologicamente stabili. Questa condizione è necessaria perché vi devono restare per 250.000 anni, senza che sconvolgimenti sismici o tettonici li riportino a contatto con la biosfera. A questo proposito le miniere saline abbandonate sembrano essere quelle che offrono le migliori garanzie.

La maggior parte dei prodotti di fissione che costituiscono le scorie, hanno un tempo di decadimento di qualche anno. Il cesio 137 e lo stronzio 90 ne richiedono uno di 30 anni. Il plutonio ancora presente e la maggior parte degli attinidi hanno bisogno di un periodo di 25.000 anni per dimezzare la loro radioattività e un tempo dieci volte più lungo per annullarla.

Sono questi gli inconvenienti della civiltà industriale. Produce benessere ma anche rifiuti difficili da gestire o da smaltire. È troppo semplice pensare di eluderli coi referendum. Del carbone dovremmo dire cose anche più gravi.

Per sostenere il nostro benessere e andare avanti, abbiamo bisogno del nucleare. Essa comporta anche dei rischi. Possiamo contenerli entro limiti accettabili con le rigorose norme di sicurezza che abbiamo, ma non eliminarli.

Scarsità di energia significa disoccupazione e recessione.

Alla benzina sintetica non si è ancora fatto ricorso, ma è nella logica dei fatti. Attorno al combustibile dell'auto c'è un enorme indotto fatto di raffinerie, di autobotti, di stazioni di servizio, un gigantesco sistema inerziale che si oppone a qualsiasi cambiamento.

Dietro le centinaia di migliaia di persone che vi lavorano, ci sono anche gli interessi dei petrolieri e gli introiti dell'erario che difendono tenacemente lo *status quo*. Perciò di pari passo che la disponibilità di petrolio diminuirà, verrà integrata con prodotti di origine sintetica. Questi non apporteranno alcun beneficio al problema dell'inquinamento, ma i posti di lavoro e i profitti dei petrolieri saranno salvi. Del resto lo vediamo già oggi. L'inquinamento prodotto dagli autoveicoli sarebbe fortemente ridotto se tutti funzionassero a gas propano liquido. Ma gli autoveicoli nuovi che escono dalla fabbrica sono tutti a benzina o a gasolio perché dietro questi combustibili si nascondono enormi interessi.

La benzina sintetica non è un'invenzione di oggi. È un processo messo a punto da due chimici tedeschi durante la seconda guerra mondiale, Fisher e Tropsch per ricavare un combustibile liquido dal carbone. Impropiamente lo si è definito come la liquefazione del carbone.

Il processo consiste nel gasificare il combustibile solido arroventato, facendolo attraversare da un getto di vapore surriscaldato allo scopo di ottenere un gas, detto gas di sintesi costituito da due parti di idrogeno e una parte di ossido di carbonio. Comprimendo questo gas in una torre di sintesi a circa dieci atmosfere in presenza di un catalizzatore, si ottiene un liquido con caratteristiche simili a quelle del petrolio, dal quale per distillazione si possono ottenere tutti i suoi derivati.

Variando il rapporto ossido di carbonio idrogeno, condizioni di pressione e catalizzatori si può variare la composizione degli idrocarburi sintetici che si ottengono.

Il processo abbandonato dopo la guerra, venne riscoperto e migliorato dai sudafricani dopo la crisi del 1973. Oggi può ritornare di attualità perché diventa competitivo col petrolio quando questo sale oltre i trenta dollari a barile, limite ormai largamente superato.

Per il momento non è ancora comparso sul mercato perché il petrolio è notevolmente rincarato ma non a causa di una carenza del prodotto che possa giustificare un forte investimento nel settore petrolchimico per avviarne la produzione. È ipotizzabile che essa possa fare la sua apparizione fra alcuni anni.

È invece già in atto in Canada il processo per ricavare petrolio dagli scisti e dalle sabbie bituminose. È altamente inquinante perché produce enormi quantità di biossido di zolfo. Purtroppo è diventato competitivo quando il petrolio ha superato i venticinque dollari a barile e se ne prevede una diffusione indiscriminata in altre parti del mondo, in sprezzo a tutti i buoni propositi di ridurre l'inquinamento

L'auto elettrica

Il tentativo più consistente per eliminare l'inquinamento derivato dai motori a combustione interna è stato quello di realizzare un'auto che funzionasse con un motore elettrico alimentato da batterie.

L'impegno è stato notevole ma l'esito non è stato soddisfacente. È di un anno fa la dichiarazione di un grosso produttore americano, di aver rinunciato al progetto, dopo averlo finanziato con larghezza di mezzi, perché non lo ritiene più economicamente realizzabile.

L'idea dell'auto elettrica è strettamente legato al progetto di ottenere un accumulatore capace di immagazzinare tanta energia quanta quella di un serbatoio di benzina, e di alimentare un motore elettrico con prestazioni simili a quelle del motore a scoppio.

Sul piano tecnico si sono ottenuti risultati molto interessanti, ma non su quello economico che costituisce un tribunale di ultima istanza per decretare il successo o l'insuccesso di un'idea. Purtroppo questo è il caso dell'accumulatore per l'auto elettrica. Ne sono stati realizzati diversi ma sono tutti troppo costosi.

Il primo accumulatore, quello al piombo, fu inventato nel 1860 dal francese Planté ed è quello che ancora oggi viene montato sulle nostre auto perché è il più economico e il più versatile (Fig. 46).

Due piastre una di piombo e una di ossido di piombo immerse in una soluzione di acido solforico diluito, vengono collegate ai morsetti di un generatore a corrente continua di forza elettromotrice adeguata. Durante la carica l'elettrodo positivo si ossida e l'elettrodo negativo riceve l'idrogeno che ne opera la riduzione.

Collegando successivamente fra di loro mediante un conduttore i due elettrodi, ha luogo una circolazione di corrente che produce reazioni chimiche contrarie alle precedenti finì a quando le piastre di piombo tornano al loro stato primitivo.

La capacità dell'accumulatore, cioè la quantità di elettricità che esso può erogare durante la scarica, è tanto maggiore quando più profonde sono le modifiche subite dalle piastre durante la carica. Questo processo viene facilitato dalle modifiche apportate da un altro francese, Faure,

che ha proposto piastre formate da griglie di piombo antimoniato negli alveoli delle quali vengono introdotte sostanze attive (minio all'elettrodo positivo e litargilio in quello negativo).

La forza elettromotrice fornita è di circa 2 V e si deve impedire che essa scenda al di sotto di questo valore con un prelievo eccessivo di corrente altrimenti si ha deposizione sulle piastre di solfato di piombo che rende irreversibile il processo di scarica.

La capacità di un accumulatore può arrivare a 15 A/h per chilogrammo di peso e il rendimento dell'energia restituita è del 70%.

L'alternativa fra il motore a benzina e quello elettrico si pose fin dagli albori dell'auto quando questa era ancora un mezzo primitivo e rumoroso. Fu il grande Edison che affrontò il problema e convenne che le batterie al piombo erano troppo pesanti per questo scopo. Ideò perciò un accumulatore alcalino in cui gli elettrodi costituiti da ferro e nichel erano immersi in una soluzione di potassa caustica. Era più leggero di quello al piombo, ma con un rendimento inferiore e una tensione più incostante e di valore inferiore (1,25 V).



Figura 46 – Accumulatore Bosch per auto.

Questo accumulatore trovò un suo mercato ma non riuscì a realizzare il progetto di Edison. Oggi è stato notevolmente migliorato perché l'elettrodo negativo è a base di cadmio miscelato con ferro pulverulento. È un accumulatore molto robusto e richiede pochissima manutenzione che si riduce al rabbocco dell'acqua. Inoltre a parità di peso ha una capacità superiore a quella degli accumulatori al piombo (circa 20 A/h per chilogrammo di peso). Però costa molto di più di quello al piombo.

Maggior fortuna ha avuto l'accumulatore al nichel cadmio prodotto in Svezia da Junger a partire dal 1901, ma non per l'auto. Oggi è diffusissimo in formato a bottone per gli orologi, le calcolatrici tascabili, i rasoi elettrici. In formato maggiore trova applicazione solo negli aeroplani, perché ha un costo molto elevato (Fig. 47).

Nel 1975 sono stati introdotti per i satelliti artificiali gli accumulatori al nichel idrogeno. Sono recipienti stagni al cui interno durante la scarica, un ossido di nichel si riduce a idrossido all'elettrodo positivo, mentre l'idrogeno gassoso si ossida ad acqua sull'elettrodo negativo. Poiché l'idrogeno si consuma mentre l'accumulatore fornisce corrente e diminuisce di pressione, un manometro segnala quando deve essere ricaricato.

È un accumulatore con una vita molto lunga perché tollera moltissimi cicli di carica e scarica. Inoltre produce una corrente molto intensa.

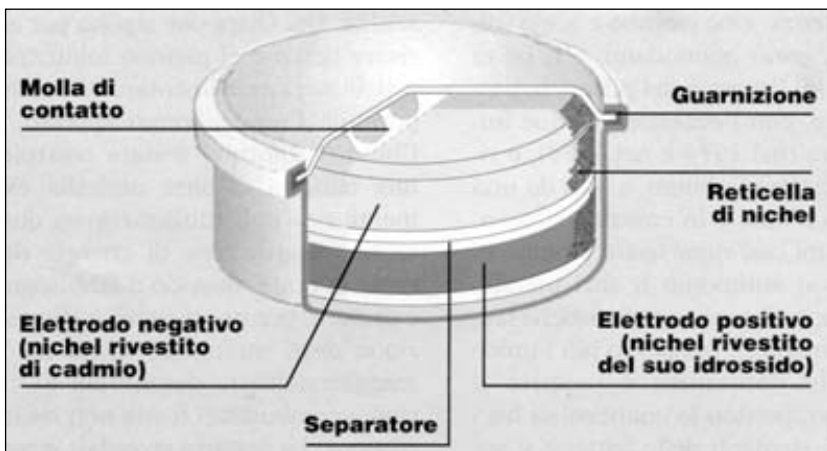


Figura 47 – Accumulatore formato bottone.

Anche per questo tipo il grosso inconveniente è il costo. Infatti la reazione dell'idrogeno sull'elettrodo negativo richiede la presenza di platino come catalizzatore.

Gli studi sul progetto auto elettrica, hanno partorito anche un accumulatore a reagenti liquidi. Entra in funzione con temperature superiori a 270° e da il massimo rendimento verso i 370°.

Una membrana ceramica di beta-allumina porosa impedisce il mescolamento dei due elementi allo stato fuso, sodio e zolfo.

Mentre l'accumulatore fornisce corrente, il sodio che costituisce l'elettrodo negativo, si ossida a ione lanciando elettroni nel circuito esterno che arrivano all'elettrodo positivo dove lo zolfo li cattura riducendosi a ione polisolfuro.

Questo accumulatore riesce a immagazzinare molta energia in poco peso, ma come tutti quelli sopra descritti, è molto costoso e le elevate temperature alle quali lavora, fanno pensare che debba essere messo a regime e non abbia quella flessibilità di esercizio richiesta da un autoveicolo che deve arrestarsi e ripartire a discrezione del conducente.

Infine va segnalato l'accumulatore canadese della Moli Energy in cui l'elettrodo negativo è costituito da un foglio di litio e quello positivo da disolfuro di molibdeno o da biossido di manganese.

I modelli più recenti hanno una capacità doppia di quelli al nichel Cadmio a parità di peso e di ingombro e vengono usati per i telefoni cellulari e i computer portatili.

Oltre al costo elevato che ne limita l'impiego a settori specifici, hanno anche lo svantaggio di temere il freddo.

Da questa panoramica appare evidente che l'obiettivo di realizzare un accumulatore di grande capacità e di peso modesto, è stato più volte centrato, ma nessuno si è avvicinato al costo di quello al piombo il cui prezzo è difficilmente imitabile.

Questo è il motivo per cui a distanza di centoquarant'anni dalla sua invenzione, resta ancora il dispositivo più diffuso per l'accumulo di energia.

A questo punto è evidente che la realizzazione di un'auto elettrica con prestazioni e prezzo simili a quelle di un'auto a motore termico, ha di fronte due muri invalicabili. Da un lato un serbatoio elettrico troppo pesante. Dall'altro un serbatoio troppo costoso.

Ma a cosa servono queste prestazioni in città? A cosa servono i molti cavalli nascosti nel cofano di un'auto a benzina che si muove per cinque giorni alla settimana alla velocità media di una bicicletta con il

solo guidatore a bordo? Solo ad alimentare lo spreco e le tasche dei petrolieri.

Bisogna dividere il problema. L'utente della strada dovrà avere due auto, una per la città e una per i percorsi extraurbani. L'auto di città dovrà essere molto piccola perché in città gli spazi a sua disposizione sia per muoversi che per parcheggiare sono minimi. Dovrà essere a uno o a due posti, avere un motore elettrico da due o quattro cavalli e un'autonomia di 60–70 km. Ecco allora che il progetto dell'auto elettrica riacquisterà una sua credibilità. Ma ci vorrà del tempo e l'interdizione permanente ai mezzi inquinanti nell'area urbana perché l'automobilista si adatti all'idea che con una piccola auto elettrica possa muoversi più velocemente, e parcheggiare

Nel panorama dell'auto ecologica, c'è anche la proposta di una piccola auto funzionante ad aria compressa. L'idea non è una novità. In molte miniere di carbone dove ci sono pericoli di esplosioni di gas, vengono usati piccoli locomotori funzionanti ad aria compressa. Ma l'esempio non è trasferibile a un veicolo su gomma, sia per il peso delle bombole sia per il rendimento del sistema che è solo del 20% e non garantisce un'autonomia adeguata.

L'auto a idrogeno

Di fronte alle difficoltà insormontabili dell'auto elettrica, i costruttori di auto hanno cercato di arrivare all'auto ecologica percorrendo un'altra strada, quella dell'auto che usa come combustibile l'idrogeno. Questo elemento infatti ha il grande pregio bruciando di produrre solo vapore d'acqua

La ricerca ha preso due distinte direzioni: un'auto a pila di combustibile che alimenta un motore elettrico, e un'auto con un motore a scoppio tradizionale alimentato con idrogeno

Prima di entrare nel merito dei due progetti, presentiamo l'elemento in questione: l'idrogeno.

È un gas incolore e inodore che non si trova allo stato libero in natura, se non in piccolissima quantità in certe esalazioni vulcaniche. Si trova invece in combinazione con altri elementi per formare l'acqua, gli acidi, gli idrossidi e tutti i componenti organici.

Si combina con l'ossigeno per dare vapore d'acqua. Il processo avviene con produzione di calore. Un metro cubo di idrogeno bruciando produce 3.065 kcal.

È il gas più leggero che si conosca. Per questo negli anni venti e trenta del secolo scorso trovò il suo impiego più nobile per fornire la spinta ascensionale ai dirigibili, le enormi aeronavi che varcavano gli oceani per portare passeggeri da un continente all'altro. I più famosi erano gli Zeppelin tedeschi, vanto della Germania nazista.

Il 9 luglio 1937 uno di questi, l'Hindenburg, attraccando al pilone di ormeggio di New York, dopo aver varcato l'Atlantico, si incendiò e metà dei suoi passeggeri perì nel rogo. Fu la fine dei dirigibili e dell'idrogeno come protagonista aeronautico.

Scoperto da Cavendish nel 1766, occupa il primo posto nella classificazione periodica di Mendeleev. Il suo atomo è costituito da un elettrone e un protone. Ha dunque numero atomico uno e peso atomico uno. Importanti due suoi isotopi, cioè elementi che hanno lo stesso numero atomico e le stesse caratteristiche chimiche, ma peso atomico superiore. Parliamo del deuterio e del trizio. Il primo ha un nucleo co-

stituito da un protone e un neutrone, il secondo da un protone e due neutroni.

Li abbiamo già incontrati come i protagonisti della fusione nucleare di domani.

L'idrogeno ha una temperatura critica di -240° al di sotto della quale può essere liquefatto. In quella veste, a parità di peso, è il liquido a più alto potere calorico. Per questo veniva usato come combustibile nei razzi V2 tedeschi e nel razzo americano Saturno che portò l'uomo sulla luna. In futuro potrebbe essere il combustibile degli aerei.

L'idrogeno viene oggi impiegato in enormi quantità dall'industria chimica perché è il componente di molti prodotti chimici a elevato valore aggiunto. In passato veniva ricavato dai processi di distillazione del carbon fossile. Oggi viene ottenuto quasi esclusivamente dal metano e dal carbone.

Il processo di estrazione dal metano consiste nel farlo reagire con vapore d'acqua in presenza di un catalizzatore. Si ottengono idrogeno e anidride carbonica. Questa viene allontanata facendola reagire a freddo con un'ammina che la fissa come carbonato. Poi l'ammina viene recuperata mediante moderato riscaldamento. L'idrogeno così ottenuto viene impiegato principalmente per la sintesi dell'ammoniaca, ingrediente base dell'urea e dei fertilizzanti.

Il secondo processo prevede l'impiego del carbone e del vapore. Convogliando in un gasogeno contenente carbone acceso, un getto di vapore d'acqua, questo viene scomposto e si forma una miscela di ossido di carbonio e idrogeno, detta gas d'acqua. Il processo è discontinuo perché il carbone rovente tende a spegnersi. Il getto di vapore deve perciò essere interrotto e sostituito da un getto d'aria che ravviva la combustione del carbone. Oggi questo processo discontinuo che comporta un rapido deterioramento del gasogeno, è sostituito da un processo continuo insufflando vapore d'acqua e ossigeno. Questo viene ottenuto dai processi nei quali l'ossigeno è un prodotto di scarto, o mediante la distillazione frazionata dell'aria liquida, ottenuta con un processo poco costoso ideato da Linde.

La temperatura del gasogeno viene regolata in modo tale che il prodotto finale possa essere una miscela di anidride carbonica e idrogeno, ove si voglia ottenere l'idrogeno oppure una miscela di ossido di carbonio, idrogeno e anidride carbonica. In questo caso si dosa il vapore d'acqua in modo che il rapporto fra idrogeno e ossido di carbonio sia nelle proporzioni di due a uno, allo scopo di ottenere il gas di sintesi. È

questo il gas che, depurato dall'anidride carbonica, da per compressione e in presenza di un catalizzatore, l'alcol metilico. Dalla stessa composizione e con catalizzatori diversi si può ottenere il petrolio sintetico del già citato processo Fischer Tropsch.

Dall'alcol metilico viene ottenuta la formaldeide.

C'è anche un terzo sistema per ottenere l'idrogeno: l'idrolisi dell'acqua. Facendo passare fra i due elettrodi di una cella elettrolitica contenente una soluzione acquosa di soda caustica, una corrente elettrica, l'acqua viene scomposta nei suoi due componenti ossigeno e idrogeno che si liberano sulla superficie dei due elettrodi.

Dei tre sistemi è il meno usato, perché è il più costoso. Infatti sono richiesti circa 4,5 kW di elettricità per metro cubo di idrogeno con un rendimento che non supera il 65%. Se poi si considera che oggi l'elettricità viene prodotta quasi interamente bruciando petrolio o carbone con un rendimento medio del 35–40% e con emissione di anidride carbonica, si può comprendere come questo sistema venga impiegato solo là dove i due elementi vengano richiesti allo stato molto puro.

Tuttavia è proprio questo terzo sistema che dischiude all'idrogeno un ruolo importante perché l'elettricità si può ottenere anche da fonti rinnovabili non inquinanti e teoricamente gratuite come l'energia solare, quella eolica, quella geotermica e quella idraulica. È in questo contesto che l'idrogeno può diventare domani una nuova forma di energia paragonabile a quella elettrica.

Abbiamo visto che l'energia solare e quella eolica si prestano molto più allo sfruttamento dei piccoli impianti che non a quello delle grandi produzioni. I piccoli impianti hanno però un limite. Sono soggetti ai capricci del tempo. Perciò non garantiscono una costante erogazione di energia. Possono produrre più del quantitativo richiesto o non produrre affatto. Allora perché non collegarli alla rete nazionale e instaurare un rapporto di interscambio? Ciò è oggi possibile grazie a dispositivi elettronici che trasformano la corrente continua in corrente alternata. Si può realisticamente ipotizzare una sinergia fra milioni di piccoli utenti e un grande produttore centralizzato. I piccoli produttori possono cedere alla rete nazionale i *surplus* di energia quando c'è vento o sole e assorbire energia quando i loro impianti sono fermi.

È qui che l'idrogeno può diventare il fulcro della sinergia perché il grande produttore ha la possibilità di ottenerlo impiegando questo apporto gratuito di elettricità per scomporre l'acqua e di ritrasformarlo

poi in elettricità con le celle a combustibile durante le ore di maggior richiesta. Può diventare anche un fornitore di idrogeno per utenze specifiche come ad esempio la trazione automobilistica.

Chiave di volta di questa immensa prospettiva diventa dunque la pila a combustibile che è capace di trasformare l'idrogeno in elettricità con rendimenti tre volte superiori a quelli di un motore a combustione interna.

Nella pila a combustibile, l'energia elettrica viene generata in seguito a una reazione chimica come nell'accumulatore. Tuttavia la differenza sostanziale è che i reagenti non si trovano incorporati nelle piastre dell'apparecchio, ma vengono forniti con continuità di pari passo che la reazione procede. Questa avviene fra un combustibile, nel caso più comune idrogeno gassoso, e una sostanza ossidante, ad esempio ossigeno gassoso, oppure l'aria stessa, dalla cui combinazione si ottiene acqua. Fino a che il rifornimento continua e l'acqua viene eliminata, la pila produce energia elettrica.

Dopo la scoperta della pila da parte di A. Volta nel 1800, alcune settimane più tardi, due fisici inglesi usando l'elettricità creata dal quella fonte, realizzarono la prima dissociazione elettrolitica dell'acqua.

Nel 1838 un altro fisico inglese W.R. Grove, pensò che se era possibile quel processo, lo era anche quello contrario, vale a dire che immergendo nella cella elettrolitica i due elementi, si doveva ottenere elettricità. L'intuizione era giusta, ma l'energia che si riuscì a ottenere era così esigua che il progetto venne abbandonato.

Negli anni trenta del secolo scorso un ricercatore dell'Università di Cambridge, l'ingegnere Francis T. Bacon cominciò a studiare questo tipo di pila, e nel 1959 pervenne a un prototipo dove i due componenti insufflati in elettrodi porosi di Nichel e platino alla pressione di 30 atmosfere, erogava una corrente con una potenza di 6 kW. Questo fu in seguito perfezionato dalla ditta statunitense Pratt & Whitney Aircraft per fornire elettricità ai comandi del progetto Apollo destinato alle missioni lunari.

Nella pila a combustibile l'elettrolito costituito da una soluzione acquosa di idrossido di potassio, è contenuta fra due elettrodi porosi disposti parallelamente fra loro. Al loro esterno giungono i gas idrogeno e ossigeno che si fissano sulle facce esterne dei due elettrodi, permeandoli parzialmente (Fig. 48).

All'elettrodo alimentato da idrogeno che funge da anodo, avviene l'ossidazione dell'elemento ad acqua con cessione di energia sotto forma di elettroni.

Gli elettroni liberati dall'idrogeno all'anodo, si muovono nel circuito esterno verso l'elettrodo alimentato con ossigeno (catodo) dove avviene la riduzione dell'ossigeno che acquista elettroni e si combina con l'acqua formando ioni idrossido e liberando energia.

Affinché la reazione avvenga, occorre che sussistano talune condizioni, come una pressione e una temperatura adeguate.

Su entrambi i poli il miglior catalizzatore si è rivelato il platino. Il rendimento che si ottiene è del 75%.

Dopo le prime realizzazioni industriali, la pila a combustibile è stata sistematicamente studiata dalla United Technologies Corp. nell'ambito del programma TARGET (Team to Advanced Reserch for Gas Energy), usando oltre all'idrogeno anche altri combustibili come ad esempio l'idrazina.

Allo stato attuale le pile a combustibile sono ancora molto costose ma la loro realizzazione è una tappa fondamentale in campo energetico perché aprono la porta alla possibilità di accumulare l'energia elettrica in grande quantità. Infatti con l'energia elettrica in esubero di può scomporre l'acqua in idrogeno e ossigeno e con le celle a combustibile si possono ricomporre i due elementi in acqua calda ed elettricità.

Il progetto dell'auto mossa da un motore elettrico alimentato da una pila a combustibile, parte con una grossa ipoteca.

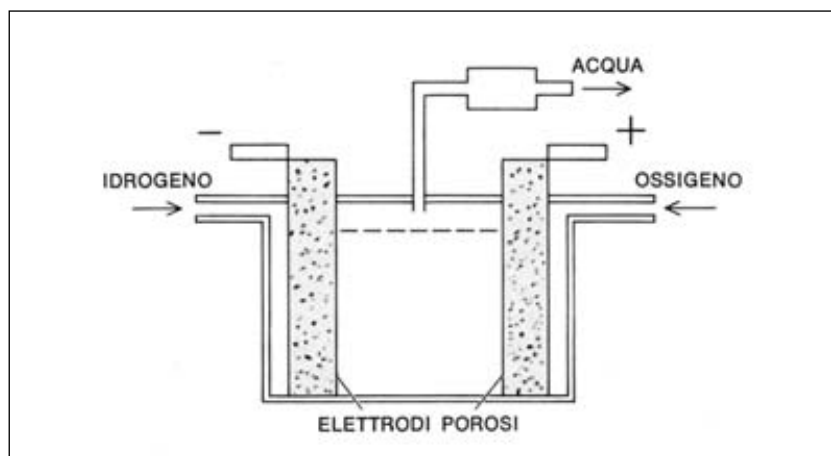


Figura 48 – Pila a combustibile.

Il costo della pila è tuttora un ostacolo difficile da rimuovere perché il platino sembra essere l'unico metallo adeguato per costituire l'anodo sul quale si ossida l'idrogeno. Inoltre la pila funziona in condizioni particolari di pressione e di temperatura (150° e oltre) che presuppongono una messa a regime non compatibile con la flessibilità richiesta a un veicolo che deve fermarsi e ripartire a discrezione del guidatore.

L'unico punto a suo favore è l'elevato rendimento che la rende tre volte più efficiente di un motore a scoppio.

Negli anni ottanta la DAF realizzò un'auto funzionante con tre pile a combustibile, alimentandole con l'idrazina, un liquido simile all'ammoniaca, ma con un maggior contenuto di idrogeno. Le pile erano state abbinate a una batteria di accumulatori al piombo che integravano le prestazioni delle pile fornendogli quelle doti di flessibilità e di accelerazione che mancano a questi generatori di corrente.

Non si hanno altri dati circa le sue caratteristiche, ma è significativo il fatto che a più di vent'anni dalla sua presentazione quell'auto è rimasta allo stato di prototipo.

È invece recente la presentazione di un autobus che funziona a pila di combustibile. Il suo prezzo è stato taciuto e tutto lascia pensare che l'omissione non sia casuale.

Questa nuova proposta lascia molto perplessi, perché nel settore degli autobus c'è un'alternativa molto più razionale e soprattutto molto meno costosa: il filobus.

Questo mezzo di trasporto pubblico era in auge quando la produzione di elettricità in Italia era principalmente di origine idroelettrica.

Negli anni cinquanta, con il passaggio della produzione al petrolio, suggerito dal basso costo del combustibile fossile, il filobus venne quasi ovunque sostituito dagli autobus a gasolio perché un semplice calcolo dei rendimenti indicava che si consumava meno combustibile bruciandolo direttamente nel motore di un autobus piuttosto che in una centrale elettrica. Ma allora il problema dell'inquinamento non esisteva.

Oggi la situazione è completamente cambiata. L'inquinamento ha raggiunto livelli intollerabili, il petrolio è diventato carissimo e con tutta probabilità nell'immediato futuro verrà sostituito dal carbone per produrre elettricità.

Gli autobus a gasolio dovranno essere sostituiti entro breve termine ed è più realistico che lo siano con i filobus piuttosto che con mezzi funzionanti a pila di combustibile che sono molto più costosi.

Di prototipi di auto con motore a scoppio alimentato a idrogeno ne esistono diversi esempi. L'ultimo è quello realizzato dai tedeschi che hanno stivato l'idrogeno a bordo del veicolo allo stato liquido.

Lo stivaggio dell'idrogeno è il problema di più difficile soluzione, per la trazione automobilistica. Infatti allo stato gassoso questo combustibile ha un potere calorico che è solo un terzo di quello del metano o del propano. Perciò se lo si comprime in bombole, occorre triplicarne il numero per avere lo stesso contenuto energetico e usare un motore che giri più velocemente o che abbia una cilindrata maggiore per avere prestazioni analoghe a quelle di un'auto funzionante coi combustibili tradizionali.

L'idea di stivare l'idrogeno sotto forma di idruro di ferro o di magnesio per poi scomporre il composto col calore, non sembra praticabile, perché il primo richiede una temperatura di scomposizione relativamente modesta di 100°, ma è troppo pesante mentre il secondo è più leggero, ma richiede una temperatura più problematica di 300°. Ecco dunque l'idea dei tedeschi di stivarlo allo stato liquido.

L'esperimento merita la massima attenzione perché l'auto che hanno realizzato non emette anidride carbonica e ha un'autonomia adeguata.

Resta invece qualche perplessità l'utilizzo di un motore a combustione interna, dove si formano anche ossidi di azoto che sono non meno nocivi di quelli del carbonio, e l'impiego dell'idrogeno liquido.

Liquefare l'idrogeno non è cosa facile. Bisogna portarlo a una temperatura inferiore a meno 240°, usando l'azoto liquido come refrigerante e conservarlo in uno speciale serbatoio di vetro a doppia parete nella cui intercapedine si è praticato il vuoto. Per evitare che il contenitore esploda, la sua chiusura non deve essere ermetica, ma provvista di uno sfogo che lasci fuoriuscire le essudazioni del liquido, perché l'isolamento del serbatoio, per quanto spinto, non è mai perfetto. Ciò significa che il combustibile liquido va usato subito, soluzione che va bene per i razzi, ma non per un veicolo che può restare in sosta anche per lungo tempo.

Ipotizzare un futuro con tante autobotti speciali che riforniscono di idrogeno liquido le stazioni di servizio, è poco realistico perché un combustibile siffatto non è né stabile né facilmente maneggevole.

Un motore a combustione esterna e un derivato liquido dell'idrogeno stabile a temperatura ambiente (idrazina?) potrebbe essere la carta vincente per l'auto di domani.

Il motore ad aria calda

Lo scenario che si apre sul futuro dell'automobile non è dei più rosei. La marmitta catalitica è solo un espediente che aumenta del 5% il costo del veicolo e non va alla radice del problema.

Anche il motore Diesel, al quale con un impegno tecnologico non indifferente, è stata data quella elasticità richiesta dall'automobile, è sulla lista nera dei maggiori responsabili dell'inquinamento atmosferico.

Forse è finalmente arrivato il momento del motore ad aria calda. La storia di questo motore è singolare. Fu inventato nel 1816 dal giovane reverendo presbiteriano Robert Stirling della chiesa di Kilmarnock in Scozia.

Nella sua forma più semplice lo si può descrivere come costituito da due cilindri intercomunicanti posti a 90° l'uno dall'altro entro i quali scorrono due pistoni calettati con le loro bielle sulla stessa manovella.

Un cilindro viene riscaldato con un bruciatore, mentre l'altro viene raffreddato. Il diagramma mostra che con la rotazione della manovella e il rispettivo movimento sfasato dei due pistoni, il fluido in essi contenuti si comprime nella parte fredda, poi si trasferisce nella parte calda dove assorbe calore e si dilata fornendo la spinta propulsiva (Fig. 49).

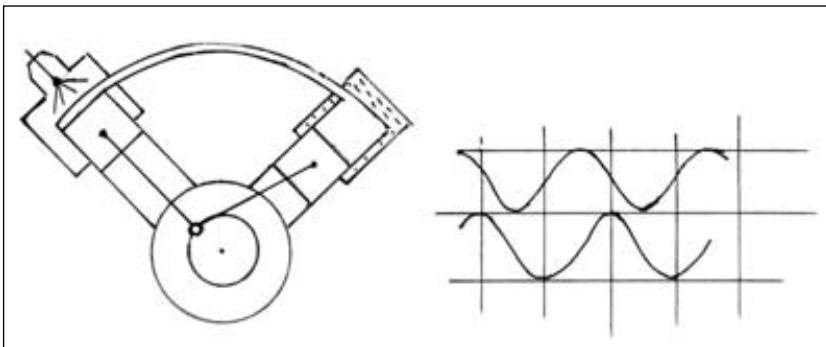


Figura 49 – Schema del motore ad aria calda.

A differenza del motore a combustione interna nel quale il combustibile brucia all'interno dei cilindri, il motore Stirling riceve il calore fornito dal bruciatore attraverso le pareti del cilindro ed è quindi classificabile come un motore a combustione esterna. Il gas di lavoro resta permanentemente all'interno del motore e sopporta una serie continua di riscaldamenti e di raffreddamenti che provocano le cicliche compressioni ed espansioni necessarie per produrre lavoro meccanico

Concettualmente è molto interessante perché più di ogni altro motore termico si avvicina a quel ciclo ideale che Carnot teorizzò nel 1824 per ottenere il massimo rendimento.

Il primo motore di Stirling forniva una potenza di circa due cavalli e i due pistoni, quello di potenza e quello di trasferimento si muovevano nello stesso cilindro, soluzione che consentiva di ridurre il volume del motore e di aumentare il rapporto di compressione.

All'epoca in cui nacque trovò un ostacolo nel suo sviluppo per la mancanza di materiali con la necessaria resistenza meccanica alla corrosione ad alta temperatura e per la scarsa conoscenza delle tecnologie adatte alla tenuta dei gas.

Inoltre trovò un temibile concorrente nel motore a vapore di Watt, che aveva un rendimento molto inferiore, ma il grande vantaggio di poter esprimere tutta la sua potenza con partenza da fermo. Non va infatti dimenticato che all'epoca la frizione non esisteva ancora e motori come quello di Stirling la cui potenza era data dal numero di giri trovavano applicazione sono in impieghi che richiedevano potenze modeste.

Al museo della Scienza di Londra sono esposti alcuni motori Stirling funzionanti a carbone, risalenti alla seconda metà dell'ottocento, costruiti per azionare piccole pompe.

A cavallo fra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento nacque il motore a combustione interna, la cui messa a punto fu dovuta soprattutto alla genialità di due tecnici tedeschi, Daimler e Benz. Il rapporto peso potenza del nuovo motore era decisamente migliore di quello di Stirling che divenne così un pezzo da museo. Da lì venne riesumato cinquant'anni dopo dalla Philips olandese, quando la crisi di Suez fece temere all'Europa di dover rinunciare all'automobile. Occorreva un motore che potesse fare a meno del petrolio e quello di Stirling sembrava fornire la risposta giusta.

La società olandese mise a punto un progetto che poneva la massima enfasi sulla necessità di trasferire al fluido operante all'interno del cilindro la maggior quantità possibile di calore, al fine di elevare il rap-

porto peso potenza allo stesso livello del motore a combustione interna. Come fluido operatore venne adottato l'idrogeno per la sua elevata conducibilità termica.

Il grande vantaggio di questo motore era che poteva funzionare con qualunque tipo di combustibile. Abbiamo visto che può funzionare anche col calore solare. A questo proposito possiamo aggiungere che un motore siffatto alimentato dal calore di uno specchio parabolico avente un diametro di 2,5 m, può produrre nell'arco della giornata i 5-6 kW di potenza necessari ai consumi di una famiglia media.

Il motore della Philips aveva anche il vantaggio di non produrre i gas tossici tipici del motore a combustione interna. Ma all'epoca questo secondo aspetto venne sottovalutato perché l'inquinamento non aveva ancora raggiunto i livelli attuali.

Nemmeno allora il motore di Stirling riuscì a scalzare quello a combustione interna, perché la crisi di Suez venne superata e il petrolio ricominciò a fluire verso l'Europa.

Oggi il mondo si trova a fronteggiare una crisi molto più grave, perché non è la carenza di combustibile che lo angustia ma l'inquinamento che esso produce e che induce sempre più spesso le autorità a prendere provvedimenti antipopolari per limitare il traffico automobilistico.

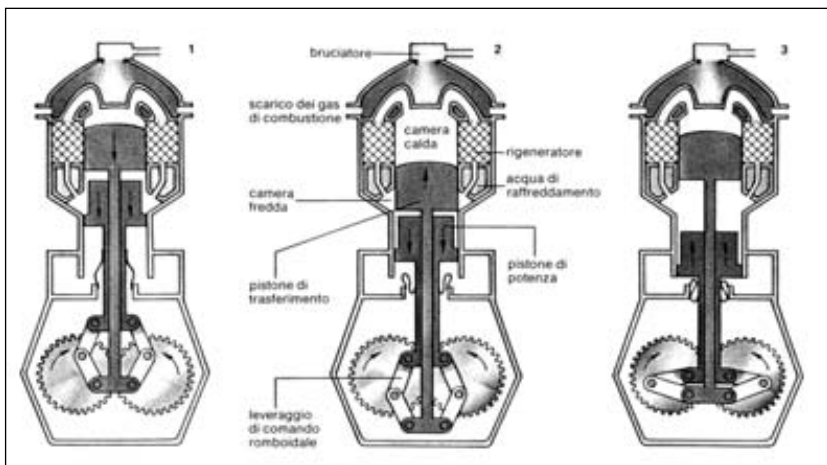


Figura 50 – Motore di Stirling nella versione monocilindrica elaborata della Philips negli anni Cinquanta.

Forse è finalmente arrivato il momento della grande rivincita del motore di Stirling. A centonovanta anni dalla sua invenzione si scopre che per essere il motore di domani ha ottime credenziali.

La tecnologia di oggi consente di conferirgli una forma meccanica più semplice di quella proposta dalla Philips e un rapporto di compressione più spinto. Non è escluso che in questa veste possa avere un rendimento doppio di quello del motore a scoppio e che a un costo molto più contenuto di quello della pila a combustibile, possa dare dignità di sostituti della benzina a prodotti come l'idrazina o l'alcol metilico

Inoltre la sua peculiarità potrebbe renderlo il motore ideale per realizzare delle piccole centrali elettriche distribuite su tutto il territorio che traggono energia termica da biomasse. Sono questi tutti gli scarti delle produzioni agricole, della potatura degli alberi o più semplicemente del fogliame che il mondo vegetale produce ogni anno e che bruciando possono dare un contributo energetico più cospicuo di quanto si possa immaginare.

L'anidride carbonica

È il primo nome sulla lista nera dei responsabili che inquinano l'atmosfera perché aumentando la sua concentrazione nell'aria, determina un aumento della temperatura di questa con conseguenze molto pesanti sull'equilibrio delle terre e dei mari. I ghiacciai si sciolgono, le calotte polari si riducono, il livello dei mari aumenta e intere regioni possono venire cancellate dalle carte geografiche.

Chimicamente è un biossido di carbonio che si forma durante la combustione, quando cioè il carbonio si unisce con l'ossigeno.

Fu scoperto nel 1648 da Van Helmond, ma la sua vera natura fu descritta nel 1776 dal chimico francese Lavoisier che dimostrò come poteva formarsi.

È un gas incolore di odore pungente ma non sgradevole che si trova nell'aria in proporzione dello 0,03%. È più pesante dell'aria e può ristagnare nelle depressioni. Liquefa per compressione a 36 atmosfere e 0°. In commercio si trova liquido in bombole. Facendolo espandere si ottiene un solido bianco detto ghiaccio secco che viene usato per la conservazione durante il trasporto di cibi speciali come i gelati.

Il biossido di carbonio è abbastanza solubile in acqua. Questa a 15° ne assorbe un quantitativo pari al suo volume. Quantità maggiori si possono disciogliere nell'acqua o nelle bibite insufflandolo a pressione per ottenere l'acqua di selz o le bevande gasate. Viene usato anche nell'industria dello zucchero, della soda, della biacca e come refrigerante in alcuni tipi di reattori nucleari per la sua inerzia chimica e il suo basso costo.

In natura viene continuamente riciclato con un processo che garantisce un perfetto equilibrio dei componenti. Infatti quello prodotto per via naturale dalla respirazione di tutti gli essere viventi, animali e vegetali, viene assorbito dalla vegetazione dove la clorofilla attivata dalla luce solare lo combina con l'acqua per formare la cellulosa, e i carboidrati.

Bruciando legna si produce biossido di carbonio ma non si inquina, perché non si fa altro che restituire all'aria l'anidride carbonica che la pianta ha assorbito per produrre quella legna. Ma ciò che noi bruciamo

nelle centrali termoelettriche, negli impianti di riscaldamento, nelle industrie e negli autoveicoli non è legna bensì combustibile fossile, col risultato di riversare nell'atmosfera una quantità di anidride carbonica che prima non c'era. E non si tratta di cosa di poco conto ma di miliardi di tonnellate.

Si è calcolato che se la sua concentrazione raddoppiasse, la temperatura media globale della superficie terrestre salirebbe di quasi 3°, provocando un rapido e totale scioglimento dei ghiacciai continentali e l'assottigliamento delle calotte glaciali, con conseguenze disastrose.

Dopo aver patrocinato la nascita di vari comitati di studio, nel 1990 l'ONU organizzò una prima conferenza a Rio de Janeiro nel 1992 sulla protezione del clima e propose un nuovo modello di sviluppo sostenibile che caldeggiava il contenimento delle emissioni di biossido di carbonio, senza peraltro imporre scadenze temporali vincolanti né modalità di attuazione dei paesi firmatari, ma delegando la responsabilità ai singoli governi nazionali. Insomma un decalogo delle belle intenzioni che lascia tutto come prima.

Più incisiva la già citata conferenza di Kyoto del 1997 che fissava dei limiti e delle scadenze attuative alle emissioni di anidride carbonica.

Resta da vedere se i vari governi sapranno adottare drastici provvedimenti che possono frenare lo sviluppo e sacrificare posti di lavoro.

Più concreta, almeno in linea teorica, la proposta del mondo scientifico di pompare gli scarichi delle centrali termoelettriche nelle profondità dei laghi dove l'anidride carbonica si combinerebbe con l'acqua. Infatti come abbiamo visto in particolari condizioni di pressione e di temperatura l'anidride carbonica si scioglie nell'acqua o meglio reagisce con essa formando l'acido carbonico, un composto instabile che a pressione ordinaria si dissocia nuovamente nei suoi componenti.

La proposta è interessante, ma difficilmente attuabile perché laghi e mari non sono ovunque presenti in prossimità delle centrali termiche, e pompare i gas di scarico nelle loro profondità comporterebbe un notevole impiego di energia e un costo enorme in termini di impianti e di gestione.

Meglio studiare la possibilità di altri impieghi oltre a quello delle bevande gasate, per trasformare grandi quantità di anidride carbonica da prodotto di scarto a un prodotto commerciabile.

Isolarla oggi dall'azoto dei gas di scarico delle centrali o dall'idrogeno ottenuto dal carbone o dal metano per la sintesi dell'ammoniaca,

è più facile di quanto lo fosse in passato, quando occorrevo grandi quantità di acqua per discioglierla. Vengono usate la mono e la dietanilamina che hanno la proprietà di reagire a freddo con l'anidride carbonica fissandola come carbonato. L'ammina viene poi recuperata perché riscaldando moderatamente il carbonato, l'anidride carbonica si libera e si ripristina il reagente di partenza.

Il settore dove l'anidride carbonica potrebbe essere impiegata in maniera rilevante è l'edilizia. Qui sono ormai di uso comune i prodotti espansi che hanno proprietà isolanti nei confronti del calore. L'uso di questi isolanti abbassa i costi di riscaldamento durante l'inverno e di condizionamento durante l'estate. Indirettamente contribuisce anche a una riduzione dell'inquinamento, perché le case ben coibentate richiedono un minor impiego di combustibili per riscaldarle.

Si può ipotizzare l'impiego dell'anidride carbonica come agente espandente per fare pannelli isolanti o intere tamponature da assemblare poi con cemento armato in strutture portanti.

La tecnologia e le macchine potrebbero essere quelle impiegate per i poliuretani: un impasto colato in uno stampo, costituito da gesso, acqua addizionata con anidride carbonica e un tensioattivo, preventivamente mescolati con una macchina che a pressione mette in contatto da un lato il gesso in polvere e dall'altro l'acqua con i due additivi.

L'anidride carbonica o per sua stessa pressione o perché lo stampo è riscaldato, si espande e fa crescere l'impasto fino a che questo riempie completamente il contenitore assumendone la forma.

Qualche minuto dopo il gesso che ha assunto una struttura porosa, si indurisce e il pannello può essere estratto dallo stampo.

Questo in sintesi il concetto di un nuovo modo di costruire le case che potrebbe rivoluzionare l'edilizia e richiedere enormi quantità di anidride carbonica.

Ciò che muove il mondo non sono le normative penalizzanti e restrittive, bensì gli interessi economici e le occasioni di profitti.

Meglio proporre nuovi sbocchi commerciali piuttosto che astratti modelli di sviluppo sostenibile.

Quale futuro?

Negli anni cinquanta del secolo appena trascorso, un settimanale di grande tiratura pubblicò la descrizione fatta nel 1900 da un periodico illustrato su come sarebbe stato il mondo cinquant'anni dopo.

L'ignoto giornalista aveva previsto il grande sviluppo dell'elettricità, mentre si era completamente sbagliato circa il futuro dei trasporti perché affidava un ruolo chiave alla bicicletta ma non all'automobile che non si pensava ancora potesse sostituire il cavallo, e tanto meno all'aeroplano che non si era ancora alzato in volo. Il primo velivolo a motore, il Flyer I dei fratelli Wright si sarebbe staccato da terra solo tre anni dopo.

La cosa più singolare era che non aveva saputo immaginare alcun cambiamento nel modo di vestire della gente.

Quell'errato scenario futuristico lascia capire quanto sia difficile prevedere come sarà il mondo fra cinquant'anni. Sicuramente possiamo dire che non saremo vestiti come oggi perché non c'è limite alla fantasia dei sarti. Probabilmente indosseremo leggerissime tute unisex, climatizzate, sormontate da una calotta sferica trasparente, dotata di filtri per depurare l'aria. Ma quello che ci interessa qui capire è come sarà il mondo energetico fra mezzo secolo.

Due dati ce li abbiamo già: la disponibilità di petrolio e gas naturale sarà un quarto di quella attuale e la popolazione del pianeta, a meno di catastrofiche epidemie o di un conflitto atomico globale, ammonterà a più di nove miliardi di uomini. Con questa prospettiva le previsioni su come sarà il mondo fra cinquant'anni, non possono essere molto ottimistiche.

Già oggi 850 milioni di persone vivono sotto la soglia della povertà con meno di un dollaro al giorno, e i debiti dei paesi cosiddetti emergenti non lasciano adito alla speranza che le cose possano migliorare. Quando saremo molti di più, il numero delle persone che non disporranno di cibo a sufficienza, sarà almeno raddoppiato. Nel nostro futuro energetico perciò il problema più grande non sarà la carenza di combustibile ma quella di cibo.

Masse affamate sempre più numerose si affacceranno alle nostre frontiere e cercheranno di entrare.

Si prospetta una situazione simile a quella che portò al crollo dell'impero romano, quando i barbari riuscirono a varcare i suoi confini, e misero la parola fine su una civiltà durata mille anni. Allora era venuto a mancare il motore che per dieci secoli aveva portato linfa vitale allo Stato con le sue conquiste: l'invincibile esercito romano.

Una moltitudine di disperati entrerà e metterà in pericolo non solo il nostro benessere, ma anche le nostre istituzioni. Per garantire la sicurezza, saranno necessarie draconiane leggi dittatoriali., o il ritorno al feudo dove ciascuno dovrà difendersi da solo.

Per quanto riguarda i combustibili, il grande interrogativo è la fusione nucleare che nella migliore delle ipotesi, potrebbe diventare operativa fra una trentina di anni. Nel frattempo dovremo trovare un'alternativa per riempire il buco energetico che diventerà sempre più grande di pari passo che decrescerà la disponibilità di petrolio e di metano.

Gli organi competenti e gli ecologisti cercano di tranquillizzare l'opinione pubblica parlando di fonti energetiche rinnovabili e pulite che, nel rispetto dell'ambiente e della salute, potranno sostituire i combustibili fossili. Sono dichiarazioni più politiche che realistiche perché non tengono conto di un dato fondamentale: la dimensione del problema. La quantità di combustibili consumata annualmente dalla civiltà tecnologica è semplicemente colossale. In Italia ogni giorno consumiamo 380 milioni di metri cubi di metano e 1,3 milioni di barili di petrolio.

L'unica fonte ecologica che avrebbe, in linea teorica, i numeri per fronteggiare questi consumi, è l'energia solare. Ma è anche quella che fino a oggi ha dato i risultati più deludenti: solo pannelli solari per scaldare l'acqua a uso domestico e piccoli pannelli fotovoltaici la cui superficie fotosensibile costa dagli 8.000 ai 10.000 euro per ogni chilowatt erogato.

Prospettive leggermente migliori le fornisce l'uso indiretto dell'energia solare.

Il vento è oggi competitivo e un suo sfruttamento sistematico con giganteschi aeromotori, può contribuire al fabbisogno energetico nazionale nella misura del 2 o del 3 per cento. Percentuale grosso modo uguale ci si può aspettare delle potenzialità ancora sfruttabili dell'energia idraulica.

Per le biomasse e i biocombustibili non abbiamo lo spazio sufficiente. Dobbiamo convivere in 57 milioni su uno spazio di 301.000 km² con

una densità media di 187 abitanti/km². Ciò significa che disponiamo di poco più di mezzo ettaro per persona di cui solo la metà è coltivabile. Non è sufficiente nemmeno per soddisfare il nostro stomaco. Abbiamo un deficit alimentare del 15%.

Allo stato attuale delle conoscenze le uniche fonti energetiche alternative agli idrocarburi, sono il carbone e la fissione nucleare. Il primo è il combustibile che bruciando produce la maggior quantità di anidride carbonica. La seconda produce scorie radioattive per le quali l'unica soluzione possibile è quella di sotterrarle in siti geologicamente stabili. Sono inconvenienti non trascurabili, ma non abbiamo altre possibilità. Per limitarli c'è un solo modo: il risparmio energetico. Dobbiamo consumare meno consumando meglio.

Fino a oggi abbiamo vissuto con sprechi incredibili perché abbiamo utilizzato modelli energetici impostati quando il petrolio costava tre dollari a barile.

Nel corso dei prossimi cinquant'anni dovremo migliorarne i rendimenti, al fine di ottenere gli stessi risultati consumando sempre meno energia. Resta il fatto che sarà un'epoca di transizione perché i combustibili fossili sono comunque destinati a finire.

Cercare di vedere oltre il 2050 è un esercizio puramente teorico. Ai nostri pronipoti spetterà forse l'arduo compito di una trasformazione radicale della società nella quale ciascuno dovrà diventare il produttore del proprio fabbisogno energetico. L'unica cosa che possiamo fare per loro è impegnarci a lasciargli un mondo non più sporco di come l'abbiamo trovato.

Bibliografia

- Amico M., *Petrolio e Gas Naturale*, Hoepli.
- Armstrong K., *A short history*, The Modern Library.
- Barber B., *Guerra santa contro il mondo*, Pratiche 1995.
- Brooks G.L., *The standardised Candu 600*, Atomic Energy Canada.
- Bulbo P., *Elettricità da celle fotovoltaiche*, Delfino.
- Clark W., *Energy for survival*, Delfino.
- Capetti A., *Motori termici*, UTET.
- Facca, *Recent development of geothermal energy*, Wilshire Build, Los Angeles.
- Giacosa D., *Motori endotermici*, Hoepli.
- Gerbella L., *Arte mineraria*, Hoepli.
- Gould R.W., *Progress in controlled thermonuclear resources World survey of major facilities in controlled fusion*, Gen. Advisor Committee Atomic Energy Agency.
- Gough W., *Why fusion?*, Texas Technology University.
- Genelli E., *Economia e tutela dell'ambiente*, il Mulino.
- Gross E., *Efficiency of the thermoelectric devices*, American Journal of Phisic, n. 29.
- Hoffmann P., *Tomorrows energy. Hydrogen. Fuel cells and the prospect for a cleaner planet*, The Mit Press Book.
- Ippolito F., *Geologia delle fonti energetiche*, Industria Mineraria.
- ISES, *Vento per l'energia*, Le Monnier.
- Landsberg H., *National resources for US growth*, Resources for the Future.
- Lowry H.H., *Chemistry for coal utilisation. Evaluation of coals gas gasification technology*, J. Wiley & Sons, Office of Coal Research of the US Department.
- Odum H., *Environment, Power and Society*, Wiley Interscience.
- Prottey e Cusin, *Guida all'energia solare*, Mediterraneo.
- Querques A., *Accumulatori elettrici acidi e alcalini*, Hoepli.
- Robotti A.C., *Impiego dell'energia solare*, UTET.
- Rifkin J., *Economia all'idrogeno*, Mondadori.

- Sokolov V.A., *Process of formation and migration of oil and gas*, Izdatelsvo "Nedra".
- Singer S.F., *Global effects of environmental pollution*, Reidel Publ. Company.
- Solari C., *Macchine elettriche*, Hoepli.
- Thompson T.G., *The technology of nuclear reactor safety*, The Mit Press Book.
- USAEC, *The nuclear industry*, US Government Printing Office.
- UNESCO, *Geothermal energy*, Earth Science, n. 12.
- Victor D., *The collapse of the Kyoto protocol*, Princeton university press.
- Zorzoli G.B., *Il dilemma energetico*, Feltrinelli.
- , *Piccole centrali idroelettriche*, Delfino.

1. François Sedgo, *Mon livret SIDA*
2. François Sedgo, *Sida. Prévention, éducation, solidarité. Approches pastorales*
3. Pietro Omodeo, *Biologia con rabbia e con amore*
4. George F.R. Ellis, *Prima del principio*
5. Angelo Paoluzi, *Appunti pratici di giornalismo scritto*
6. Ino Anod, *Andreotti e la mafia. Sei lettere aperte al Procuratore della Repubblica di Palermo*
7. Ermanno D'Onofrio, *Giovani e tempo libero. Una ricerca nel comune di Frosinone*
8. Riccardo Alicino, *Roma dalle righe del Nuovo Testamento al Duemila*
9. Associazione "Insieme per gli altri" (a cura di), *Tempi di Bosnia*
10. Pietro Omodeo, *Gli abissi del tempo. Saggi*
11. Sergio Nazzaro, *Qualcosa di sconosciuto. La poesia di György Petri*
12. Maria Serena Patriarca, *Sotto a chi sbrocca. Cronache di ordinario delirio di una giornalista di gossip e mondanità*
13. Maria Lucignano Marchegiani, *Voci poetiche, figure animate. Scritti di letteratura e teatro*
14. Anna Maria Scalabrino, *Glicemia, specchio della mente*
15. Libero Bigiaretti, *Profili al tratto*
16. Maria Gabriella de Simone, *L'emozione della vita. Racconti e confronti*
17. Federico Giannone, *La comunicazione pubblica nella Sanità. Una sfida per il miglioramento dei servizi*
18. Paola Natalicchio (a cura di), *La gabbia dell'orgoglio. Risposta a Oriana Fallaci*
19. Fabio Masotti (a cura di), *Le guerre del XX secolo e le violenze contro i civili*
20. Rosa Corrado, *Orazio Vecchi musicista-poeta. Le Canzonette a 4 voci*
21. Piero Bottali, *Sirrush, il drago di Babilonia. Ipotesi sulla presenza di dinosauri nella Mesopotamia sumero-babilonese*
22. Maria Gabriella de Simone, *Viaggio nel mondo del puerperio. Mamma e papà tra consapevolezza ed emozione*
23. Maria Gabriella de Simone, *La qualità e tutela della vita: mamme, papà ed esperti*
24. Denis Diderot, *Pensieri sull'interpretazione della natura ai giovani che si dispongono allo studio della filosofia naturale*. A cura del GAMADI (Gruppo Atei Materialisti Dialettici)
25. 1 Franco Pratesi, *Eurogo*. Volume 1. *Part 1: Go in Europe until 1920; Part 4: Go in Europe 1920-1950*
- 2 Franco Pratesi, *Eurogo*. Volume 2. *Part 3: Go in Europe 1949-1958; Part 4: Go in Europe 1959-1968*
- 3 Franco Pratesi, *Eurogo*. Volume 3. *Part 5: Go in Europe 1968-1978; Part 6: Go in Europe 1979-1988*
26. GAMADI (Gruppo Atei Materialisti Dialettici), *Materialismo dialettico e conoscenza della natura*
27. Davide Ambrogio, *Il virtuosismo violinistico di Nicolò Paganini. Ipotesi di un metodo tra mito e realtà*
28. Francesco Scoditti, *Figure musicali. Incontri con musicisti: da Palestrina a Berio*
29. Luigi Galieti, *Episodi storici lanuvini-veliterni. Repubblica Romana 1798-99. Parte II. Epilogo*
30. Luca Attenni, Daniele F. Maras, *Osservazioni sulla fase arcaica e repubblicana del Santuario di Giunone Sospita e sul più antico alfabetario latino*. Conferenza nel 30° anniversario del gemellaggio tra Lanuvio e Centuripe
31. Archivio di storia della Chiesa nel Rione Monti
 - 1 Francesco Pifferi (attr.), *Storia dell'origine e primi miracoli della Madonna dei Monti in Roma (1583)*. A cura di Federico Corrubolo
 - 2 Francesco Rovira Bonet, *Historia del risarcimento della chiesa parrocchiale di San Salvatore e Pantaleo a Monti descritta l'anno 1763*. A cura di Federico Corrubolo
 - 3 Federico Corrubolo, *La Chiesa di Santa Maria ai Monti. Guida essenziale*
32. Fiction TV
 - 1 Barbara Maio, *Buffy: The Vampire Slayer*
 - 2 Doriana Comandè, *Dark Angel*
33. Adolfo Sassi, *Il vento di Cracovia. Papa Wojtyła: un papa per l'umanità*
34. Francesco M. Chiancone, *Curarsi con le piante nel Cinquecento*

35. Giuseppe Chinnici, Federico Giannone, Giuseppe Salvati, *Comunicare la Sanità per renderla a misura d'uomo. Guida alla comunicazione nella sanità pubblica e privata*
36. Innocenzo Alfano, *Fra tradizione colta e popular music: il caso del rock progressivo. Introduzione al genere che sfidò la forma canzone*
37. Incontri culturali di storia antica
1 Mariano Malavolta, Tiziana Capriotti, *Le antichità di Cossignano nel Piceno*
38. Fabio Troncarelli, *Il pane degli angeli. Storia, cinema, psicoanalisi in cerca di una saggezza possibile*
39. Franco Pratesi, *Itago. Panoramica storica del Go italiano*
40. Susanna Casubolo, Anella Rizzo, *Autobiografia e musicoterapia come supporto nell'assistenza dei malati di Alzheimer*
41. Luigi Galieti, *Gli antichi ospedali della diocesi di Albano: Albano, Civita Lavinia, Genzano, Marino, Nemi, Nettuno. Con cenni sugli ospedali medioevali di Velletri e curiosità sull'assistenza sanitaria nei Castelli Romani e nell'Agro Romano. Con documenti*
42. Enzo Tonti, *Il piacere di insegnare*
43. Maria Moscardelli, *La coperta abruzzese. Il filo della vita di Ignazio Silone*
44. Anna Bisceglie, Maria Letizia Bosnjak (a cura di), *Curiosando nel nostro passato*
45. Quintino Venditti, *Maria Corredentrice, Signora della Trinità. Lettere ad Avi Maria Silvia sulla Donna della Trinità*
46. Alberto Sabatini, *Pizzoli, paese dell'anima. In allegato: Fra Salvatore da Pizzoli. Un martire abruzzese nell'Armenia Minore*
47. Fabio Margutti, *Il biliardo universale (Il biliardo fisico-geometrico, I punti oscuri dell'angolo 50, Il sistema Margutti, Il sistema delle biglie di prima, La teoria dei punti di palla, Il sistema degli sfacci e dei raddrizzi, Il sistema D'Anzi)*
48. Vanna Araldi, *Il futuro che accade del digitale terrestre. Virtù autentiche ed esibite della nuova storia della tv*
49. Adolfo Sassi, *Le lingue e papa Wojtyła*
50. Adolfo Sassi, *Apologia di Karol Wojtyła. CD musicale in abbonamento editoriale: Sei la stella che splende. Testi di Adolfo Sassi tratti da Elegie per un Grande. Karol Wojtyła: un Papa per l'umanità; musiche e arrangiamenti: Giampiero Ferrante; interprete: Mariangela Ruggiero*
51. Oscar Bettelli, *Il punto di vista*
52. Maurizio Ponz de Leon, *Nel regno degli Incas. Viaggio in Perù*
53. Adolfo Sassi, *L'Europa e il genio europeo. Da Wojtyła a Ratzinger*
54. Salvatore Rapicano, *Sanctus Ianuarius. Il santo che vive*
55. Innocenzo Alfano, *Verso un'altra realtà. Cenni di strategia compositiva e organizzazione dei brani nella musica rock, da Jimi Hendrix al rock progressivo*
56. Paolo Giugliano, Alfonso Marino, *Il linguaggio della burocrazia. Dal messo comunale alla firma digitale*
57. Finisterre. Collana di Pubblicazioni della Confraternita di San Jacopo di Compostella (Perugia)
5 Monica D'Atti, *Pellegrini sulla Via Francigena. Guida di spiritualità*
58. Ennio Badolati, *Nuovi aneddoti della scienza*
56. Giorgio Spinozzi, *Il futuro dell'energia*

Finito di stampare nel mese di settembre del 2011
dalla «Ermes. Servizi Editoriali Integrati S.r.l.»
00040 Ariccia (RM) – via Quarto Negroni, 15
per conto della «Aracne editrice S.r.l.» di Roma