

Aspetti dell'ingegneria contemporanea: l'evoluzione degli autoveicoli alternativi.

Gianfranco Rizzo, Raffaele Di Martino
Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Università di Salerno

Sommario

L'articolo presenta, con taglio divulgativo, l'evoluzione dei veicoli "alternativi" alle auto convenzionali. Dopo un breve riepilogo delle caratteristiche dei motori a combustione interna e della loro evoluzione storica, si richiamano i limiti di questa soluzione e le motivazioni che hanno spinto verso la ricerca di strade alternative, ripercorrendone gli sviluppi.

Le recenti evoluzioni dei sistemi di propulsione dei veicoli stradali hanno permesso di migliorare sia le prestazioni che i consumi di combustibile, riducendo drasticamente le emissioni inquinanti allo scarico nel giro di pochi decenni, e con benefici rilevanti in termini di sicurezza e comfort. Tuttavia le crescenti preoccupazioni legate al depauperamento dei combustibili fossili ed all'effetto serra, con le sue pericolose ricadute sul clima del pianeta, rendono evidenti i limiti degli attuali autoveicoli, spingendo in tal modo verso la ricerca di soluzioni alternative. Finora i motori a combustione interna hanno prevalso sui loro possibili competitori principalmente grazie alla maggiore autonomia ed affidabilità, nonché al consolidamento tecnologico raggiunto.

Tra le proposte alternative, particolare rilievo assumono i veicoli elettrici, caratterizzati dall'assenza di emissioni gassose ed acustiche a bordo ma da un'ancora scarsa autonomia. Questo limite può essere superato con i veicoli ibridi, nella cui struttura coesistono un motore termico ed un motore/generatore elettrico. Acquista, inoltre, una maggiore concretezza la possibile integrazione con la fonte solare fotovoltaica, che può contribuire ulteriormente a ridurre consumi ed emissioni. Nel medio/lungo termine, l'utilizzo dell'idrogeno come vettore energetico e delle fuel-cell rappresenta un'alternativa di grande interesse, ma la sua diffusione su larga scala richiede la soluzione dei complessi problemi legati alla produzione ed alla distribuzione dell'idrogeno.

Ma lo studio di possibili alternative alle auto convenzionali non è iniziato di recente: numerosi veicoli elettrici furono costruiti alla fine dell'800, quando apparvero anche alcuni prototipi di veicolo ibrido, mentre i primi studi sulle fuel-cell risalgono addirittura al 1839. E, mentre i primi veicoli solari risalgono agli anni '80, diverse tipologie alternative di motori termici (a turbina, Stirling, Wankel) sono state proposte nel corso del '900, con motivazioni diverse dalle attuali, ma con un successo relativamente scarso.

I veicoli tradizionali: cenni storici

L'auto è stata inventata due secoli fa, e da allora, lo sforzo di inventori e di ricercatori è stato da sempre volto a trovare nuove alternative. La percezione delle sue prospettive di sviluppo era però tutt'altro che ovvia, se già nel 1909 uno scienziato scriveva, sulle autorevoli pagine della rivista "Scientific American" [10] *"...che l'automobile abbia praticamente raggiunto i propri limiti di sviluppo è suggerito dal fatto che nessun cambiamento radicale sia stato introdotto negli ultimi anni..."*, mentre un decennio prima un funzionario dell'ufficio brevetti americano, Charles H. Duell, osservava come *"...tutto quello che poteva essere inventato è stato inventato..."* [9].

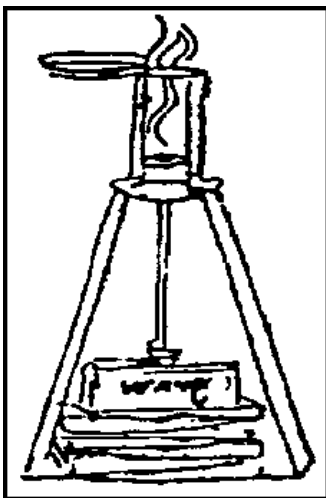


Fig. 1 - Il Motore di Leonardo.

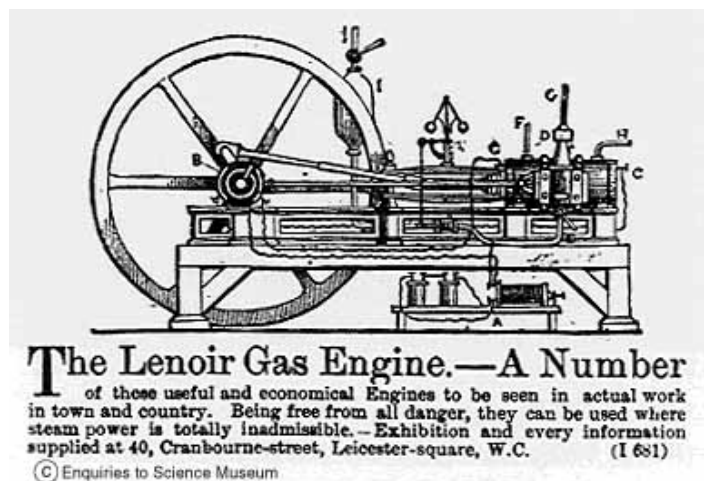


Fig. 2 - Il motore a gas di Lenoir.

Potremmo essere tentati di sorridere davanti a queste affermazioni incaute, ma prima di archiviarle come retaggio di periodi remoti potremmo ricordare come in tempi molto più vicini ai nostri, nel 1943, Thomas Watson, Chairman dell'IBM, prevedeva che il mercato mondiale sarebbe stato in grado di assorbire non più di 5 computer [9], mentre, all'estremo opposto, negli anni '60 Herman Kahn [22], ascoltato consigliere del presidente Eisenhower, preconizzava che *"With current and near current technology, we can support 15 billion people in the world at twenty thousand dollars per capita for a millennium - and that seems to be a very conservative statement."*

La storia degli autoveicoli è strettamente legata a quella del motore a combustione interna, il cui antenato può essere individuato nel motore a polvere da sparo di Leonardo (Fig. 1).

A questo primo prototipo di "motore atmosferico" ne sono seguiti diversi altri (Fig. 2), che nel corso dell'800 raggiunsero un buon livello di sviluppo e diffusione, contribuendo attivamente alla rivoluzione industriale. Questi motori erano però ingombranti e caratterizzati da rendimenti molto bassi.

Una svolta decisiva avvenne con il motore a quattro tempi studiato da Beau de Rochas e realizzato da Otto nel 1876 (Fig. 3), che permise di ridurre gli ingombri e migliorare potenza e rendimento. I motori a combustione interna si affermarono definitivamente nel campo automobilistico nei primi decenni del '900, vincendo una concorrenza agguerrita: basti pensare che il record di velocità per automobili fu battuto nel 1902, con 121 Km/h, da una vettura mossa da motore a vapore, e quindi a combustione esterna (Fig. 4).

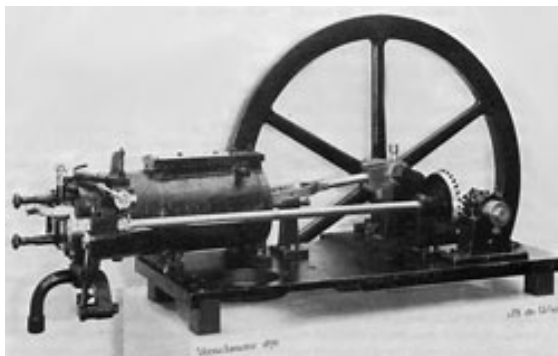


Fig. 3 - Il primo motore a quattro tempi di Nikolaus August Otto (1876)

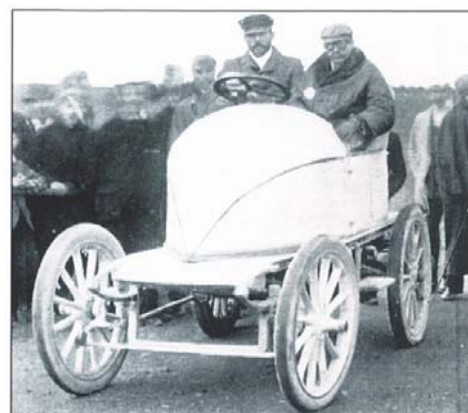


Fig. 4 - Il veicolo a vapore di Serpollet, che nel 1902 batté il record mondiale di velocità a Nizza con 121 Km/h

In estrema sintesi, gli attuali propulsori hanno prevalso rispetto ai loro potenziali concorrenti grazie a:

- buon compromesso tra rapporto potenza-peso ed efficienza;
- alta densità di energia dei combustibili fossili, che assicura una buona autonomia al veicolo;
- basso costo del combustibile (quantomeno, prima della crisi energetica);
- un'ampia e diffusa rete di distribuzione del combustibile;
- *last but not least*, la limitata sensibilità verso i problemi ambientali che ha caratterizzato le società industriali fino almeno agli anni 60 (erano gli anni della teoria della crescita illimitata, seguiti poi dai primi autorevoli allarmi sui possibili limiti allo sviluppo [11]).

Gli sviluppi

In realtà, anche se i principi di funzionamento dei motori sono rimasti sostanzialmente gli stessi, soprattutto a partire dagli anni '70 e sulla spinta delle normative anti-inquinamento e della rivoluzione micro-elettronica, si sono realizzati miglioramenti decisivi in termini di emissioni inquinanti, consumi, sicurezza e comfort.

Nel campo dei motori ad accensione comandata, si è assistito alla graduale scomparsa dei carburatori che, nonostante il notevole livello di complessità raggiunto (Fig. 6), non hanno potuto assicurare livelli di emissioni compatibili con gli standard imposti (Fig. 5) e sono stati sostituiti da sistemi di iniezione elettronica. Anche nel campo dei motori Diesel, i tradizionali sistemi di iniezione meccanica vengono gradualmente sostituiti dai sistemi *Common Rail*, a controllo elettronico. L'entità di questa rivoluzione, che non può essere sintetizzata in poche pagine, è tale da spingere alcuni commentatori a definire il motore automobilistico come *"...un computer con un attuatore meccanico pluricilindrico..."*.

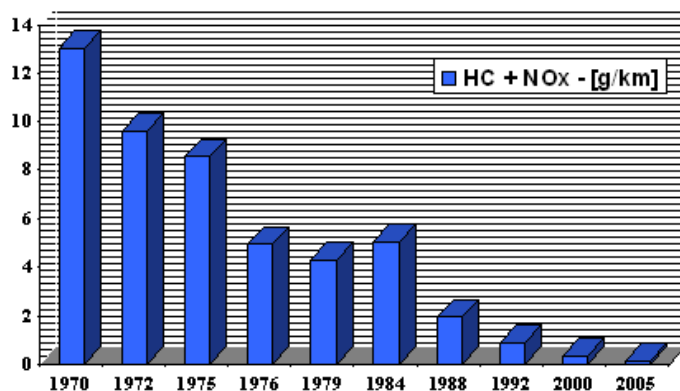


Fig. 5 - I limiti di emissione allo scarico delle autovetture si sono ridotti di oltre due ordini di grandezza, a partire dagli anni '70

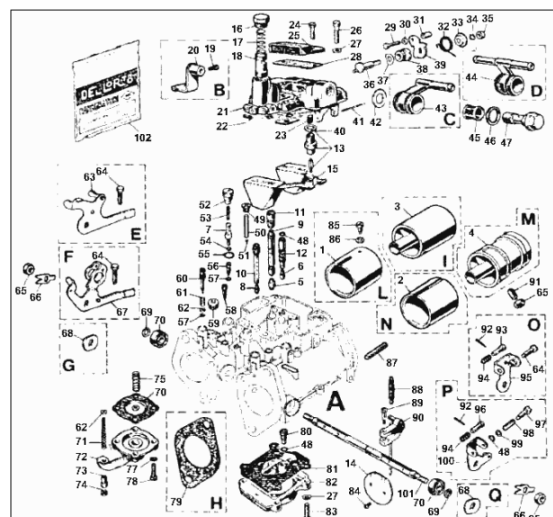


Fig. 6 - Schema costruttivo di un carburatore

I veicoli alternativi

Le esigenze di drastica riduzione delle emissioni di CO₂ hanno però riproposto la ricerca di un'alternativa agli attuali propulsori. In funzione del tipo di motore utilizzato, i sistemi di propulsione possono essere suddivisi in termici, elettrici ed ibridi. Un'altra classificazione può tener conto del vettore energetico utilizzato: combustibili fossili (liquidi o gassosi), bio-combustibili, idrogeno, energia elettrica ottenuta dalla rete, energia solare fotovoltaica, aria compressa.

I propulsori termici

Le principali tipologie alternative di propulsori termici utilizzati per l'autotrazione sono:

- Motore Brayton (turbine a gas): vantaggiosi in termini di rapporto peso/potenza (sono infatti utilizzati come propulsori aeronautici per tale caratteristica), hanno rendimenti più bassi del motore tradizionale, soprattutto in condizioni di carico variabile; richiedono, inoltre, l'uso di materiali costosi. Alcuni prototipi avveniristici di motori a turbina furono costruiti all'inizio degli anni 60, quando l'attenzione dei costruttori e degli utenti era rivolta più alle prestazioni che non ai consumi ed alle emissioni (Fig. 7).
- Motore Rankine (motore a vapore): utilizzati per applicazioni fisse (nelle centrali termoelettriche e nei gruppi cogenerativi), ma poco adatti ad applicazioni mobili per limiti di ingombro, peso e scarsa elasticità di funzionamento.
- Motore Stirling: numerosi i potenziali vantaggi di questi motori, che ricorrono ad un ciclo termodinamico rigenerativo ad alto rendimento, ma i cui ingombri non sono compatibili con applicazioni automobilistiche. I laboratori della Philips Research Labs – leader nello sviluppo del motore Stirling – hanno investito a lungo su questo propulsore, montato sul modello Ford Torino (Fig. 8).
- Motore Wankel: un motore a combustione interna di tipo rotativo, vantaggioso in termini di ingombri e vibrazioni ma penalizzato da consumi ed emissioni maggiori rispetto al propulsore tradizionale, almeno nelle sue prime applicazioni (NSU RO-80). E' attualmente adottato come propulsore della Mazda RX-8.

Questi propulsori, pur di caratteristiche diverse, hanno in comune con gli autoveicoli tradizionali un limite, legato alla conversione dell'energia chimica del combustibile in energia meccanica attraverso un ciclo termodinamico diretto: il rapporto di conversione fra energia termica e meccanica (l'efficienza) è sensibilmente minore dell'unità e nel caso reale in genere non superiore a 0.40, per le limitazioni legate al Secondo Principio della Termodinamica, oltre che alle perdite dovute all'attrito ed agli scostamenti tra il ciclo termodinamico effettivo e quello perfetto (Ciclo di Carnot). Una quota significativa di energia non viene pertanto utilizzata ed è diffusa nell'ambiente, a bassa temperatura [1] [2][5][6]. L'altro limite fondamentale è legato alle modalità di conversione dell'energia chimica del combustibile. In un'auto, questa conversione si ottiene dalla combustione di un combustibile fossile, costituito da una miscela di idrocarburi, contenente carbonio e idrogeno. Questo processo sviluppa biossido di carbonio (CO₂), uno dei responsabili dell'effetto serra e del riscaldamento del globo.

Inoltre, la combustione produce emissioni inquinanti: idrocarburi incombusti, ossidi di azoto, monossido di carbonio (soprattutto nei motori ad accensione comandata) e particolato (soprattutto nei motori Diesel) [6]. I loro effetti sono particolarmente dannosi alle alte concentrazioni che si realizzano nelle aree urbane. Le emissioni, in molti paesi, sono regolate da leggi severe e vengono ridotte (sulle auto) da sistemi di abbattimento di notevole complessità.



Fig. 7 - Il modello "Turboflite" della Chrysler, equipaggiato con turbina a gas (1961)



Fig. 8 - Il modello Ford "Torino", mosso da un motore Stirling

Combustibili alternativi ed idrogeno

Questo quadro può essere in parte modificato, almeno per quanto riguarda le conseguenze sull'effetto serra, dal ricorso a combustibili diversi:

- il metano (CH_4), che ha un minore contenuto di carbonio rispetto ai combustibili liquidi, producendo quindi minori emissioni di CO_2 per unità di energia;
- i bio-combustibili (bio-etanolo, bio-Diesel), il cui ciclo naturale di formazione "assorbirebbe" almeno in parte la CO_2 prodotta dalla combustione;
- l'idrogeno, i cui prodotti di combustione non contengono CO_2 .

Ovviamente, poiché l'idrogeno non è reperibile come tale in natura e deve essere prodotto a partire da altre fonti energetiche, un'analisi completa non può prescindere dal processo di conversione a monte (analisi "Well to Wheel" [40]), che comporta perdite energetiche e produzione di CO_2 , a meno che non avvenga attraverso il ricorso a fonti rinnovabili.

Fuel-cell

Più che al suo utilizzo come combustibile nei motori endotermici, l'idrogeno, caratterizzato da elevata densità di energia, ha negli ultimi anni suscitato notevole interesse per la trasformazione diretta della sua energia chimica in energia elettrica nelle celle a combustibile (Fuel Cell) [5]. Numerosi studi sono rivolti alla progettazione, ottimizzazione e controllo delle celle a combustibile del tipo PEM e SOFC per applicazioni automobilistiche, nell'ambito di veicoli elettrici o ibridi. Ma anche questa tecnologia viene da lontano: William Grove produsse nel 1839 il primo esperimento in cui riuscì a rendere reversibile la trasformazione di elettrolisi, riuscendo ad ottenere energia elettrica a partire dall'idrogeno [38].

I veicoli ad aria compressa

Un notevole interesse è stato rivolto di recente al progetto di un veicolo ad aria compressa (Eolo), nel quale si ottiene energia meccanica attraverso l'espansione dell'aria in una macchina volumetrica multistadio [37]. Le basse temperature raggiunte dall'aria durante le espansioni provocano alcuni problemi operativi e di lubrificazione, per ovviare ai quali si sono previsti degli scambiatori di calore in cui l'aria, al termine delle espansioni parziali, riceve calore dall'ambiente. Il progetto, che avrebbe dovuto portare alla commercializzazione del veicolo nel 2003, si è però arrestato.

I veicoli elettrici

L'efficienza dei motori elettrici è limitata dall'effetto Joule e dall'attrito, ma può raggiungere valori significativamente più alti rispetto a quello ottenibili in un motore termico. Le auto elettriche possono perciò raggiungere a bordo più elevate efficienze di conversione in energia meccanica, senza emissioni gassose e con minori rumorosità. Si dovrebbe notare, tuttavia, che l'utilizzo di auto elettriche, mentre da un lato migliora la qualità dell'aria e le emissioni di rumore nelle aree urbane, non contribuisce necessariamente ad una riduzione del livello di CO_2 , poiché in molti paesi la maggior parte dell'energia elettrica è ancora ottenuta per via termoelettrica e a partire da combustibili fossili.

La maggiore limitazione delle auto elettriche è dovuta alla minore densità energetica delle batterie rispetto ai combustibili liquidi utilizzati nei motori termici, che si traduce in una minore autonomia ed in tempi di ricarica relativamente lunghi.

Le auto elettriche furono introdotte alla fine del XIX secolo, ma all'epoca non sussistevano le condizioni per una loro affermazione: le batterie erano particolarmente inefficienti e l'elettricità non ancora disponibile dappertutto, mentre il

prezzo dei combustibili erano piuttosto basso (10 centesimi a gallone negli Stati Uniti). All'epoca, persino dopo che l'illuminazione elettrica divenne disponibile, c'era una certa esitazione a sostituire le lampade a Kerosene. Dal punto di vista tecnico e delle prestazioni, fino agli inizi del 1900 il veicolo elettrico fu un valido competitore del motore a combustione interna: il primo veicolo a superare il limite dei 100 Km orari, nel 1899, il "Jamais Contente" di Camille Jenatzy, fu appunto un veicolo elettrico.

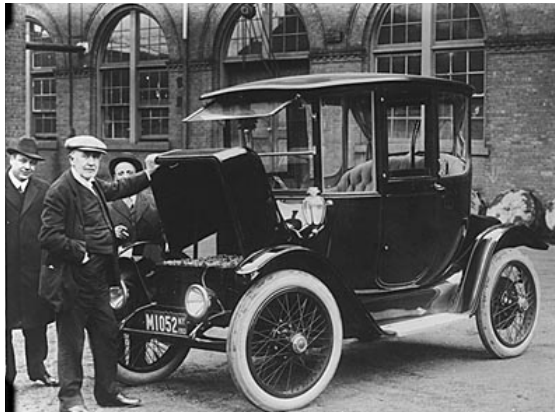


Fig. 9 - Thomas Alva Edison con un prototipo di auto elettrica, 1913



Fig. 10 - La "Jamais Contente", di Camille Jenatzy: il primo veicolo a superare il limite dei 100 Km/h, nel 1899.

La ricerca sui veicoli elettrici continuò anche dopo che i motori a combustione interna si affermarono come la soluzione quasi esclusiva per le autovetture. Durante gli anni dello sviluppo dell'energia nucleare, l'auto elettrica rappresentò perciò un'interessante alternativa, ma presto mostrò i suoi limiti se paragonata alle auto con motore tradizionale, finendo con l'essere considerata solo come auto utilizzabile in città (City Car).

Tra i modelli sviluppati, si può citare la Mars II, costruita dalla EFP (Electric Fuel Propulsion Corporation) nel 1968. Queste auto avevano un'autonomia di 146 miglia ed erano equipaggiate con batterie al Piombo-Cobalto [24]. Le piccole Comuta-Car (Fig. 11) furono invece costruite tra il 1978 ed il 1981 in circa 2000 esemplari [28].



Fig. 11 - La pubblicità del veicolo elettrico Comuta-Car.



Fig. 12 - La rottamazione del modello EV1 prodotto dalla GM.

Nel periodo tra il 1996 ed il 1998 la GM produsse 1117 esemplari del modello EV1, 800 dei quali distribuiti tramite un meccanismo di leasing su 3 anni. Nel 2003, al termine dei periodi di leasing, la GM le rottamò, probabilmente per gli eccessivi oneri legati alla produzione di pezzi di ricambio. Parte dell'opinione pubblica e dei media fu propensa ad ipotizzare che si fosse voluto rimuovere un argomento scomodo per la politica di un paese fortemente basato sull'economia del petrolio. L'argomento ha ispirato anche un film (Who Killed the Electric Car?), prodotto dalla Sony Pictures Classics nel 2006 [29].

Ma, pur essendo le motivazioni alla base dello sviluppo dei veicoli elettrici legate essenzialmente ai suoi benefici ambientali, non mancarono gli studi tesi verso la ricerca delle elevate prestazioni di queste vetture, come per la Concept Car Eliica [21], sviluppata all'Università Keio in Giappone e che raggiunge i 370 Km/h di velocità di punta e i 200 Km di autonomia, o l'avveniristico Buckeye Bullet, sviluppato presso la Ohio State University [30].



Fig. 13 – “Eliica”, un prototipo di veicolo elettrico ad alte prestazioni costruito alla Keio University in Giappone.



Fig. 14 – Il Buckeye Bullet costruito alla Ohio State University, che detiene il record mondiale di velocità per veicoli elettrici (235 mph).

I veicoli ibridi

Il tentativo di superare il limite principale dei veicoli elettrici, quello della scarsa autonomia, portò allo sviluppo dei veicoli ibridi, caratterizzati dalla presenza di un motore termico e di un motore/generatore elettrico. Questi veicoli, a prezzo di pesi, costi e complessità più alti rispetto ai veicoli tradizionali, permettono di ridurre in modo significativo (30-40%) consumi ed emissioni, grazie al recupero dell'energia in frenata (frenata rigenerativa), ottenuta facendo lavorare la macchina elettrica come generatore, ed attraverso l'uso ottimizzato dei due propulsori: in un veicolo ibrido, infatti, il motore termico può lavorare prevalentemente in condizioni di massimo rendimento, mentre in un veicolo convenzionale è costretto a seguire le richieste di potenza del guidatore, operando anche in condizioni in cui il rendimento è particolarmente basso.

Alcuni modelli, come la Toyota Prius (Fig. 15), hanno ottenuto un rapido ed inatteso successo commerciale, dimostrando come parte degli automobilisti possa essere mossa non soltanto da considerazioni di risparmio economico ma anche da motivazioni etiche ed ambientali.

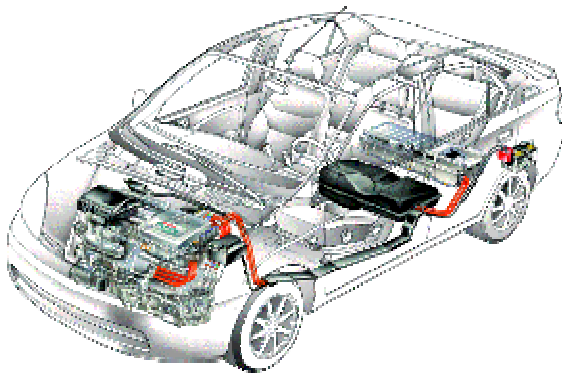


Fig. 15 - Schema funzionale della Toyota Prius.



Fig. 16 - La “Buick Skylark”, un modello di auto ibrida creata da Victor Vouk nel 1974.

E' interessante notare come anche questa soluzione, che associamo a tempi molto recenti, abbia avuto i suoi natali in periodi piuttosto remoti. Nel 1898 il tedesco Ferdinand Porsche, all'età di 23 anni, costruì la sua prima vettura elettrica, la “Lohner Electric Chaise” (Fig. 17), a cui seguì un secondo prototipo (Fig. 18) nel quale un motore a combustione interna muoveva un generatore che forniva energia a motori elettrici posti nel mozzo delle ruote [41]. In modalità elettrica, la vettura poteva percorrere circa 40 miglia. Nel 1900 un costruttore belga, Pieper, costruì una vettura di 3.5 CV in cui coesistevano un motore a benzina ed un motore elettrico. Quest'ultimo poteva funzionare da generatore per ricaricare le batterie, o collaborare con il motore termico per muovere la vettura, per esempio lungo le salite, in modalità “parallela”. La “Auto-Mixte” commercializzò questi veicoli dal 1906 al 1912. La “Woods Dual Power”, un modello di veicolo ibrido prodotto a partire dal 1916 da Baker (Cleveland) e Woods (Chicago), non ebbe invece successo commerciale, a causa dei maggiori costi e delle minori prestazioni rispetto alle vetture dell'epoca. In tempi più recenti, ma trent'anni prima dell'avvento della Toyota Prius, l'inventore americano Victor Vouk propose un modello di vettura ibrida (Fig. 16) che non riuscì però a superare i test dell'EPA, forse anche a causa dello scetticismo provocato dalla sua proposta sui funzionari dell'ente americano, se non da un velato boicottaggio [25].



Fig. 17 - La Lohner Electric Chaise, veicolo elettrico creato da F.Porsche (1899)

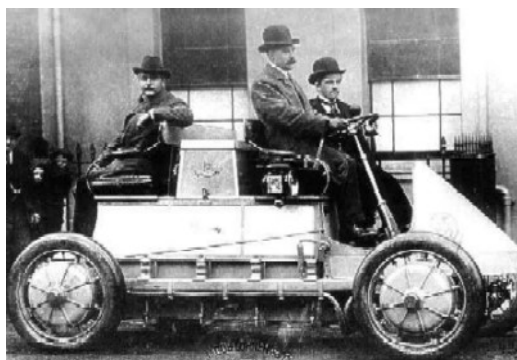


Fig. 18 - Il primo esempio di veicolo ibrido, creato da F.Porsche (circa 1900)

Veicoli solari

I primi tentativi per ottenere energia meccanica dal sole risalgono al motore solare di Abel Pifre, che nel 1892 utilizzò uno specchio solare per azionare un motore a vapore, che a sua volta muoveva una macchina tipografica. Le applicazioni dell'energia solare all'autotrazione sono però legate alla diffusione della tecnologia fotovoltaica, sviluppata negli anni '50 nei Bell Laboratories per applicazioni spaziali. La prima auto solare, la Solectria I (Fig. 19), fu costruita da James Worden nel 1984 [27]. Alla fine degli anni 70, dopo le vicende della crisi energetica mondiale, Hans Thstrup realizzò la Quiet Achiever, che nel 1983, insieme a Larry Perkins, guidò per 4052 chilometri fra Sydney e Perth in 20 giorni [31]. La prima sfida solare, il World Solar Challenge, fu organizzata nel 1987, e su 23 concorrenti prevalse il GM Sunraycer completando il viaggio con una velocità media di 67 km/h. Le caratteristiche dei veicoli solari migliorarono rapidamente: nel 2005, Nuna III, costruita da studenti dell'Università olandese di Delft, ha mantenuto una velocità media di oltre 95 chilometri l'ora [32].



Fig. 19 - Solectria I, la prima auto solare, costruita da James Worden nel 1984.



Fig. 20 - Nuna 3, costruita all'Università di Delft, vincitrice del World Solar Challenge nel 2005.

Veicoli ibridi solari

I veicoli solari non rappresentavano però un'alternativa pratica alle vetture tradizionali, a causa delle limitazioni di potenza, in termini di densità e disponibilità, ed ai vincoli di ingombro posti dai pannelli fotovoltaici. Alcune ricerche si indirizzarono quindi sulla integrazione della tecnologia fotovoltaica con i veicoli ibridi elettrici [7] [33], mostrando come il contributo solare possa permettere rilevanti riduzioni nei consumi di combustibile e nelle emissioni per un utilizzo intermittente in ambito urbano di tali veicoli [12].

Uno dei primi prototipi, il Viking 23 (Fig. 21), fu costruito nel 1994 al Vehicle Research Institute presso la Western Washington University [34]. Altri modelli sono stati sviluppati negli anni successivi, progettando ex-novo il veicolo, come nel caso del modello Ultra-Commuter sviluppato dalla Queensland University (Fig. 22, [35]), oppure modificando veicoli ibridi (come la "Solar Toyota Prius" dell'ingegnere canadese Steve Lapp [36]) o elettrici (Fig. 23), anche nell'ambito di progetti didattici finalizzati alla formazione e divulgazione sulla mobilità sostenibile [33].



Fig. 21 - Il Viking 23, prototipo di veicolo ibrido solare costruito presso la Western Washington University nel 1994.



Fig. 22 - Ultra-Commuter, un veicolo ibrido solare sviluppato presso la Queensland University.

E negli ultimi anni si fa strada il concetto dei plug-in hybrids [7]: veicoli ibridi elettrici, o ibridi solari, se non anche assistiti da una piccola turbina eolica durante le fasi di parcheggio (Fig. 24, [39]), che interagiscano con la rete: prelevando l'energia elettrica per caricare la batteria, come per i veicoli elettrici, ma anche riversando in rete i surplus energetici generati con i pannelli solari o con il sistema motore/generatore, magari recuperando anche il calore di scarico per usi cogenerativi [13].



Fig. 23 - Un prototipo di veicolo ibrido solare sviluppato presso l'Università di Salerno.



Fig. 24 - Venturi Ecletic, una city-car che utilizza energia solare ed eolica.

Conclusioni

Le crescenti emergenze energetiche ed ambientali hanno evidenziato i limiti degli attuali autoveicoli, imprimendo una decisa accelerazione verso la ricerca di soluzioni alternative. Molte di queste opzioni, che hanno raggiunto l'attenzione dell'opinione pubblica solo in tempi recenti, hanno però alle spalle una storia lunga ed avvincente, ed affondano le loro radici in periodi ricchi di stimoli e fermenti scientifici e tecnici. L'analisi dei motivi del successo o dell'insuccesso delle proposte di veicoli alternativi è complessa, non potendosi fermare agli aspetti tecnici ma dovendosi estendere al contesto tecnologico ed industriale, ai modelli di sviluppo prevalenti nei diversi periodi storici, e dando il giusto peso all'influenza esercitata dai notevoli interessi economici, politici e sociali connessi alla produzione di un bene di larghissimo consumo come l'automobile. In tale contesto, acquisisce una crescente importanza l'emergere in strati della società di motivazioni legate a valori etici ed ambientali, che possono produrre scelte di acquisto non necessariamente ancorate ad un mero interesse economico, come è stato evidenziato dal recente ed in qualche misura inatteso successo commerciale dei veicoli ibridi. E' un processo che richiede una maggiore interazione tra gli specialisti e l'opinione pubblica, anche attraverso uno sistematico lavoro di divulgazione scientifica, troppo spesso carente o approssimativa.

Bibliografia

- [1] Acton O., Caputo C., "Introduzione allo studio delle macchine", UTET, Torino, 1979.
- [2] Beccari A., Caputo C., "Motori termici volumetrici", UTET
- [3] Rizzo G., "Macchine e Sistemi Energetici – Supporti didattici multimediali", CUES, 2001.
- [4] Messadié G., Le grandi invenzioni dall'antichità al 1850, Vallardi, 1990.
- [5] Sorensen H., Energy Conversion Systems, John Wiley & Sons, 1983.
- [6] Della Volpe R., Migliaccio M., Motori a combustione interna per autotrazione, Liguori, Napoli, 1995.
- [7] S.E.Letendre S.E., Ushering in an Era of Solar-Powered Mobility, Workshop on "Hybrid and Solar Vehicles", Università di Salerno, November 5-6, 2006.

- [8] Szudarek R.G., How Detroit Became the Automotive Capital, The Typograft Company, Detroit, Michigan, 1996.
- [9] Cerf C. and Navasky V., The Experts Speak: The Definitive Compendium of Authoritative Misinformation, Pantheon Books, 1984.
- [10] Scientific American, Jan. 2, 1909.
- [11] D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers, W.W. Behrens III, The Limits to Growth, MIT, 1972.
- [12] I.Arsie, R.Di Martino, G.Rizzo, M.Sorrentino, A Model For a Prototype of Hybrid Solar Vehicle, Workshop on "Hybrid and Solar Vehicles", Università di Salerno, November 5-6 2006.
- [13] I.Arsie, G.Rizzo, M.Sorrentino, M.Cacciato, A.Consoli, G.Petrone, G.Spagnuolo, Hybrid Vehicles and Solar Energy: a Possible Marriage?, ICAT 2006, November 17, 2006, Istanbul.

Siti Web

- [14] chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/grove.htm
- [15] www.gmi.edu/~altfuel/fback.htm
- [16] library.thinkquest.org/C006011/english/sites/index.php3
- [17] www.aardvark.co.nz/pjet/chrysler.shtml
- [18] www.stanleysteamers.com/serpollet.htm
- [19] americanhistory.si.edu/edison/ed_d22.htm
- [20] www.electrcauto.com
- [21] www.eliica.com
- [22] futureatrisk.blogspot.com/2005_10_01_futureatrisk_archive.html
- [23] my.athenet.net/~jlindsay/SkepticQuotes.html
- [24] [www.electrcauto.com/%20 newsArch/news004.html](http://www.electrcauto.com/%20newsArch/news004.html)
- [25] www.hybridcars.com/history.html
- [26] en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle
- [27] web.mit.edu/6.933/www/Fall2000/solarEclipse.pdf
- [28] www.didik.com/comuta.htm
- [29] dontcrush.com/
- [30] www.buckeyebullet.com/
- [31] www.speedace.info/quiet_achiever_solar_car.htm
- [32] www.wsc.org.au/2005/competition/our_teams/Nuna.3/
- [33] www.dimec.unisa.it/Leonardo
- [34] vri.etec.wvu.edu/viking_23.htm
- [35] www.itee.uq.edu.au/~serl/UltraCommuter
- [36] www.mixedpower.com/modules.php?name=News&file=article&sid=727
- [37] www.aircaraccess.com/
- [38] chem.ch.huji.ac.il/~eugeniik/history/grove.htm
- [39] www.venturi.fr/
- [40] www.worldenergy.org/wec-geis/global/downloads/NZConf/2_08.pdf
- [41] www.hybrid-vehicle.org/hybrid-vehicle-porsche.html