

POLITECNICO DI MILANO

Facoltà di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in
Ingegneria Energetica



GPL E METANO COME COMBUSTIBILI PER AUTOTRAZIONE

Relatore: Prof. Giancarlo FERRARI

Tesi di Laurea di:

Dario Portalupi Matr. 712067

Simone Lavezzi Matr.712137

Anno Accademico 2010 – 2011

Indice

Ringraziamenti

Introduzione

1- Le origini e l'utilizzo di GPL e Metano

1.1- I due combustibili	pag.1
1.2- Estrazione, produzione e trasporto	pag.13
1.2.1- Soluzioni alternative per la produzione di Metano	pag.30
1.3- Stoccaggio e distribuzione e vendita	pag.42
1.4- Un po' di storia	pag.59

2- GPL e Metano: impianti per autotrazione

2.1- Motori ad accensione comandata	pag.63
2.2- Impianti GPL adottati sui moderni motori a Benzina a iniezione	pag.66
2.3- Impianti a Metano adottati sui moderni motori a Benzina a iniezione	pag.77
2.4- Impianti a Metano su veicoli a Gasolio	pag.87
2.5- Impatto ambientale dei veicoli bi-fuel	pag.91

2.6- Analisi economica della scelta GPL o Metano	pag.104
2.5.1- Premessa	pag.104
2.5.2- Confronto per combustibili scelti: veicoli di serie	pag.105
2.5.3- Installazione Aftermarket impianto GPL su auto già acquistata	pag.111
2.7- Normativa in materia di sicurezza	pag.115

3- Soluzioni alternative

3.1- F.F.V. (Flexible Fuel Vehicles) : Bioetanolo e Biodiesel	pag.132
3.2- Hybrid Vehicles : motore termico abbinato a motore elettrici	pag.145
3.3- Electric Vehicles : veicoli totalmente elettrici	pag.154
3.4- Hydrogen Vehicles : veicoli a idrogeno	pag.168

Conclusioni

Bibliografia

Elenco delle figure

Fig.1 - Pozzo petrolifero on-shore	pag.2
Fig.2 - Stati membri dell'OPEC, in verde più chiaro sono indicate le nazioni che ne hanno fatto parte in passato	pag.3
Fig.3 - Riserve mondiali di petrolio stimate, anno 2009, suddivise tra i principali produttori , appartenenti o non all'OPEC	pag.4
Fig.4 - Paesi membri del GFCF, "OPEC" del GN	pag.5
Fig.5 - Mappa di produzione di gas naturale in metri cubi all'anno	pag.5
Fig.6 - Consumi di GN in Italia ed Europa	pag.6
Fig.7 - Schema impianto classico GPL esterno per riscaldamento domestico	pag.8
Fig.8 - Spaccato di un moderno impianto gpl per autotrazione	pag.9
Fig.9 - Bombole trasportabili di GPL	pag.9
Fig.10 - Turbina a gas con palettatura a vista, durante la fase d'ispezione	pag.11
Fig.11 - Schema di una tipica caldaia a condensazione a metano	pag.11
Fig.12 - Schema di massima di un impianto a metano per auto (Fiat Panda NP)	pag.12
Fig.13 - Tabella riassuntiva delle caratteristiche chimico-fisiche dei principali carburanti	pag.12
Fig.14 - Principali componenti di un impianto di perforazione	pag.13
Fig.15 - Piattaforma petrolifera off-shore	pag.14
Fig.16 - Colonna di distillazione nei processi di raffinazione del greggio	pag.16
Fig.17 - Nave cisterna in navigazione	pag.19
Fig.18 - Motocisterna per il trasporto di GPL	pag.19
Fig.19 - Ciclo di produzione e trasporto del LNG	pag.20
Fig.20 - Rigassificatore on-shore di Panigaglia	pag.21
Fig.21 - Terminale di rigassificazione off-shore di LNG di tipo di GBS	pag.22
Fig.22 - Terminale di liquefazione e stoccaggio off-shore di LNG	pag.23
Fig.23 - Immagine di un gasdotto su terraferma	pag.25
Fig.24 - Costi di diversi sistemi di trasporto in funzione della distanza	pag.25
Fig.25 - Tipi di navi metaniere: con serbatoi integrati e con serbatoi autoportanti indipendenti dallo scafo	pag.26
Fig.26 - Principali caratteristiche del LNG confrontate con quelle di altri prodotti petroliferi liquidi	pag.27

Fig.27 - Ciclo di produzione e trasporto del CNG.....	pag.28
Fig.28 - Nave per il trasporto di CNG con tecnologia Coselle.....	pag.28
Fig.29 - Navi per il trasporto di CNG con tecnologia VOTRANS, a serbatoi orizzontali e verticali	pag.29
Fig.30 - Ciclo di produzione e trasporto del GTS.....	pag.30
Fig.31 - Fonti rinnovabili: traiettoria indicativa dell'Italia 2011-2020 (Fonte: Direttiva 2009/28/CE)	pag.31
Fig.32 - Schema di massima del concetto di funzionamento del Fracking, ovvero il processo tecnologico che permette di ottenere lo shale gas.....	pag.32
Fig.33 - Giacimenti provati di Shale Gas europeo.....	pag.33
Fig.34 - Impianto di produzione di Biogas / Biometano.....	pag.35
Fig.35 - Emissioni comparate di gas serra al tubo di scappamento (TTW) e nell'intero ciclo di vita (WTW) per un'automobile alimentata con biogas e con differenti combustibili fossili (Concawe, 2005). Legenda: PISI – Motore a benzina; DICI – Motore a gasolio; CNG – Gas Naturale Compresso; CBG – Biogas compresso; WTW: emissioni del ciclo di vita; TTW: emissioni al tubo di scappamento.....	pag.38
Fig.36 - Progetto E-Gas per la produzione di Metano da fonte eolica e CCS.....	pag.40
Fig.37 - Schema di serbatoio superficiale di GNL.....	pag.42
Fig.38 - Serbatoio per lo stoccaggio di CNG.....	pag.43
Fig.39 - Stazione di rifornimento di Metano per autotrazione.....	pag.45
Fig.40 - Schema dettagliato di un tipico impianto a Metano per autotrazione: in rosso è possibile vedere le bombole che fungono da serbatoio.....	pag.46
Fig.41 - Confronto tra normative che disciplinano costruzione ed esercizio di un impianto di distribuzione di Metano per autotrazione in Italia e Germania.....	pag.48
Fig.42 - Distributore casalingo di Metano per autotrazione.....	pag.50
Fig.43 - Serbatoi fissi per GPL uso industriale.....	pag.51
Fig.44 - Serbatoio fisso interrato per uso domestico.....	pag.51
Fig.45 - Carro ferroviario da 120 m ³ per il trasporto di GPL.....	pag.52
Fig.46 - Impianto di rifornimento GPL.....	pag.53
Fig.47 - Elenco impianti di distribuzione di Metano in Europa (Regione Lombardia).....	pag.54
Fig.48 - Elenco impianti di distribuzione di Metano in Italia e Lombardia (Regione Lombardia)	pag.55
Fig.49 - Elenco impianti di distribuzione di GPL in Europa (Regione Lombardia).....	pag.56

Fig.50 - Elenco impianti di distribuzione di GPL in Italia e Lombardia (Regione Lombardia)....	pag.57
.....	
Fig.51 - Parco circolante di autoveicoli in Lombardia a Giugno 2011 (Regione Lombardia)	pag.57
Fig.52 - Stazione di rifornimento mult carburante negli anni 30-40.....	pag.59
Fig.53 - Immagine di fine anni 50 di Enrico Mattei, allora presidente dell'ENI.....	pag.60
Fig.54 - Distributore di GPL negli anni '60.....	pag.61
Fig.55 - Motore ad accensione comandata con carburatore (Fiat).....	pag.63
Fig.56 - Rappresentazione schematica di un sistema ad iniezione in un motore a ciclo Otto: iniezione indiretta a punto singolo (ormai in disuso) e a punti multipli, iniezione diretta....	pag.65
Fig.57 - Spaccato d'insieme di un impianto per veicoli ad iniezione gassosa.(LandiRenzo)	pag.70
Fig.58 - Impianto a iniezione liquida abbinabile a motore ad accensione comandata. (Icom)	pag.73
Fig.59 - Impianto LPDI per motori ad iniezione diretta di carburante (Vialle).....	pag.75
Fig.60 - Esempio di sistemazione di alcune bombole di Metano di un impianto aftermarket nel bagagliaio di un autoveicolo.....	pag.81
Fig.61 - Fiat Doblò Natural Power Turbo dotato di motore turbo T-jet bifuel Metano.....	pag.82
Fig.62 - VW Passat Ecofuel TSI.....	pag.83
Fig.63 - Mercedes Classe B 180 NGT.....	pag.84
Fig.64 - Mercedes Classe E 200 NGT.....	pag.85
Fig.65 - Iveco Cityclass Cursor CNG del ATAC.....	pag.88
Fig.66 - Prototipo d'impianto bifuel Landi Metano/Gasolio.....	pag.89
Fig.67 - Motore del prototipo bifuel Landi Metano/Gasolio; notare il rail di iniettori del Metano	pag.89
Fig.68 - Immagine schematica del funzionamento di una marmitta catalitica.....	pag.97
Fig.69 - Motore Diesel moderno dotato di tutti gli accorgimenti tecnici per limitare le emissioni secondo le normative europee.....	pag.99

Fig.70 - Grafico con alcune emissioni di autoveicoli alimentati con diversi combustibili	pag.103
Fig.71 - Prospetto convenienza singoli combustibili fino a 25.000 km/anno (Fiat Punto Evo)	pag.108
Fig.72 - Prospetto convenienza singoli combustibili fino a 25.000 km/anno (VW Polo serie 6r)	pag.110
Fig.73 - Principali reazioni chimiche nel processo di creazione del etanolo	pag.133
Fig.74 - Foto esemplificativa riguardo l'uso per la produzione di combustibile del granturco	pag.134
Fig.75 - Immagini di simboli identificativi su veicoli Flex Fuel	pag.135
Fig.76 - Pompa di etanolo di un distributore di carburante in nordamerica	pag.136
Fig.77 - Tipico impianto per la produzione di bioetanolo	pag.137
Fig.78 - Campione di biodiesel derivato da coltura	pag.138
Fig.79 - Reazione di trans-esterificazione di un grasso con metanolo; R è una catena lineare generalmente lunga da 16 a 22 atomi di carbonio la cui esatta struttura dipende dalla specie vegetale o animale. Il primo prodotto indicato è il glicerolo, il secondo è il generico estere metilico che costituisce il biodiesel	pag.139
Fig.80 - Ciclo di produzione del biodiesel	pag.139
Fig.81 - Ciclo di pirolisi della biomassa	pag.142
Fig.82 - Schema di un gassificatore alimentato a biomassa	pag.143
Fig.83 - L'auto ibrida di Ferdinand Porsche – 1898	pag.145
Fig.84 - Schema di un ibrido serie	pag.148
Fig.85 - Opel Ampera, un esempio di ibrido serie	pag.149
Fig.86 - Schema di un ibrido parallelo	pag.149
Fig.87 - Schema di un ibrido misto	pag.151
Fig.88 - Immagine della Toyota Prius	pag.151

Fig.89 - Motore della Toyota Prius.....	pag.152
Fig.90 - Thomas Edison ed un'auto elettrica nel 1913.....	pag.155
Fig.91 - Immagine della Tesla roadster	pag.159
Fig.92 - Batteria agli ioni di litio (Li-ion).....	pag.161
Fig.93 - Immagine di una batteria ZEBRA.....	pag.162
Fig.94 - Pensilina parcheggio a copertura fotovoltaica per la ricarica di auto elettriche (Enea)	pag.166
Fig.95 - Operazione di sostituzione automatica delle batterie.....	pag.166
Fig.96 - Schema semplificato per spiegare l'elettrolisi dell'acqua.....	pag.169
Fig.97 - Schema di un impianto per la gassificazione IGCC (integrated gasification combined cycle)	pag.172
Fig.98 - Prototipo di BMW "Hydrogen 7"	pag.176
Fig.99 - Schema di funzionamento di una FC.....	pag.177

Ringraziamenti

Ringraziamo il Prof. Ing. G. Ferrari in qualità di Relatore che ci ha seguito e consigliato per la stesura di questa Tesi.

Ringraziamo per la gentile collaborazione - per quanto riguarda gli aspetti tecnici degli impianti BiFuel - la Ditta Landi Renzo in particolare il rivenditore e riparatore d'impianti Ufficiale Landi Renzo Fiorini Claudio.

Infine non possiamo non ringraziare il Dr. S. Filella e tutti coloro che in Regione Lombardia, Direzione Generale Commercio, Turismo e Servizi ci hanno fornito dati aggiornati e utili indicazioni sulla Struttura della Rete distributiva dei carburanti, in particolare sulle prospettive future del Biometano, nel quale la Regione Lombardia ripone grandi speranze per poter rispettare le nuove Normative Europee sulle Energie Rinnovabili e l'utilizzo di Biocarburanti.

Introduzione Tesi

Con lo svolgimento del presente lavoro di tesi, ci si è posto l'obiettivo di analizzare prima di tutto le caratteristiche tecniche (ed in particolare quelle energetiche) che rendono interessante l'uso di GPL e Metano come combustibili in diversi tipi di impianti energetici, per focalizzare poi l'interesse sul loro impiego nei mezzi di trasporto. Dopo aver approfondito le problematiche connesse con la produzione, il trasporto e lo stoccaggio dei due combustibili, ci si è posto l'obiettivo di analizzare le caratteristiche tecniche degli impianti usati in autotrazione, tenendo presente sia il caso di sistemi di alimentazione realizzati direttamente in linea di produzione da parte della casa automobilistica, sia i sistemi di conversione a GPL/Metano come modifica di veicoli già immessi sul mercato con alimentazione a Benzina o a Gasolio (usati in ambito trasporto pubblico, ancora in fase sperimentale per il trasporto privato). Nell'ambito dell'analisi delle diverse caratteristiche tecniche, si è poi dedicata particolare attenzione all'aiuto offerto dai due combustibili nel contenere l'impatto sull'ambiente e sulla salute umana dei relativi mezzi di trasporto, per passare poi ad un'analisi tecnico-economica della scelta del GPL o del Metano come combustibile, proponendo un confronto in termini di €/km delle soluzioni BiFuel rispetto alle scelte tradizionali Benzina/Gasolio. Infine, a conclusione del lavoro, ci si è proposto di fare un rapido esame tecnico delle soluzioni alternative (uso di: bioetanolo, biodiesel, idrogeno, elettrico ed ibrido), cui attualmente si lavora per risolvere il problema del contenimento del consumo di energia e dell'impatto dei mezzi di trasporto sull'ambiente. Tutto questo non vuol dimostrare una superiorità tecnologica di queste soluzioni bifuel/elettriche rispetto ai motori Diesel e Otto turbo sovralimentati moderni alimentati rispettivamente a Benzina e Gasolio, ma semplicemente descrivere un'alternativa possibile agli stessi. Si cercherà quindi di chiarire e di dare le maggiori informazioni possibili al utente finale, ovvero agli automobilisti incuriositi e tentati da questa scelta alternativa.

Capitolo 1

Le origini e l'utilizzo di GPL e Metano

1.1- I DUE COMBUSTIBILI

I combustibili di origine fossile sono tre in diverse forme : carbone (solida), gas naturale (gassosa) e petrolio (liquida). Ognuno di essi ha avuto origine milioni di anni fa, attraversando intere ere geologiche e permettendo lo sviluppo della civiltà moderna industriale.

Quelli che ci interessano sono il gas naturale e il petrolio, che di fatto sono quelli usati per autotrazione (se si escludono utilizzi di benzine sintetiche derivanti da carbone): da essi si ricavano moltissimi combustibili quali benzine, nafta, metano e gpl.

Il petrolio (dal greco letteralmente “roccia” e “olio”) è un liquido scuro infiammabile, il cui colore può andare dal nero al marrone scuro, dal verdognolo fino all'arancione, che si trova in giacimenti negli strati superiori della crosta terrestre; esso è in sintesi una miscela di idrocarburi, in prevalenza alcani. Il gas naturale invece è una miscela di gas , di cui uno solo è il metano CH_4 , un idrocarburo semplice (alcano) che si trova in natura sulla Terra in fase gassosa: esso si presenta come inodore, insapore e incolore e ovviamente altamente infiammabile.

Le loro origini sono legate alla decomposizione di materiale organico (piante e animali morti), che rimasto sepolto senza ossigeno per milioni di anni si trasforma in pirobitume che libera a sua volta idrocarburi in condizioni di elevate pressioni e temperature: hanno dunque una genesi comune e non è affatto raro trovare entrambi nel medesimo giacimento. Spesso se il giacimento è in comune e l'estrazione avviene in mare aperto o lontano dai luoghi di consumo, a causa delle note difficoltà di trasporto del Metano (che ha una densità molto inferiore al petrolio che ne rende difficile e molto più costoso il trasporto) , si preferisce bruciarlo sul posto oppure viene ripompato nel giacimento per favorire l'uscita di nuovo greggio. Naturalmente esistono anche enormi giacimenti di solo gas naturale, inoltre il Metano può essere ricavato da biogas da rifiuti da discarica, da estrazione da combustibili fossili e da digestione anaerobica delle biomasse.



Fig.1 - Pozzo petrolifero on-shore.

Le riserve di un combustibile fossile si dividono in riserve provate e riserve non provate. Si definiscono riserve provate le riserve che, a seguito di studi geologici e ingegneristici, sono ragionevolmente ritenute sfruttabili economicamente con le tecnologie attualmente disponibili.

E' ben noto come i combustibili fossili non siano una fonte rinnovabile e come, presto o tardi, il loro utilizzo sarà destinato a cessare per l'esaurimento delle riserve. Per definire il residuo potenziale dei combustibili fossili è d'uso fare riferimento al parametro R/P, definito come il rapporto tra le riserve provate in dato istante t e il consumo annuale nello stesso istante t :

$$R/P = \frac{\text{riserve provate (Tep)}}{\text{consumo annuo} \left(\frac{\text{Tep}}{\text{anno}} \right)}$$

L'unità di misura utilizzata sarà il TEP cioè la Tonnellata di Petrolio Equivalente. Il calcolo è semplicissimo: conoscendo il p.c.i. (potere calorifico inferiore) di qualsiasi fonte energetica (solida, liquida o gassosa) è possibile, con una semplice divisione, riportare tutto a "petrolio equivalente". Es. un metro cubo di Metano ha un p.c.i. pari a 8.150 kcal. Essendo che il petrolio ha un p.c.i. pari a 9.000 kcal/kg, dividendo 9.000 per 8.150 si ottiene 1,1. Per avere 1 kg di petrolio equivalente servono 1,1 m³ di Metano. Ovviamente per avere 1 tonnellata di petrolio equivalente, cioè una TEP, saranno necessari 1.100 m³ di metano. La introduzione della TEP è molto comoda per riportare tutte le diverse forme di energia ad una unica unità di misura.

Il rapporto R/P è dunque in termini dimensionali un tempo, ed esprime il numero di anni residuo per una data fonte fossile al tasso di consumo considerato. Ci si potrebbe aspettare che tale rapporto

sia progressivamente in diminuzione col passare del tempo: ciò non è necessariamente vero, in quanto alcune riserve, ritenute non provate, possono divenire provate al variare delle tecnologie di estrazione oppure al variare delle condizioni di mercato che possono rendere economicamente conveniente ciò che in passato non lo era (estrazione di greggio da depositi bituminosi o metano da ghiacci artici).

Oltre al tema della durata di tali riserve vi sono anche opportunità di geopolitica da non sottovalutare: le maggiori riserve di petrolio sono concentrate (ad esclusione delle riserve statunitensi, ad uso e consumo USA) in paesi politicamente instabili oppure teatro di guerre più o meno dichiarate, come ben si evince dal grafico sottostante.

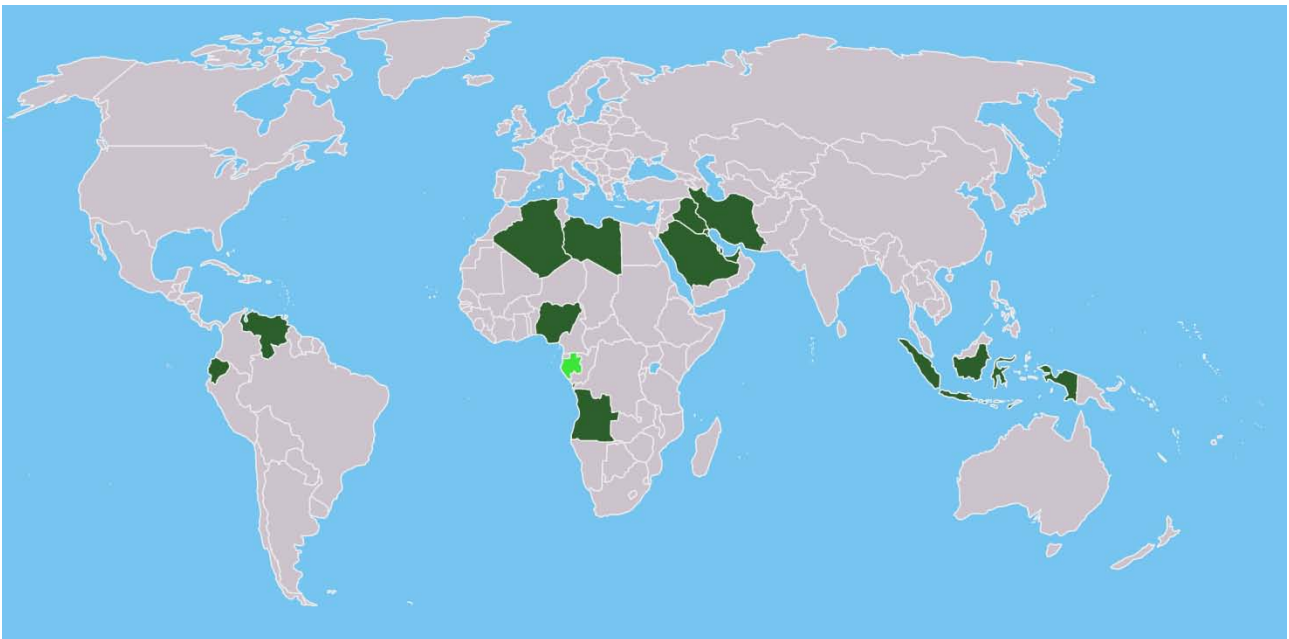


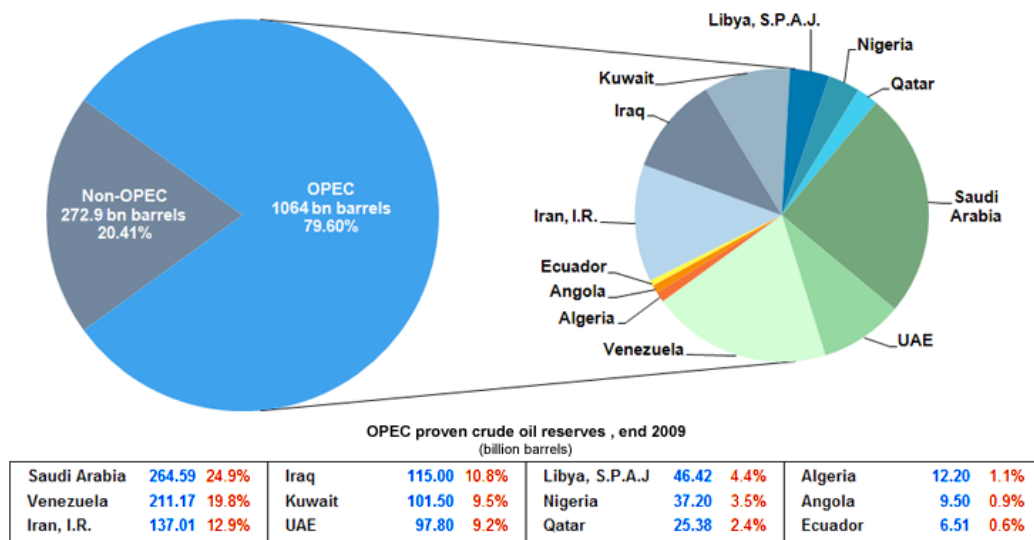
Fig.2 - Stati membri dell'OPEC, in verde più chiaro sono indicate le nazioni che ne hanno fatto parte in passato.

I produttori di petrolio sono riuniti dal 1960 nell'OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries) che comprende attualmente undici Paesi che si sono associati, formando un cartello economico, per negoziare con le compagnie petrolifere aspetti relativi alla produzione di petrolio, prezzi e concessioni. Questa situazione espone i paesi importatori (in pratica tutti i paesi occidentali sviluppati) a continue e altalenanti variazioni del prezzo del greggio, frutto di interessi economici (Arabia Saudita, Kuwait, EAU) e di mosse ricattatorie di paesi produttori poco affidabili (in primis Iran, Iraq, Venezuela, Nigeria).

Oltre ai membri del OPEC , si deve ricordare anche gli USA la cui produzione , seconda solo a quella dell'Arabia Saudita è però ad uso e consumo interno.

L'Italia che ruolo gioca? E' fondamentalmente un forte importatore di petrolio, sia per produzione elettrica (ma ormai in costante calo, visto il repowering di molte vecchie centrali a olio combustibile in TG) che soprattutto per trasporto: questo, ovvero l'atavica insistenza nel basare il proprio modello di trasporto sulla gomma, favorisce l'aumento dei prezzi dei carburanti quali benzina e diesel, con conseguenti rincari sulle merci trasportate.

OPEC Share of World Crude Oil Reserves 2009



Source: OPEC Annual Statistical Bulletin 2009

Fig.3 - Riserve mondiali di petrolio stimate, anno 2009, suddivise tra i principali produttori , appartenenti o non all'OPEC.

Per il GN il discorso è solo in parte sovrapponibile, considerando i principali produttori mondiali e le riserve disponibili (tutt'ora considerate più abbondanti rispetto a quelle di greggio).

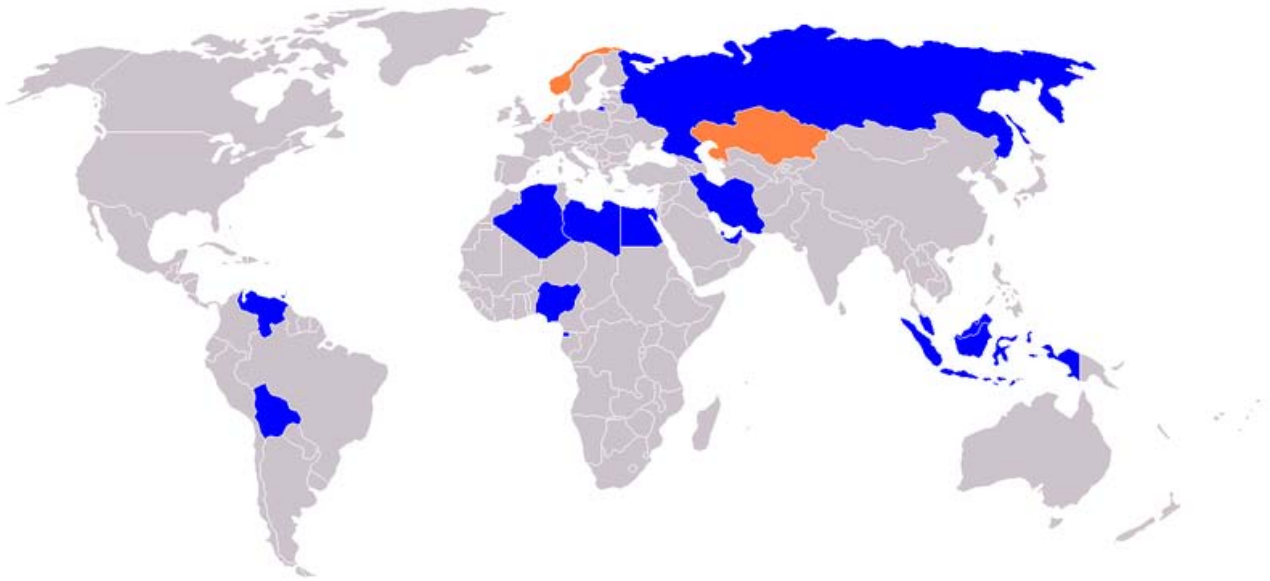


Fig.4 - Paesi membri del GFCF, "OPEC" del GN.

Principale produttore di GN al mondo è la Russia, dove l'attività di estrazione è in costante crescita e alla data attuale riesce a coprire il 19,6% dell'intera produzione mondiale. Seppur molto più difficile ipotizzare scenari di cartelli legati al GN rispetto al caso del petrolio, la forte posizione raggiunta dalla Federazione russa come esportatore le permette di operare con notevole libertà di manovra, acquisendo con il tempo una grande capacità di persuasione sui principali importatori di GN (in primis i paesi europei e il Giappone).

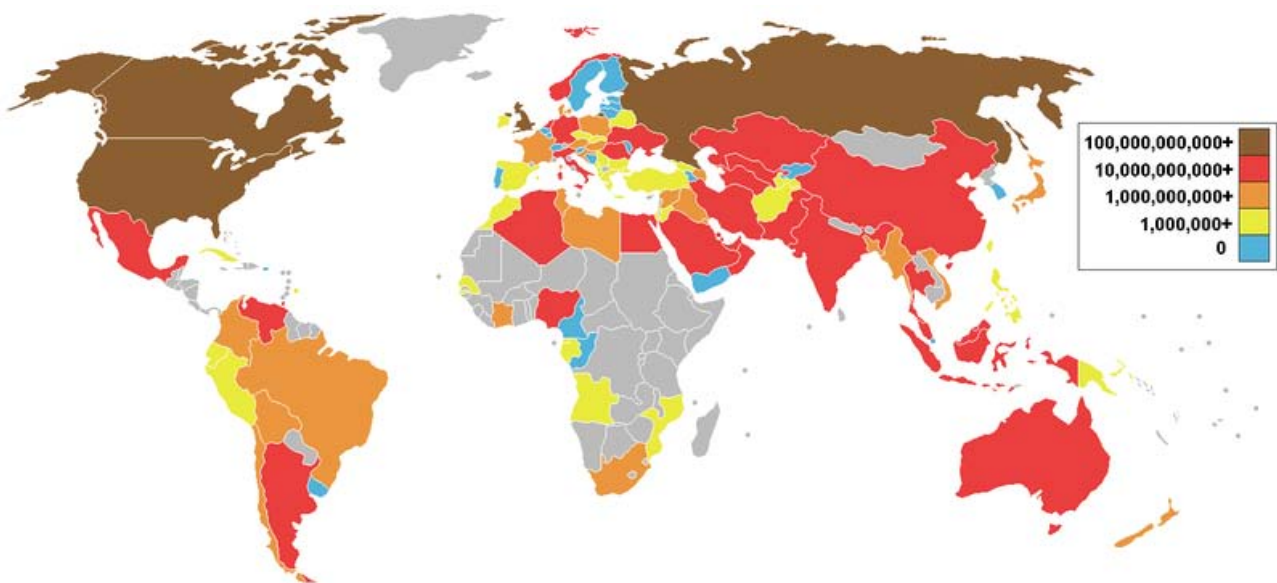


Fig.5 - Mappa di produzione di gas naturale in metri cubi all'anno

Alcune motivazioni oggettive rendono difficile la creazione di un “cartello” di paesi produttori:

1. il gas è distribuito in modo molto più omogeneo del petrolio (pur considerando la posizione dominante della Russia)
2. il mercato spot del gas (quello di immagazzinamento) è stato finora inesistente data l'ineconomicità dello stoccaggio del GNL (GN liquido).
3. i paesi produttori non possono avere riserve di produzione cui accedere per regolare i prezzi, come possono fare alcuni paesi produttori di petrolio, in particolare l'Arabia Saudita.
4. la stragrande percentuale di gas naturale è attualmente fornita via gasdotto, vincolando indissolubilmente paese produttore e consumatore

Ovviamente nonostante queste ottime ragioni che sconsigliano manovre ricattatorie o speculazioni sul prezzo del GN (legato solo in parte a quello del petrolio), il problema della dipendenza eccessiva da fonti quali petrolio e GN è particolarmente sentita, specie in Italia. L'Italia risulta essere un formidabile importatore di GN , specie da Algeria e Russia ai quali è collegata via metanodotto e con modesto utilizzo della tecnica di rigassificazione (che permetterebbe di svincolarsi almeno parzialmente dal “laccio” dei collegamenti via condotta).

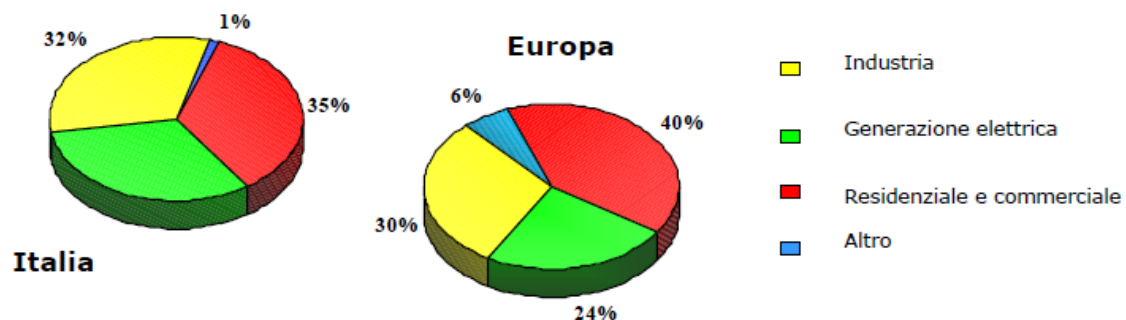


Fig.6 - Consumi di GN in Italia ed Europa.

Come ben visibile nella fig.6 , l'Italia sfrutta in maniera più intensiva il GN per la generazione elettrica di base (scelta unica in Europa, proprio per l'alto costo che questo comporta sul consumo di energia elettrica) e per il riscaldamento, mentre l'autotrazione (compresa nella voce “Altro”) è relegata all'interno di un misero 1%.

Per il discorso specifico autotrazione, questa scelta ha portato ad una rete distributiva carente nel centro-sud della penisola e di fatto al monopolio quasi esclusivo di Gasolio e Benzina come carburanti, lasciando al GPL e soprattutto al Metano il ruolo di comprimari.

Analizzate le origini di GPL e Metano, diamone una breve descrizione..

G.P.L. (gas propano liquido) detto talvolta gas di petrolio liquefatto è una miscela di idrocarburi alcani a basso peso molecolare: la composizione del GPL non è definita esattamente, infatti le specifiche di fornitura danno delle tolleranze su composizione e densità, per il propano commerciale la densità è compresa tra 505 e 530 kg/m³ con un potere calorifico che non deve essere inferiore a 10.950 kcal/kg (o 45,8 MJ/kg), con un contenuto di zolfo massimo di 50 ppm. i suoi principali componenti sono tra C₃ e C₄, quindi scelti tra butano, propano e pentano.

Il GPL è quindi una miscela liquida a temperatura ambiente e a pressioni relativamente modeste (5 ÷ 8 bar), ed essa esiste in diverse formulazioni commerciali. Le percentuali di propano, propilene, butano e butileni presenti in miscela dipendono dalla fonte di produzione.

Le miscele commerciali, così come definite nel Regolamento approvato con D.M. 22 luglio 1930 e successive serie di N.I. sono denominate Miscela A, Miscela A0, Miscela A1, Miscela B, Miscela C2. Le percentuali di propano, propilene, butano e butileni etc... attribuiscono alle miscele di GPL diverse caratteristiche fisiche, che sono importanti per le loro possibilità d'impiego.

Il GPL brucia integralmente producendo (se l'ossigenazione è sufficiente) CO₂, H₂O e NO_x, lasciando pochissime scorie. E' inoltre importante notare che rispetto ad esempio, all'acqua il GPL pesa circa la metà, infatti a 15 °C :

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0 \text{ kg/l}$$

$$\rho_{\text{GPL}} = 0,5 \text{ kg/l}$$

e risulta più leggero anche della Benzina, a 15 °C vale:

$$\rho_{\text{benzina}} = 0,73 \text{ kg/l}$$

Si noti che il nome del GPL deriva proprio dal fatto che i componenti sono in forma gassosa a pressione atmosferica, mentre sono liquidi a pressioni relativamente basse, dell'ordine dei 0,5 MPa

(5 bar). Grazie alla liquefazione, la **densità della miscela aumenta di circa 300 volte** rispetto alla forma gassosa, riducendo in tal modo il volume necessario per immagazzinarlo.

Il GPL, per tutte le caratteristiche descritte, si presta molto bene ad utilizzi di piccola e media combustione, quali l'uso di cucina o del riscaldamento, in cui rappresenta l'unica alternativa valida al Metano, infatti lo si riesce a distribuire tramite reti canalizzate in cui società fornitrici dello stesso riempiono i serbatoi installati a monte dell'impianto (detti comunemente satelliti) tramite autobotti e gestiscono i consumi pro-capite con l'applicazione di misuratori volumetrici (contatori).

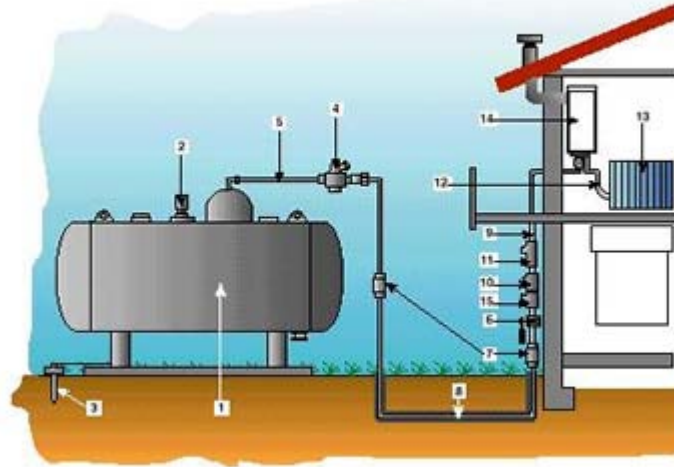


Fig.7 - Schema impianto classico GPL esterno per riscaldamento domestico.

Altro uso è nella trazione individuale come l'automobile (in rari casi anche su scooter, fino alla cilindrata di 155 cc) in cui, nei motori a ciclo Otto è l'alternativa più valida alla Benzina, avendo potere calorifico maggiore del Metano a parità di peso caricato (anche se il metano inquina meno), senza i problemi di corrosione che sono dati da metanolo ed etanolo. Il numero di ottano, ovvero l'indice della resistenza alla detonazione o caratteristica antidetonante di un carburante, è pari a 99. Più alto è il numero di ottano, maggiore è il potere antidetonante del carburante: questo significa un rischio inferiore di combustione anomala (appunto la detonazione). La Benzina in commercio ha numero di ottano 95, sulla base dell'apposita specifica, anche se attualmente diverse compagnie petrolifere propongono con sovrapprezzo carburanti con numero di ottano pari a 98-101.

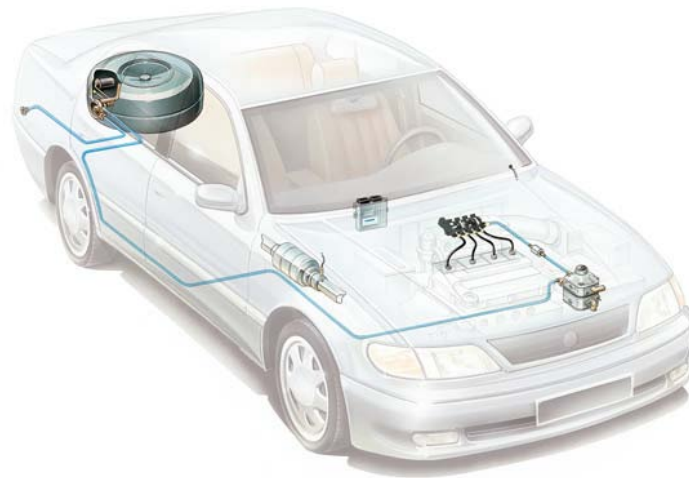


Fig.8 - Spaccato di un moderno impianto gpl per autotrazione.

Per queste sue proprietà, il GPL ha assunto una rilevante valenza economica con moltissimi addetti impiegati nelle fasi a valle della raffinazione - imbottigliamento, distribuzione, produzione di serbatoi e valvole.



Fig.9 - Bombole trasportabili di GPL.

Metano è un idrocarburo semplice (alcano) formato da un atomo di carbonio e 4 di idrogeno; la sua formula chimica è CH_4 , e si trova in natura sotto forma di gas. La combustione di un metro cubo di gas naturale di tipo commerciale generalmente produce circa 38 MJ (10,6 kWh).

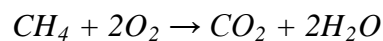
Più precisamente si ha:

- Potere calorifico superiore: 13.284 kcal/kg oppure 9.530 kcal/Nm³
- Potere calorifico inferiore: 11.946 kcal/kg oppure 8.570 kcal/Nm³

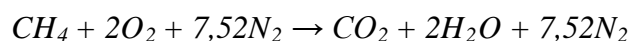
Questi valori sono solo indicativi e variano a seconda del distributore, in funzione della composizione chimica del gas naturale distribuito ai clienti che può variare nel corso dell'anno anche con lo stesso distributore.

Il Metano è il principale componente del gas naturale, ed è un eccellente combustibile poiché produce il maggior quantitativo di calore per massa unitaria. La combustione completa del Metano, CH₄, produce anidride carbonica e acqua, mentre in difetto di ossigeno possono avvenire numerose reazioni conducendo a diversi prodotti, tra i quali, oltre al monossido di carbonio, anche metanolo.

Volendo analizzare nel particolare la combustione del Metano si ha che la reazione stechiometrica di combustione è:



ciò vuol dire che per bruciare 1 mole (o, in modo equivalente, 1 Nm³) di Metano ne servono 2 di ossigeno. In uscita si avranno 1 mole di anidride carbonica e 2 di acqua allo stato di vapore o, in alcuni casi, liquido (quest'ultimo caso si ha se si utilizza il calore latente di vaporizzazione che condensa l'acqua, come avviene nelle caldaie a condensazione). Dato che spesso si utilizza l'aria anziché l'ossigeno puro, bisogna tenere conto anche della presenza dell'azoto. L'aria è teoricamente formata (in volume) da 21% di ossigeno e da 79% da azoto; ciò vuol dire che il rapporto ossigeno/azoto è di 1:3,76. Pertanto la reazione di combustione diventa:



Nella pratica non si brucia mai secondo la reazione stechiometrica. Questo perché rispettando le giuste quantità si rischia di avere incombusti; ecco perché generalmente si cerca sempre di bruciare in eccesso d'aria (o di ossigeno). Dato che stechiometricamente servono 9,52 moli di aria per 1 di

Metano, nella realtà si ha che il rapporto metano/aria è di circa 1:10. Viene ampiamente utilizzato per:

- Produzione di energia elettrica: utilizzato direttamente in impianti turbogas oppure in abbinamento a turbine a vapore (cogenerazione).

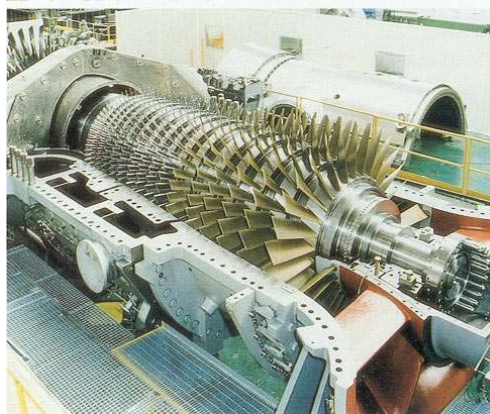


Fig.10 - Turbina a gas con palettatura a vista, durante la fase d'ispezione.

- Riscaldamento domestico : utilizzato nelle classiche caldaie con bruciatori a premiscelazione (in grado di miscelare aria e gas nelle giuste proporzioni prima che si inneschi la combustione, garantendo un ottimo rendimento) , con l'avvento di nuove tipologie di caldaie a condensazione viene sempre più incentivato in luogo delle precedenti caldaie a gasolio, sia per motivi economici che ambientali. Da notare che tutte le nuove abitazioni adottano fin dal principio l'accoppiata caldaia a Metano a condensazione più collettore solare termico. Il Metano risulta allo stato attuale, il combustibile più economico per il riscaldamento ad uso domestico.



Fig.11 - Schema di una tipica caldaia a condensazione a metano.

- Autotrazione : in abbinamento principalmente a motori Otto, è una strada poco perseguita in Italia nonostante una lunga tradizione di progettazione di veicoli ad hoc e adattati. Molto utilizzato nel trasporto pubblico cittadino (dove parecchie amministrazioni cittadine stanno investendo per sostituire i vecchi autobus a Gasolio con nuovi a Metano), latita ancora nel privato per svariati motivi quali mancanza di un'adeguata rete distributiva, perdita di prestazioni apprezzabile con motori tradizionali, autonomia dei veicoli in genere non eccelsa.

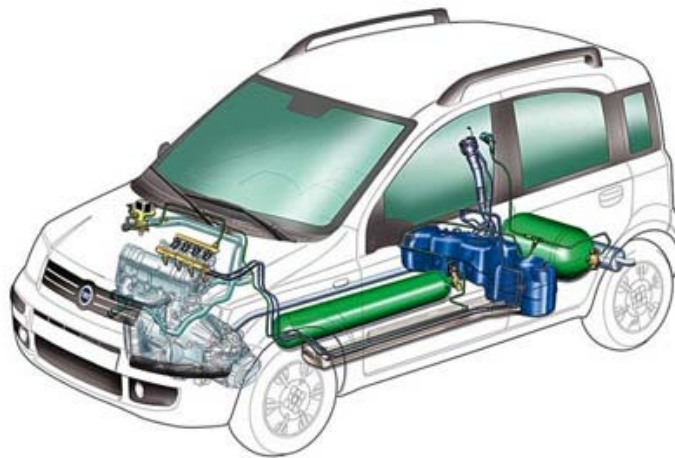


Fig.12 - Schema di massima di un impianto a metano per auto (Fiat Panda NP)

PROPRIETÁ	CARBURANTE			
	CNG	BENZINA	GASOLIO	GPL
Potere calorifico inferiore MJ/kg	45 ÷ 49.8	43.9 ÷ 44.0	42.7	46.3
Potere calorifico inferiore in condizioni commerciali MJ/m ³ o lt	34 ÷ 36	32.1 ÷ 32.95	34.6 ÷ 36.7	23 ÷ 26
Peso specifico a 15 °C; 1 bar kg/ m ³ o dm ³	0.68 ÷ 0.8	0.72 ÷ 0.77	0.81 ÷ 0.86	0.508 ÷ 0.585
Peso specifico a 15 °C; 200 bar kg/dm ³	0,16 ÷ 0,19	-	-	-
Densità relativa all'aria (allo stato gassoso o vapore)	0.53 ÷ 0.62	3.4	> 4 (stima)	1.56
Limiti infiammabilità % volume in aria	5.3 ÷ 15	1 ÷ 7.6	0.5 ÷ 4.1	2.1 ÷ 9.5
Limiti detonabilità % volume in aria	6,3 ÷ 13,5	1,1 ÷ 3,3	-	2.1 ÷ 9.5
Temperatura di autoaccensione in condizioni stechiometriche	540	228	260	457
Velocità di diffusione in aria : cm/sec.	0.16	0.05	-	-
Velocità di galleggiamento in aria : cm/sec.	0.8 ÷ 6	No	No	No
Temperatura di combustione °C	1900	2200	>2000	>2000
Punto di ebollizione °C	- 160	30 ÷ 225	150 ÷ 560	-42.2
Limite max per la salute ppm	-	500	500	-

Fig.13 - Tabella riassuntiva delle caratteristiche chimico-fisiche dei principali carburanti.

1.2- ESTRAZIONE , PRODUZIONE E TRASPORTO

L'estrazione del greggio avviene sia in mare (off-shore) che su terra (on-shore). Prima di effettuare qualsiasi perforazione per poter estrarre fisicamente il petrolio, è necessario attivare quella complessa attività definita "esplorazione": essa è «la ricerca di olio e gas [...] e include rilievi aerei, rilievi geofisici, studi geologici, carotaggi e perforazione di pozzi di ricerca» (da letteratura Langenkamp, 1994; Williams e Meyers, 2003).

Prima bisogna fare quindi una stima delle riserve disponibili in una determinata area, sulla base di modelli geofisici e studi geologici, effettuare carotaggi e perforazioni di ricerca per poter decidere finalmente se valga la pena o meno sotto l'aspetto economico investire ulteriori fondi in prospezioni e iniziare finalmente l'attività estrattiva.

L'impianto di perforazione è composto da una serie di attrezzature e macchinari collocati in un apposito piazzale, sede del cantiere di perforazione. Normalmente l'impianto non è di proprietà della compagnia petrolifera, bensì di compagnie di servizio di perforazione, che noleggiando l'impianto completo del personale addetto al suo funzionamento, e realizzano il pozzo secondo le specifiche del committente.

L'insieme delle attrezzature più importanti è raffigurato nella (**fig.14**) .

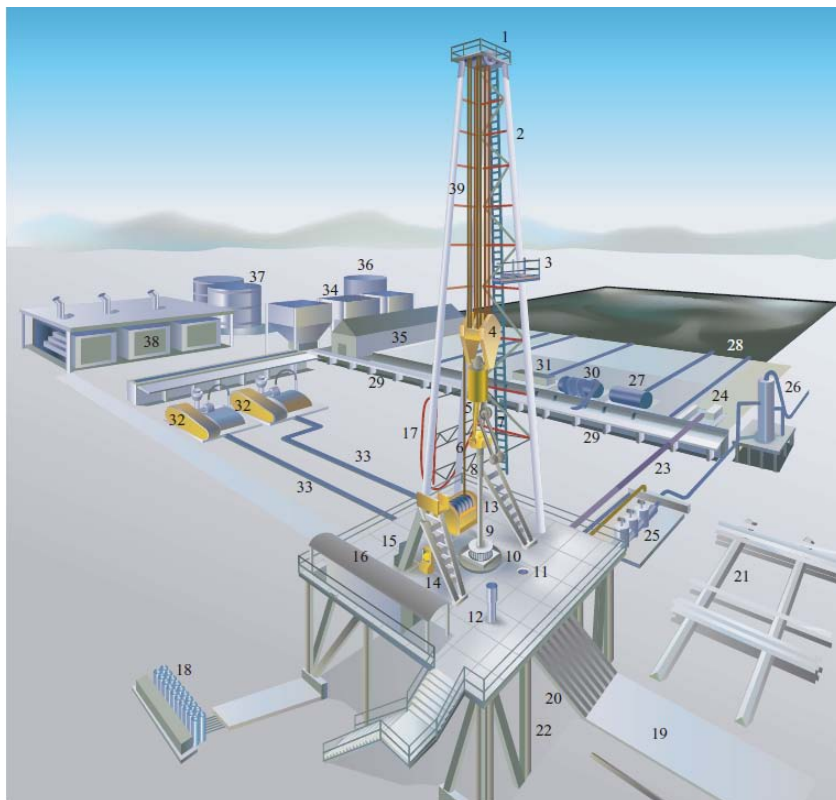


Fig.14 - Principali componenti di un impianto di perforazione.

Si può sinteticamente dire che la perforazione avviene grazie ad uno “scalpello” rotante (sorta di aste cilindriche cave unite tra loro terminanti con un utensile perforante) che viene spinto lungo la torre di perforazione, fino a profondità che oggi arrivano anche a oltre 10 km.

I detriti di perforazione vengono spinti in superficie da fanghi e acqua pompata nel pozzo, che verrà poi rivestito da speciali condotte metalliche per evitare che frani successivamente.

Come già detto l'estrazione può avvenire anche in mare aperto (off-shore), grazie a piattaforme petrolifere come quella in (**fig.15**), enormi strutture solidali al fondo marino che possono svolgere sia attività di prospezione (ricerca di giacimenti, quindi dotate di una certa capacità di muoversi, per quanto limitata) che di estrazione vera e propria (strutture ben più grandi, fisse).



Fig.15 - Piattaforma petrolifera off-shore.

Il GPL (ovvero Gas di Petrolio Liquefatto) è una miscela di idrocarburi costituita essenzialmente da 30 % di propano e 70% di butano. Le temperature critiche del propano e del butano sono molto superiori alla temperatura ambiente, per cui è possibile liquefare questi gas e le loro miscele a pressioni modeste (al massimo 15 bar). Ovviamente, se la temperatura viene mantenuta al di sotto di quella ambiente le pressioni di liquefazione possono essere anch'esse inferiori.

Sarebbe più corretto parlare di vari tipi di GPL, perché possono essere di varia origine e possono essere ottenuti:

- **dall'estrazione:** in quanto nei giacimenti petroliferi i gas si trovano associati al greggio, di cui costituiscono oltre il 2%; i gas vengono canalizzati per la necessaria separazione dai liquidi (come rapidamente descritto nelle righe precedenti). Analogo è il caso dei giacimenti metaniferi, dove propano, butano e altri gas, come a esempio l'elio, sono commisti al metano e rappresentano circa il 5% del prodotto estratto;
- **dalla raffinazione:** in quanto i processi di raffinazione del greggio producono naturalmente dei gas, che i tecnici definiscono un prodotto "fatale", ossia connaturato ai processi chimici attuati. Va da sé che questi prodotti fatali non hanno costi di produzione e, tanto meno, richiedono impieghi energetici. In base alle caratteristiche del greggio stesso e alle strutture insite in raffineria, la produzione di gpl va dal 2,5% al 5% in peso del greggio trattato dal impianto. Nella fig.16 i gas componenti il GPL escono in cima alla colonna di distillazione.

Contrariamente a quello che si può pensare oggi in Europa il GPL è per circa il 55% estratto da giacimenti di GN e per il restante 45% derivato dalla raffinazione del petrolio. In Italia tuttavia il 60% della domanda di GPL è soddisfatto dalle raffinerie nazionali, mentre il restante 40% deriva dalle importazioni e dalla lavorazione del gas naturale.

Nel caso del processo di raffinazione standard il petrolio, prima di poter essere lavorato, deve essere separato dall'acqua, dai sali e dalla sabbia che sono eventualmente presenti in sospensione. Queste operazioni, insieme alla stabilizzazione (allontanamento della frazione gassosa che accompagna il petrolio) vengono effettuati anche a "bocca di pozzo", in fase di estrazione. Si preferisce ripeterli, in maniera molto più approfondita, prima di iniziare qualsiasi lavorazione in raffineria. Il petrolio dissalato e pre-riscaldato, viene alimentato in un forno che lo porta fino ad una temperatura di 350 °C circa (**fig.16**). Dal forno si procede con il trasferimento all'interno della torre di frazionamento (*colonna di distillazione*), la quale è composta da una torre cilindrica in acciaio alta circa 30 m e larga 3,50 m. All'interno della torre ad intervalli regolari si trovano dei *piatti* orizzontali forati, muniti di appositi passaggi, alcuni dei quali sormontati da coperchi detti *campane di gorgogliamento*. La temperatura della torre è elevata alla base e va diminuendo con

l'altezza. I componenti che hanno punto di ebollizione inferiore alla temperatura di riscaldamento (350 °C), salgono la torre sotto forma di vapore. Incontrando i piatti e le campane di gorgogliamento che sono al di sotto della temperatura di ebollizione, i vapori condensano e si depositano sul piatto allo stato liquido. Apposite tubazioni possono raccogliere queste frazioni liquide e allontanarle dalla torre. Le frazioni ad elevato punto di ebollizione che non evaporano entrando nella torre, si depositano sulla base e passano allo stato aeriforme a causa dell'elevata temperatura; successivamente condensano e si raccolgono sui piatti inferiori. La corrente gassosa, man mano che sale in colonna, viene in contatto con il liquido che scende dai piatti di distillazione superiori. Da alcuni piatti di distillazione sono prelevati i prodotti che poi vengono inviati alle lavorazioni successive.

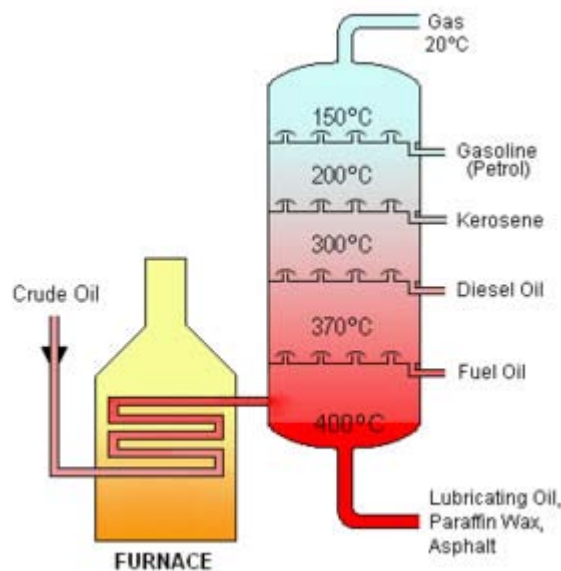


Fig.16 - Colonna di distillazione nei processi di raffinazione del greggio.

Nel punto più basso della colonna si condensano oli combustibili, lubrificanti, paraffine, cere e bitumi, tra i 350° e i 250° C si condensa il gasolio, utilizzato come combustibile per motori diesel e per il riscaldamento domestico. Tra 250° e 160° C il kerosene, un combustibile oleoso usato come propellente per aerei a reazione e impianti di riscaldamento. Tra i 160° e i 70 ° C condensa la nafta, una sostanza liquida usata come combustibile e, come materia prima, per produrre materie plastiche, farmaci, pesticidi, fertilizzanti.

Le benzine condensano tra i 70° e i 20° C. Sono usate, principalmente, come carburante per automobili ed aerei. A 20° C, rimangono gassosi metano, etano, propano e butano. I prodotti gassosi sopra elencati, prima della definitiva commercializzazione, subiranno ulteriori processi di separazione e filtrazione: il topping, il reforming catalitico e l'idrocracking forniscono solo *idrocarburi saturi*, mentre differenti processi di cracking forniscono *idrocarburi saturi ed insaturi*. Gli idrocarburi sono composti organici costituiti da carbonio ed idrogeno. L'atomo di carbonio viene indicato come nucleo centrale portante quattro valenze, le quali consentono il legame con gli atomi di idrogeno. In funzione delle diverse tipologie di legame si possono ottenere molti composti, classificabili in famiglie per analogie di proprietà fisico-chimiche. Le famiglie di composti che interessano il nostro settore sono i gas di petrolio, i quali si suddividono in due grandi famiglie:

- **Idrocarburi saturi o paraffinici**, definiti tali in quanto tutti gli atomi di carbonio sono "saturi" con idrogeno, ovvero sono esauriti tutti i possibili legami con gli atomi di carbonio; sono tipicamente composti stabili che non vengono attaccati né reagiscono con i reagenti chimici.

I composti più comuni sono:

Metano CH ₄	Etano C ₂ H ₆	Propano C ₃ H ₈	Butano C ₄ H ₁₀	Pentano C ₅ H ₁₂
------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--

- **Idrocarburi insaturi od olefinici**, definiti tali in quanto mancano due atomi di idrogeno ed è sempre presente un doppio legame tra due attigui atomi di carbonio; hanno la caratteristica di reagire facilmente e si possono combinare in determinate reazioni con altri composti.

I composti più comuni sono:

Propilene C ₃ H ₆	Isobutilene C ₄ H ₈	Butilene 1° C ₄ H ₈	Butilene 2° C ₄ H ₈
---	---	---	---

Come già specificato in precedenza il GN si trova spesso nei giacimenti di idrocarburi, in forma associata con gli oli oppure separata. E' quindi implicito che anche le tecniche di estrazione siano di derivazione petrolifera. L'estrazione del GN, il cui composto principale è il Metano, avviene mediante pozzi che devono essere disposti in modo opportuno: l'estrazione massiccia e concentrata in pochi punti porta allo sconvolgimento delle caratteristiche del giacimento. Tutti i gas naturali alla testa del pozzo contengono vapor d'acqua o sostanze liquide trascinate dal giacimento, materiali solidi quali particelle di roccia. Per eliminare queste impurità allo stato solido si usano dei separatori meccanici centrifughi, mentre il vapor d'acqua è eliminato in un secondo tempo per evitare la formazione di ghiaccio.

I due idrocarburi devono essere trasportati dal luogo di estrazione fino ai centri di raffinazione e consumo principalmente attraverso due modi: condotta (*pipeline*) o via mare tramite navi cisterna.

La scelta tra le due tecnologie di trasporto dipende dai costi di investimento/esercizio e dalla sicurezza dell'approvvigionamento di energia nel tempo, sia in termini tecnici (con particolare riguardo all'affidabilità della infrastruttura), sia in termini strategici, in relazione alle crisi politiche verificatesi all'inizio del terzo millennio nelle regioni della Terra più ricche di idrocarburi.

La soluzione cisterna ha costi d'investimento relativamente inferiori, a fronte di costi d'esercizio ben superiori. Inoltre consente una certa flessibilità, nella scelta dei mercati cui accedere per l'approvvigionamento degli idrocarburi e un certo grado di libertà nella locazione dei terminali di ricevimento e stoccaggio del prodotto (in sostanza porti e stazioni di stoccaggio li posso piazzare quasi d'ovunque). Di contro sussistono problemi circa la sicurezza ambientale di questo genere di trasporto, nonostante gli enormi passi in avanti fatti in questo versante (ad esempio l'adozione di doppi scafi).



Fig.17 - Nave cisterna in navigazione.

Per il greggio si adotta questa tipologia di trasporto su distanze medio-brevi, grazie a navi cisterna comunemente dette “petroliere” (**fig.17**), che possono arrivare a 500.000 tonnellate di dislocamento a pieno carico, atte al trasporto di enormi quantitativi di petrolio fino alle stazioni di pompaggio situate al largo di porti adibiti a questo scopo (questo perché le dimensioni ragguardevoli di tali navi non permettono l’entrata nei porti). Per il trasporto del derivato che a noi interessa (GPL), si usano ferrovie, autocisterne e navi particolari (**fig.18**) con serbatoi in pressione e refrigerati, con una modalità di trasporto simile a quella del LNG (che vedremo più avanti).

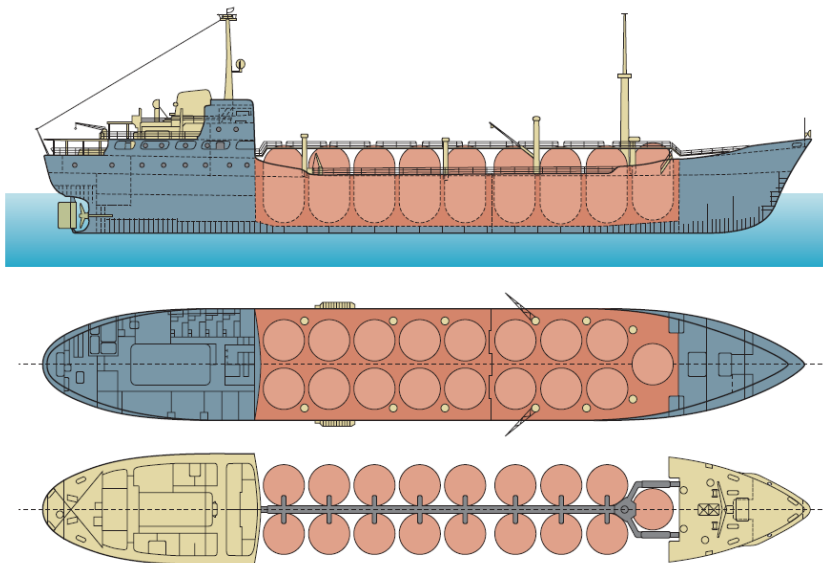


Fig.18 - Motocisterna per il trasporto di GPL.

Per il GN, il trasporto via mare è un'attività relativamente giovane e richiede infrastrutture veramente notevoli: 2 stazioni per la liquefazione/rigassificazione, più impianti intermedi di compressione/ricompressione.

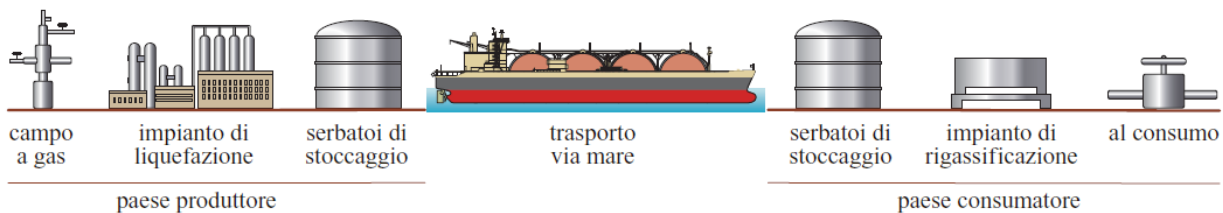


Fig.19 - Ciclo di produzione e trasporto del LNG.

Infatti in genere si produce a questo scopo o LNG (GN liquefatto), o CNG (GN compresso di 300 volte il volume iniziale), tutte tecniche con un alto rendimento anche se complesse e costose.

Vengono attuate per evitare almeno in parte le classiche direttrici dei gasdotti, con i relativi problemi di natura geopolitica e alti balzelli di transito. Il gas naturale è costituito principalmente da metano e, in minor misura, da etano, propano, butano e da altri idrocarburi più pesanti, oltreché da alcune frazioni non idrocarburiche (tra queste ricordiamo l'azoto, il biossido di carbonio, i composti dello zolfo, l'acqua e talvolta il mercurio). Il processo di liquefazione richiede che alcune componenti, idrocarburiche e non, vengano rimosse, parzialmente o totalmente, durante il processo, per eliminare le sostanze inquinanti e per controllare il potere calorifico del prodotto da trasportare. Il risultato di questo pretrattamento del gas e del successivo processo di liquefazione è un GNL con composizione media di metano per il 95% e con il restante 5% costituito da componenti idrocarburiche leggere e azoto.

Il gas naturale liquefatto viene immagazzinato e trasportato a pressione atmosferica. Il processo di liquefazione prevede pertanto la liquefazione per pressurizzazione e successivamente il raffreddamento, fino a raggiungere la condizione di stoccaggio e immagazzinamento a pressione atmosferica e a temperatura prossima a quella di ebollizione del metano.

Dalla (**fig.20**) è visibile un *rigassificatore*, un impianto che permette di riportare lo stato fisico di un fluido, che in natura si presenta sottoforma di gas, dallo stato liquido a quello aeriforme; i più noti impianti di questo tipo sono i rigassificatori LNG, utilizzati nel ciclo di trasporto del gas naturale. Possono essere anch'essi on-shore oppure off-shore.

Per la ricezione e la rigassificazione del LNG sono necessari i terminali per lo scarico delle navi, gli impianti di ricezione e stoccaggio e gli impianti di vaporizzazione (**fig.19**). Le metaniere, dopo essere state ancorate e aver effettuato la connessione ai bracci di scarico degli impianti del porto, iniziano a trasferire il LNG nei serbatoi di stoccaggio a terra, impiegando le pompe di bordo. La fase di scarico generalmente si protrae per circa 12 ore, vista la dimensione del carico. Il LNG viene immagazzinato sempre in fase liquida in opportuni serbatoi a pressione atmosferica. Nuove tecnologie consentiranno in futuro di effettuare le operazioni di rigassificazione direttamente durante lo scarico. Non sono stati ancora realizzati impianti off-shore di ricezione di LNG, ma sono stati effettuati in questo senso numerosi studi di progettazione e fattibilità economica: sono state studiate due soluzioni, che si differenziano per l'operatività in funzione della profondità dei fondali, la quale dipende a sua volta dalla distanza dalla costa alla quale vengono posizionati gli impianti (20 km e oltre). Le due soluzioni sono le strutture a gravità (GBS, Gravity-Based Structures) e le unità di stoccaggio e rigassificazione (FSRU, Floating Storage and Regasification Units); mentre le prime poggiano sul fondo, le seconde sono galleggianti, solamente ancorate, e possono essere installate su fondali scoscesi in condizioni ambientali più severe.



Fig.20 - Rigassificatore on-shore di Panigaglia.



Fig.21 - Terminale di rigassificazione off-shore di LNG di tipo di GBS.

Normalmente la liquefazione di un gas viene condotta per agevolare il trasporto in serbatoi, riducendone il volume: di fatto 1 m^3 di LNG equivale a circa $0,62 \text{ m}^3$ di olio.

Tale sistema viene in particolare adottato in occasione del trasporto marittimo di gas industriali come metano, LNG, etilene, GPL, ammoniaca ed altri derivati del petrolio. Il trasporto avviene in condizioni criogeniche o di debole pressurizzazione. La rigassificazione viene realizzata negli impianti di destinazione attraverso l'innalzamento della temperatura e l'espansione del gas in impianti la cui complessità dipende dalle condizioni di temperatura raggiunte per ottenere la fase liquida. Altra possibilità è quella di effettuare i complessi processi di liquefazione, stoccaggio e carico su una piattaforma mobile ovvero progetti di impianti di liquefazione di LNG da installare in condizioni climatiche e marine (off-shore).

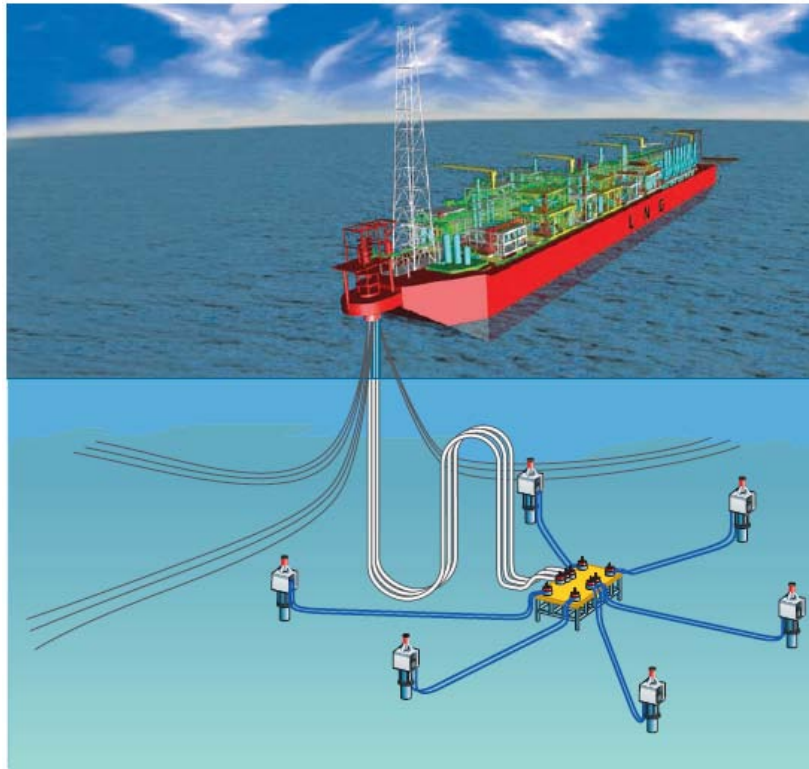


Fig.22 - Terminale di liquefazione e stoccaggio off-shore di LNG.

Gli impianti oggi disponibili FLNG (Floating Liquefied Natural Gas), presentano una riduzione dei costi del 30% rispetto agli impianti costruiti a terra, non tanto per i processi impiegati, quanto per la riduzione di impianti accessori non richiesti per un impianto galleggiante, oltre a presentare un aumento di competitività per i tempi minori di costruzione. Inoltre, possono essere riposizionati su altri siti e quindi il loro costo può essere ammortizzato su più progetti. Un altro aspetto che caratterizza i FLNG è la minimizzazione dell'impatto ambientale sulla costa, in quanto essi non richiedono impianti e infrastrutture su di essa e al contempo assicurano una maggiore sicurezza per la distanza da aree abitate e da zone industriali. Altra tecnologia di conversione è quella denominata GTL attualmente tra le più interessanti, perché consente di trasformare il gas naturale in combustibili di sintesi (cherosene, gasolio, ecc.) o in prodotti chimici (metanolo o dimetiletere). Essa permette l'applicazione ad un'ampia gamma di tipi di giacimenti a gas non richiede quindi quegli investimenti fissi relativi a navi mercantili e a terminali che invece sono richiesti per il GNL. I processi di conversione proposti per la tecnologia GTL sono il classico Fischer-Tropsch (sviluppato inizialmente in Germania nel 1923), nelle varie versioni con differenti tipi di catalizzatori al ferro o al cobalto; il processo con produzione di metanolo, il cui mercato risulta attualmente saturo in attesa della sua promozione a combustibile per turbine a gas, e quello con

produzione di dimetiletere (DME), attualmente in fase di sviluppo, con grandi potenzialità nel futuro mercato globale dell'energia. Altra tecnologia utile per il trasporto è quella di produzione CGN (Compressed Natural Gas). L'idea alla base della tecnologia CNG è il semplice aumento della densità per compressione. Il fattore di riduzione del volume, compreso tra 250 e 300 volte il volume iniziale, richiede pressioni elevate e implica particolari attenzioni alla sicurezza per quanto riguarda l'immagazzinamento nei serbatoi. Lo sviluppo di particolari soluzioni tecniche per lo stoccaggio del gas compresso sta facendo emergere la tecnologia CNG come una possibilità di sviluppo di riserve di gas remote o altrimenti non economicamente sfruttabili. L'efficienza del trasporto (rapporto tra gas giunto a destinazione e gas immagazzinato) è del 95%, molto elevata se si considera che il LNG presenta efficienze dell'ordine dell'85%, a causa delle perdite per vaporizzazione.

Altra tecnologia interessante è quella GTS, attualmente limitata ad alcune applicazioni. Le ricerche svolte hanno portato all'introduzione di due forme di trasporto degli idrati: la prima consiste nella produzione degli idrati in forma di polvere granulare da trasportare a pressione atmosferica e a temperature comprese fra 30 °C e 45 °C; la seconda consiste nel produrre gli idrati e trasportarli in una sospensione (*slurry*) di idrati e acqua di formazione. Le distanze previste per il trasporto sono dell'ordine di 3.000 km con portate non elevate. Rimangono i progetti GTW che consistono nella produzione di elettricità in prossimità dei centri di produzione del gas e nella conversione in corrente continua ad alta tensione per il trasporto su grandi distanze, fino a raggiungere il luogo di utilizzazione. La tecnologia GTW è in crescita e viene utilizzata spesso nel recupero del gas associato all'olio altrimenti bruciato in torcia, con ricadute sia economiche sia ambientali.

L'altra opzione è quella delle pipeline (**fig.23**), siano esse interrate che sottomarine: attualmente vengono molto usate le interrate (sia per gas che petrolio), mentre le condotte sottomarine sono decisamente limitate all'attraversamento di mari, mentre per il trasporto oceanico si preferisce ancora affidarsi alle navi (per problemi tecnici e soprattutto di costi).



Fig.23 - Immagine di un gasdotto su terraferma

La principale limitazione all'impiego dei gasdotti per il trasporto del gas naturale consiste nella necessità di attraversare i mari che separano il paese produttore da quello fornitore. In particolare, i fondali con profondità di oltre 3.000-3.500 m e con una morfologia particolarmente accidentata costituiscono ancora oggi un enorme problema tecnologico e anche in questo caso la tecnologia di trasporto prevede un incremento dei costi. La valutazione finale degli investimenti fornisce indicazioni su quali siano le tecnologie più convenienti. Si evidenzia come per produzioni non elevate e su distanze medie l'opzione più conveniente risulti il CNG, seguito dal GTS e dal GTW; il GTL occupa la quarta posizione, seguito dal LNG e infine dal trasporto in condotta (**fig.24**).

Questo risultato mette in evidenza che il peso dei costi delle infrastrutture necessarie per il GTL, il LNG e il gasdotto penalizza fortemente queste tecnologie.

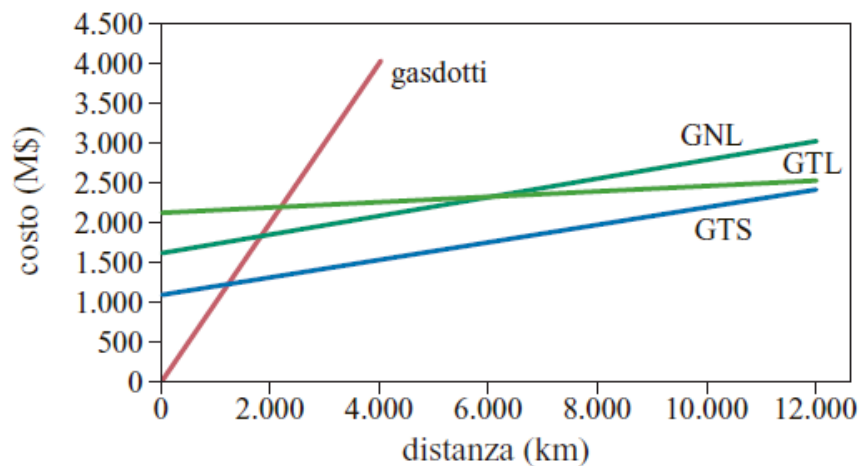


Fig.24 - Costi di diversi sistemi di trasporto in funzione della distanza.

Il trasporto di LNG per mezzo di metaniere è iniziato negli anni Sessanta ed è decollato negli anni Settanta. Due sono state le linee di progettazione, basate su due diverse concezioni e ancora oggi adottate:

1) i serbatoi contenenti il LNG sono strutturalmente integrati con il doppio scafo della nave, sul quale vengono scaricati gli sforzi indotti dal carico;

2) i serbatoi sono indipendenti dalla struttura della nave e quindi devono essere autoportanti.

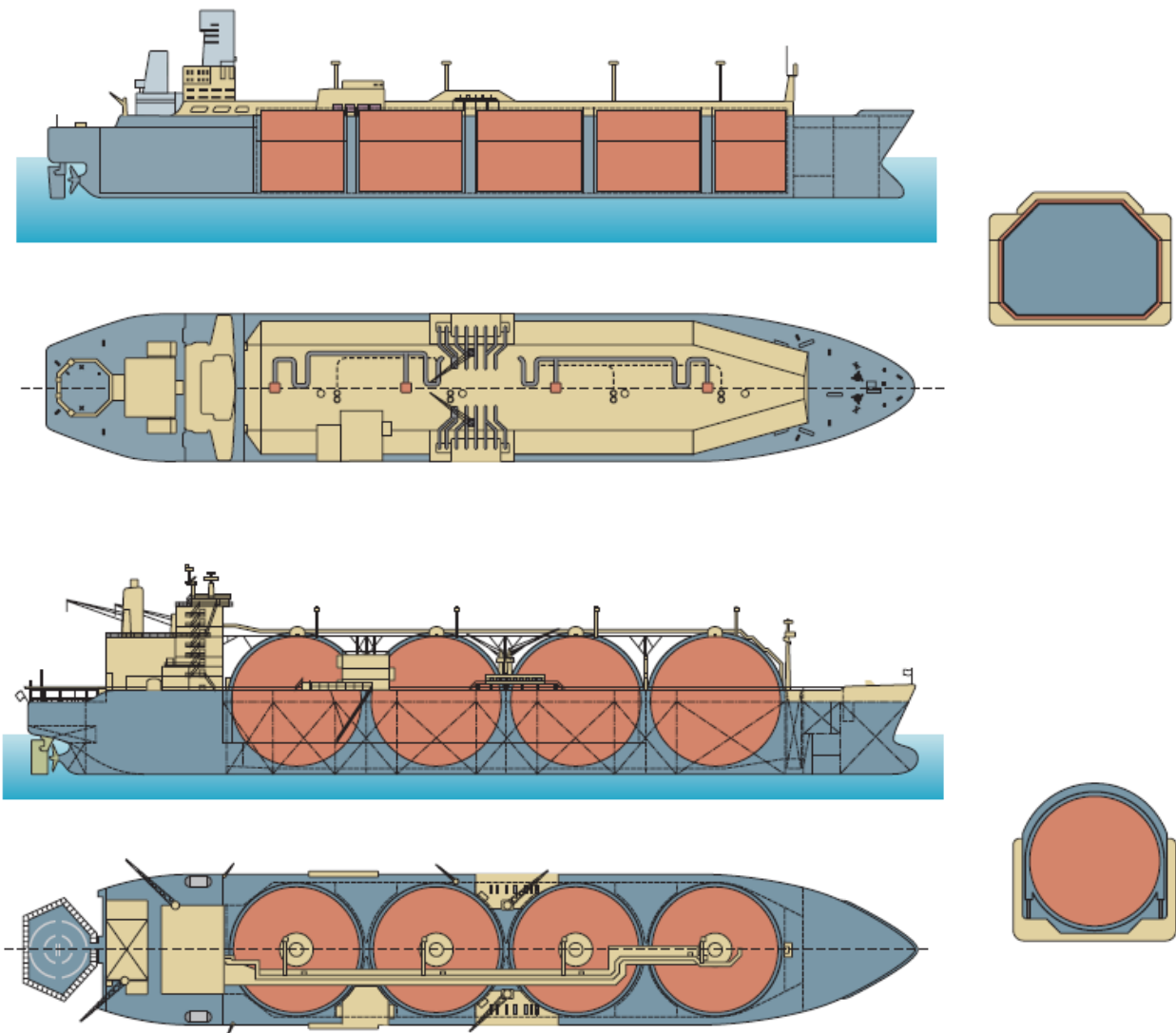


Fig.25 - Tipi di navi metaniere: con serbatoi integrati e con serbatoi autoportanti indipendenti dallo scafo.

Il LNG è un liquido estremamente freddo, non tossico e non corrosivo, che può essere manipolato e immagazzinato a pressione atmosferica; la liquefazione dà luogo a un efficace sistema di trasporto del gas naturale su freddo e più pesante dell'aria circostante: si forma così una nube di vapore sopra il liquido rilasciato. Tali vapori possono infiammarsi solo se posti a contatto con una sorgente di accensione all'interno del suo intervallo di infiammabilità.

PROPRIETÀ	GNL	GPL	BENZINA	GASOLIO
Punto di flash (°C)	-152	-69	-10	60
Punto di ebollizione (°C)	-124	-6,7	32	204
Intervallo di infiammabilità in aria (%)	5-15	2,1-9,5	1,3-6	N/A
Temperatura di autoaccensione (°C)	540	454-510	257	Circa 315
Pressione di stoccaggio	Atmosferica	Pressurizzato (atmosferica se refrigerato)	Atmosferica	Atmosferica
Comportamento nel caso di versamento	Evapora, forma una nuvola visibile. Parti della nuvola possono essere infiammabili o esplosive in certe condizioni	Evapora, forma una nuvola visibile. Parti della nuvola possono essere infiammabili o esplosive in certe condizioni	Evapora, forma una pozza infiammabile; è necessario un intervento di bonifica ambientale	Evapora, forma una pozza infiammabile; è necessario un intervento di bonifica ambientale
Altri rischi	Nessuno	Nessuno	Irrita gli occhi, narcosi, nausea, altri	Irrita gli occhi, narcosi, nausea, altri

Fig.26 - Principali caratteristiche del LNG confrontate con quelle di altri prodotti petroliferi liquidi.

Con il ciclo CNG le cose sono diverse trattandosi di gas compresso e comprende le seguenti fasi (**fig.27**) :

- a) eventuale trattamento del gas (non sempre richiesto);
- b) compressione e raffreddamento (opzionali);
- c) caricamento e trasporto con navi;
- d) ricezione e scarico per decompressione.

Il ciclo risulta quindi molto semplice e non presenta la necessità di impianti con particolari caratteristiche, se non quella di un'elevata capacità di compressione, comunque entro i limiti tecnologici attuali. Con la tecnologia CNG si ha un fattore di riduzione del volume variabile tra 200 e 250 volte, poco più di un terzo di quello ottenibile con il sistema di trasporto LNG. Inoltre, qualora il gas venga leggermente raffreddato (a circa 30 °C), la pressione diventa circa la metà della pressione di stoccaggio a temperatura ambiente; si può così ottimizzare l'immagazzinamento

riducendo la pressione e i rischi associati, e ottenere una capacità di immagazzinamento uguale o maggiore di quella dello stoccaggio a temperatura ambiente.



Fig.27 - Ciclo di produzione e trasporto del CNG.

Le navi ovviamente saranno riprogettate per imbarcare tale gas compresso e anche qui le tecnologie sono diverse:

- 1- Coselle
- 2- Volume Optimized TRANsport and Storage (VOTRANS) della EnerSea Transport;
- 3- Pressurized Natural Gas (PNG) della Knutsen OAS;
- 4- Gas Transportation Module (GTM) della TransCanada
- 5- Composite Reinforced Pressure Vessel (CRPV) della Trans Ocean Gas.

Queste ultime due tecnologie ricorrono allo stesso principio di base, ossia all'impiego di contenitori realizzati in strutture miste di acciaio e materiale composito.

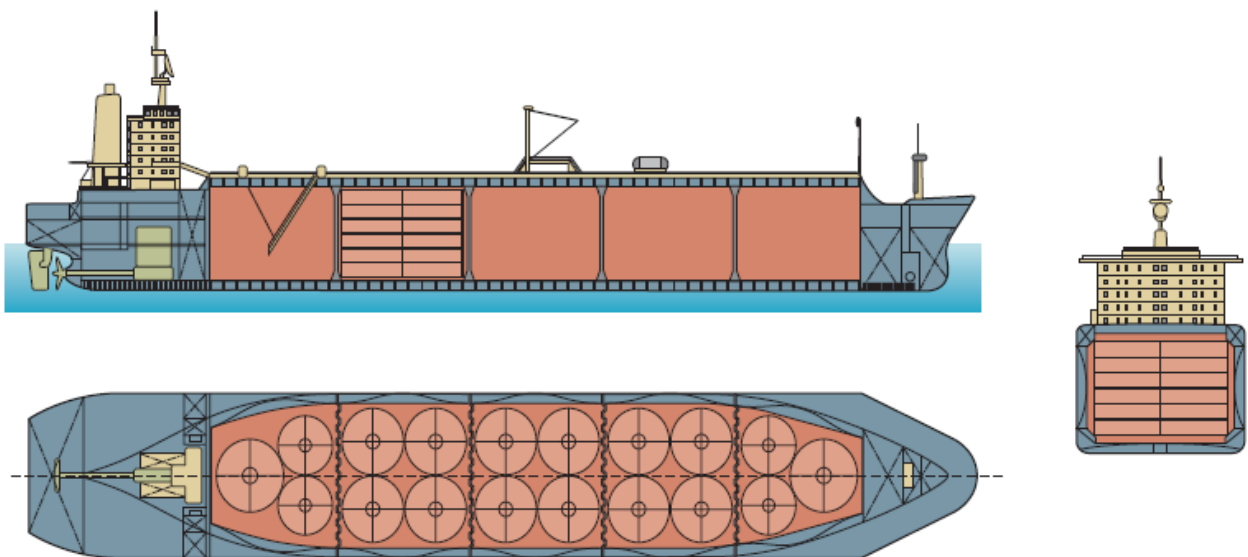


Fig.28 - Nave per il trasporto di CNG con tecnologia Coselle.



Fig.29 - Navi per il trasporto di CNG con tecnologia VOTRANS, a serbatoi orizzontali e verticali.

Ecco di seguito un veloce confronto tra le tecnologie adottate più comuni per il trasporto di CNG:

CARATTERISTICHE	VOTRANS	COSELLE	TRANS OCEAN GAS	PNG
Capacità	5-50·10 ⁶ Sm ³	1,5-35·10 ⁶ Sm ³	5-35·10 ⁶ Sm ³	2-30·10 ⁶ Sm ³
Distanza trasporto	350-7.500 km	Fino a 3.500 km	-	Fino a 5.000-6.000 km
Tipologia	Tubi di grande diametro contenuti in scatole isolate e riempite di azoto	Circa 144 bobine di piccolo diametro, tipicamente costituite da 1.600 km di tubi da 6" DN	Serbatoi in PEAD con estremità in acciaio inossidabile con rivestimento in fibre di vetro o di carbonio	Cilindri in acciaio di 1 m di diametro e 19-38 m di lunghezza
Pressione	90 bar	250 bar	250 bar	250 bar
Temperatura	-30 °C	0 °C	5 °C	ambiente
Dimensioni nave	8-15·10 ⁶ m ³	16·10 ⁶ m ³	15·10 ⁶ m ³	20.000 tsl

Un'ultima tecnologia di trasporto si basa fundamentalmente sulla trasformazione di GN in idrati (sotto forma di cristalli di ghiaccio in pellets o slurry), ma non ha ancora avuto sbocchi commerciali, nonostante un abbassamento stimato dei costi totali rispetto al LNG di circa il 26%.



Fig.30 - Ciclo di produzione e trasporto del GTS.

1.2.1- Soluzioni alternative per la produzione di Metano

I metodi di estrazione/produzione sono svariati ma fundamentalmente il GN, di cui il Metano è un componente fondamentale, s'estrae dai giacimenti di gas/idrocarburi.

L'esigenza da una parte di rispettare le nuove normative internazionali (a livello europeo e globale) come ad esempio la **Direttiva 2009/28/CE** sulle fonti rinnovabili, che rientra all'interno di un più ampio pacchetto di provvedimenti europei su energia e clima al 2020 (riguardanti i settori ETS, settori non-ETS, la cattura e il sequestro del carbonio), concepiti in maniera integrata nell'ambito della strategia europea per il negoziato internazionale sul clima (che, come noto, cercherà di varare un protocollo "Post Kyoto" capace di fornire risposte efficaci per la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici), da una parte di ridurre la quota di approvvigionamento dall'estero di GN (e quindi di Metano), ha convinto parecchie compagnie di estrazione e industrie ha valutare metodi alternativi, quantunque ancora non competitivi con quelli classici e non estendibili su larga scala e grandi volumi di produzione.

La **Direttiva 2009/28/CE** del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE afferma l'obiettivo quantitativo di una quota di energia da fonti rinnovabili pari al 20% al 2020 sul consumo energetico finale lordo. In coerenza con questo obiettivo generale, l'allegato I parte A stabilisce obiettivi obbligatori al 2020 differenziati per gli Stati membri, compresi fra il 10% e il 49% del consumo energetico finale lordo (Italia 17%). Ai fini del calcolo dell'obiettivo, le fonti rinnovabili riconosciute dalla direttiva sono: eolica, solare, aerotermica (calore atmosferico), geotermica (calore sotterraneo), idrotermica (calore di acque superficiali), maremotrice, idroelettrica, biomassa (frazione biodegradabili di prodotti, rifiuti e residui), gas da discarica, gas residuati da processi di depurazione e biogas.

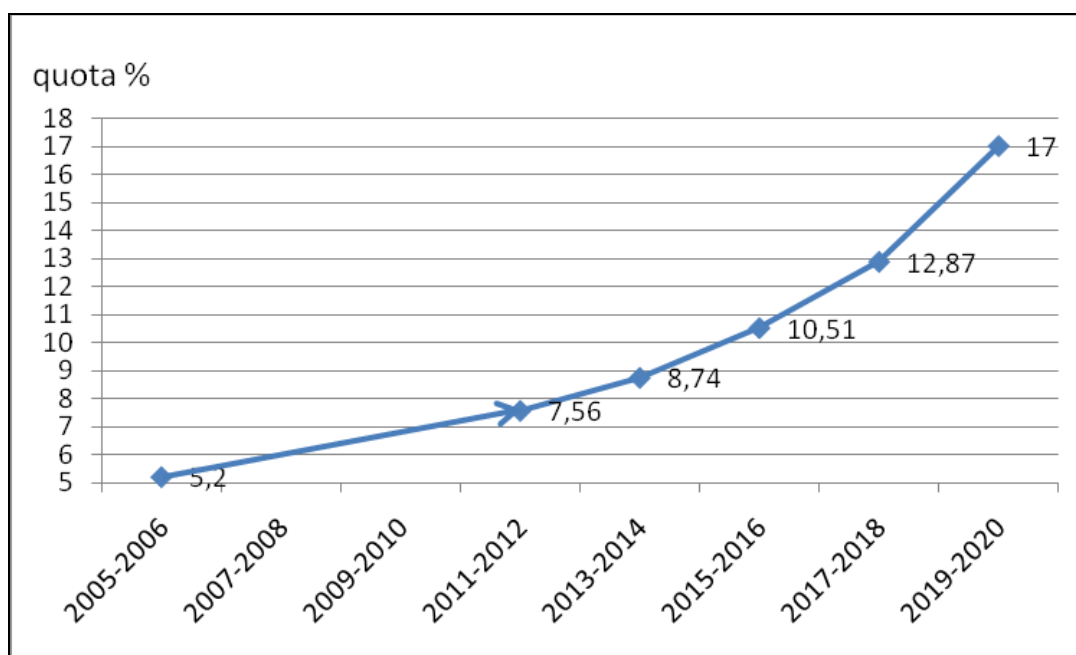


Fig.31 - Fonti rinnovabili: traiettoria indicativa dell'Italia 2011-2020 (Fonte: Direttiva 2009/28/CE)

Cosa fissa la Direttiva in particolare?

- Fissa (20%) per ogni paese dell'UE la quota di energia che dovrà ESSERE RICAVATA da Fonti di Energia Rinnovabile entro il 2020; la quota assegnata all'Italia è pari al 17%.
- L'incidenza delle FER dovrà essere computata sugli usi finali lordi di energia.
- Il fabbisogno di carburante per autotrazione dovrà essere coperto per il 10% da energie rinnovabili.
- Se i bio-carburanti deriveranno da rifiuti la loro incidenza sarà considerata doppio.

Shale Gas : il GN estratto dalla frantumazione delle rocce, ovvero il gas “non convenzionale”

L'*unconventional* è gas naturale finora rimasto inaccessibile, per problemi tecnici ma soprattutto perché la sua estrazione risultava non competitiva sul piano economico con quella tradizionale.

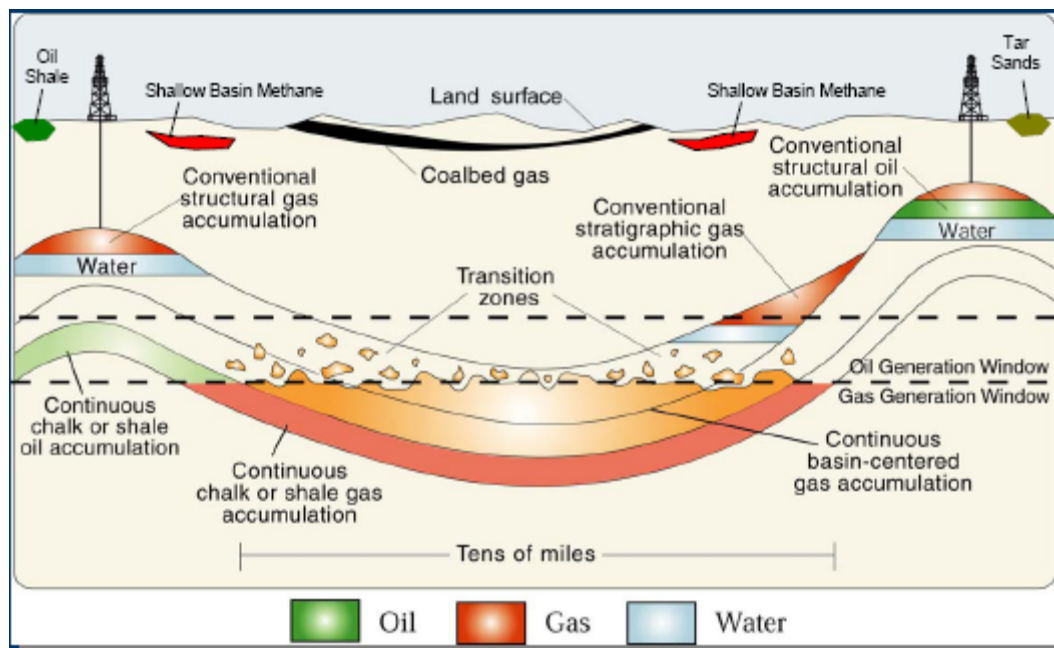


Fig.32 - Schema di massima del concetto di funzionamento del Fracking, ovvero il processo tecnologico che permette di ottenere lo shale gas.

Lo Shale Gas non è altro che GN estratto da formazioni di rocce metamorfiche (shale, scisti) – tipicamente argille – caratterizzate da una permeabilità molto bassa e dunque da una elevata capacità di intrappolare l’eventuale gas generato in loco per trasformazione (in tempi geologici) di materiale organico. Il gas intrappolato nel giacimento può essere presente come gas libero nei macropori (e nelle fratture) della roccia madre sia come gas adsorbito dal materiale organico presente nella matrice argillosa. Per poter essere estratto lo Shale Gas richiede, dopo la fase di perforazione del giacimento, l’immissione di acqua ad alta pressione (con additivi chimici appositi) per favorire la frantumazione del materiale e il rilascio del gas dal giacimento. Cosa ha reso competitiva questa tecnica di estrazione con quella tradizionale?

- Il miglioramento delle tecnologie di trivellazione
- L’andamento del prezzo del mercato del gas naturale.

Dopo il 2000 infatti si è registrato un rapido sviluppo nel settore dello Shale Gas, ad opera degli USA, grazie ai notevoli risultati ottenuti in Texas. Negli Stati Uniti, l'essere riusciti a rendere non solo tecnicamente possibile, ma economicamente vantaggioso lo sfruttamento di questi giacimenti ha stravolto lo scenario energetico nazionale. Oggi, l'impressione è che questo cambiamento possa essere contagioso e che ci siano forti spinte in questa direzione; negli USA :

- Metà del GN consumato è prodotto da pozzi trivellati negli ultimi 3-4 anni
- Nel 2008 , la produzione di GN da fonti non convenzionali è stata pari a circa il 40% della produzione di GN e ha rappresentato circa il 35% dei consumi di GN negli USA (che però ne impiegano quasi nulla nell'autotrazione).

La scoperta di ingenti risorse di Shale Gas in Europa potrebbe portare a cambiamenti significativi dello scenario energetico. Il Consiglio Europeo del 4 febbraio 2011 si è concluso con la decisione di valutare le potenzialità concrete nel Vecchio Continente dei giacimenti di gas convenzionale e non convenzionale, per conseguire una sempre maggiore sicurezza degli approvvigionamenti energetici.

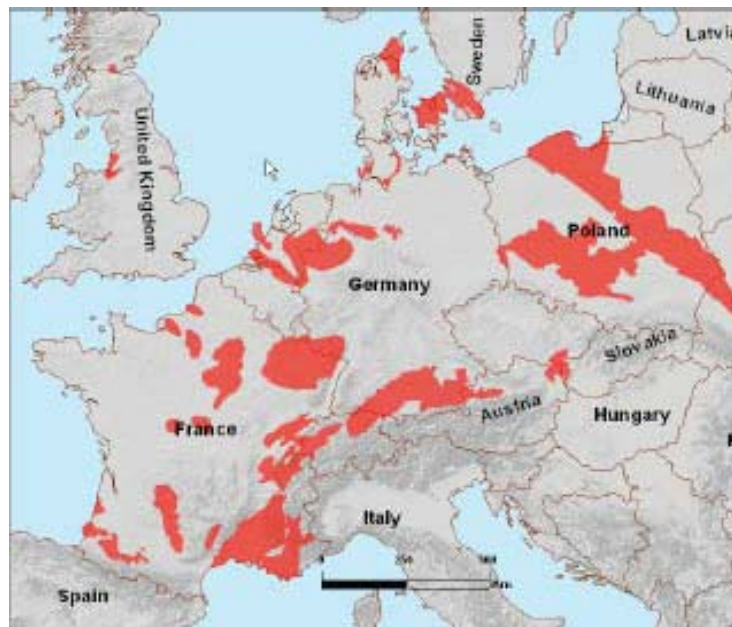


Fig.33 - Giacimenti provati di Shale Gas europeo.

Da indagare ovviamente non è tanto la disponibilità di gas convenzionale, che è nota, ma quella del più misterioso unconventional, cioè di quel gas naturale che geologicamente è stato rinchiuso fin ora in rocce impenetrabili. In maniera del tutto ovvia, gli USA cercano, attraverso programmi internazionali, come il GSIG, di portare anche altri Paesi, in Europa e nel resto del mondo, verso lo sfruttamento di questa tecnologia. In Europa, è la Polonia il Paese con le più importanti risorse di Shale Gas. Tra il 2007 e il marzo 2011 il Ministero dell'Ambiente ha garantito 80 concessioni per l'esplorazione di campi di Shale Gas. In capo a due o tre anni, la Polonia potrebbe arrivare a produrre, e vendere globalmente, Shale Gas. Riuscire a sfruttare questi giacimenti dal punto di vista commerciale potrebbe rivelarsi estremamente importante per l'Europa, ma comporterebbe un ripensamento generale di strategie, rapporti e diplomazie energetiche di non poco conto. Un così improvviso aumento dell'offerta avrebbe effetti sui prezzi da gestire accuratamente. A farne le spese in maniera diretta, gli USA insegnano, sarebbe il gas liquido (LNG) ma anche i possibili impatti su nucleare e rinnovabili sono da valutare con cura. Insomma, si tratta di un *affaire* delicatissimo che interviene su uno scenario globale, quello energetico, tutt'altro che chiaro e stabile in questo periodo. Va da sé che sebbene le opportunità offerte dallo Shale Gas siano moltissime, sussistono ancora dubbi sulla sua estrazione e sull'impatto ambientale che essa produce: l'USGS (Agenzia del Dipartimento Interni USA), l'EIA, l'American Association of Petroleum Geologists evidenziano la necessità di continuare le indagini poiché le conoscenze sullo Shale Gas sono ancora agli inizi, seppur l'estrazione e l'uso di Shale Gas negli USA abbiano contribuito ad abbassare il prezzo del GN sul mercato e a diminuire la dipendenza dall'estero. Le problematiche d'impatto ambientale invece sono legate alle elevate portate d'acqua per la frantumazione degli scisti (evidenziando possibili problematiche d'inquinamento a livello di falde acquifere). Su questo hanno concordato diversi studi, portati avanti dal DOE (Dipartimento dell'Energia USA) e il MIT (Massachusetts Institute of Technology). Si tratta in definitiva di una tecnica alternativa di estrazione del GN fossile, che non rientra nella produzione di Metano a basso impatto ambientale.

Biometano : il Metano prodotto tramite la fermentazione di biomasse, reflui fognari/zootecnici e frazione umida RSU

Nel quadro di un maggiore sfruttamento delle fonti rinnovabili e di un intelligente smaltimento dei rifiuti e delle biomasse di scarto, s'inserisce la produzione di Biogas, ovvero gas con un'alta percentuale di gas Metano.

Il termine Biometano si riferisce a un biogas che ha subito un processo di raffinazione per arrivare ad una concentrazione di metano del 95% ed è utilizzato come biocombustibile per veicoli a motore al pari del gas naturale (o Metano fossile). Il Biogas è prodotto attraverso la decomposizione biologica della sostanza organica in assenza di ossigeno in un processo conosciuto come Digestione Anaerobica (DA). La DA può avvenire in ambiente controllato (digestore) con una produzione di biogas con percentuale di Metano pari al 55-65%, o anche nelle discariche in seguito alla decomposizione dei rifiuti: in questo caso il Biogas o gas da discarica contiene una percentuale di metano pari al 45%. Il Biogas grezzo può essere bruciato per produrre calore o elettricità dopo aver subito minimi trattamenti di filtrazione e depurazione.



Fig.34 - Impianto di produzione di Biogas / Biometano.

Le principali materie prime utilizzabili nel processo di DA sono:

- Refluo di fogna
- Reflui zootecnici
- Rifiuti alimentari di origine commerciale o domestica (FORSU)
- Rifiuti da giardinaggio e gestione del verde
- Produzioni agricole dedicate

Tuttavia, la materia prima più comune in Europa è il refluo di fogna, utilizzato in un trattamento di DA integrativo del processo di depurazione. In Gran Bretagna circa il 75% dei reflui fognari è trattato in questo modo ed il gas che ne deriva è utilizzato per produrre calore ed elettricità. A Lille, in Francia, il sistema fognario cittadino è fonte di materia prima per produrre biogas che è successivamente raffinato per essere utilizzato come combustibili per gli autobus. Le altre fonti di materia prima citate non sono integrate in un sistema di raccolta così capillare come per i reflui civili e quindi è necessario affrontare le problematiche relative al loro immagazzinamento di volta in volta. I rifiuti dell'agricoltura o le colture dedicate possono essere trattati in loco in piccoli digestori, come accade in Germania o in Italia, ma il processo è più efficace se si concentrano reflui e residui agricoli provenienti da più fonti in un unico grande impianto. Per utilizzare il rifiuto alimentare (FORSU) è basilare separarlo dalle altre tipologie di rifiuto; per questo è conveniente realizzare un impianto di DA integrato in un sito di trattamento dei rifiuti.

Il Biometano viene prodotto attraverso un processo costituito da 3 fasi:

- Pre-trattamento : questa fase comprende qualsiasi tecnica di selezione, triturazione e miscelazione della materia prima (rifiuto organico) per renderla più adatta possibile al digestore;
- Digestione : è il processo principale durante il quale la sostanza organica è trasformata in Biogas e digestato che è il residuo finale del processo;
- Raffinazione : questo è il processo in cui il Biogas grezzo è trasformato in un combustibile ad alto contenuto di Metano ($\geq 95\%$) eliminando la CO_2 ed altre impurità e contaminanti. Il processo di digestione dura circa 15-20 giorni a seconda della materia prima e della tecnologia utilizzata.

Le principali tipologie di DA sono:

- Processo termofilo e mesofilo – il processo mesofilo si svolge a una temperatura di circa 35°C, mentre il sistema termofilo prevede un riscaldamento della massa da digerire fino a temperature attorno ai 55°C, in questo modo il processo di digestione avviene più velocemente e con maggiori rese.
- Sistemi a singolo stadio o multistadio
- Sistemi in batch (discontinui) o Sistemi in continuo

La quantità di biogas prodotto, e la percentuale di Metano contenuta nel Biogas, dipendono sia dalla materia prima impiegata che dalla tecnologia di conversione utilizzata. In generale i reflui fognari, il liquame e il letame tendono a produrre meno gas del rifiuto di origine alimentare, ed i digestori mesofili monofase producono meno Biogas dei digestori termofili multistadio. I digestori più semplici che trattano reflui fognari possono produrre 100 m³ di Metano per tonnellata di refluo, laddove impianti centralizzati più sofisticati che trattano svariati tipi di rifiuti possono generare circa 300 m³ di Metano per tonnellata di rifiuto trattato. Oltre al biogas il processo di DA produce il digestato come residuo finale composto da una frazione solida e da una liquida. Questo sottoprodotto può essere utilizzato a determinate condizioni come fertilizzante organico da distribuire sul terreno in sostituzione di fertilizzanti chimici.

Il combustibile può essere immagazzinato nel veicolo in due stati: compresso o liquefatto. Più comune è l'utilizzo in forma compressa, come gas naturale compresso (CNG). Il gas è compresso nei serbatoi ad alta pressione, circa 200 bar. Tuttavia, a parità di volume, il contenuto energetico del gas compresso è significativamente inferiore rispetto al contenuto energetico di un combustibile liquido come il Gasolio. Un'alternativa è quindi quella di immagazzinare il gas in forma liquefatta, gas naturale liquefatto (LNG). In questo caso il gas viene raffreddato, oltre che compresso, per raggiungere lo stato liquido e allo stesso modo viene stoccato in serbatoi ad alta pressione raggiungendo una densità energetica superiore. Questo fa sì che, sempre a parità di volume, il contenuto energetico del LNG sia maggiore di quello del CNG.

Il Biometano è un valido combustibile e brucia in modo efficiente nei motori. In termini di emissioni dirette di CO₂ il Biometano emette il 20% in meno rispetto alla Benzina e il 5% in meno rispetto al Gasolio. Tuttavia, il vero vantaggio del Biometano è evidente quando si considera l'intero ciclo di vita del combustibile, come indicato nel grafico seguente, e si prende atto che la CO₂ emessa dalla combustione del Biometano è **rinnovabile**.

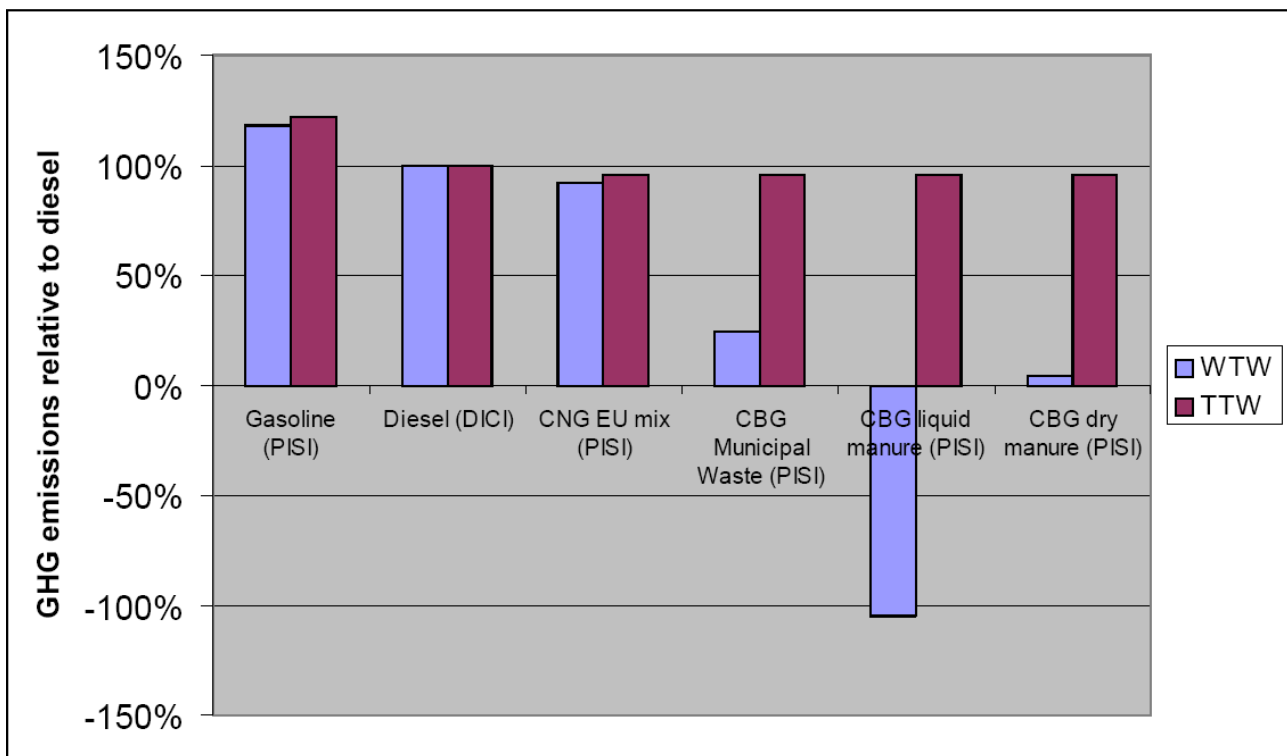


Fig.35 - Emissioni comparate di gas serra al tubo di scappamento (TTW) e nell'intero ciclo di vita (WTW) per un'automobile alimentata con biogas e con differenti combustibili fossili (Concawe, 2005). Legenda: PISI – Motore a benzina; DICI – Motore a gasolio; CNG – Gas Naturale Compresso; CBG – Biogas compresso; WTW: emissioni del ciclo di vita; TTW: emissioni al tubo di scappamento.

Su queste basi infatti il biocombustibile offre alcuni benefici di rilievo, in primo luogo è un combustibile rinnovabile e quindi la CO₂ emessa al tubo di scappamento è totalmente rinnovabile, oltre a questo anche le emissioni del ciclo di vita sono molto ridotte, secondariamente provenendo dalla trasformazione di rifiuti organici, elimina una fonte potenziale di emissioni di Metano dal momento che questi rifiuti si decompongono naturalmente se lasciati a se stessi. Quando questi effetti sono combinati si ha una riduzione di emissioni di composti CO₂ equivalenti superiore al 100%. Infatti a seconda della materia prima utilizzata per produrre il biogas la riduzione di emissioni di CO₂ può variare dal 75 al 200%, e con una miscela di liquami e di rifiuti alimentari la riduzione di emissioni di CO₂ è pari al 140%. E' mediamente buono anche il comportamento del Biometano in termini di emissioni regolamentate in riferimento alla qualità dell'aria. Come combustibile gassoso provoca emissioni di particolato molto basse e con un dispositivo di trattamento dei fumi anche il livello di emissioni di NO_x è accettabile.

E' disponibile una letteratura molto vasta sui costi di produzione e di vendita del Biometano come combustibile per veicoli a motore. Forse i dati più attendibili si riferiscono alla Svezia, che vanta il mercato di Biometano per trasporti più sviluppato in Europa. Nel Paese scandinavo i costi variano fra 0.65 e 0.75 €/kg escluse le tasse. Per un confronto più immediato è però necessario parlare di costo per unità di energia: in questo caso il costo di produzione scende a 0.47-0.57 €/litro di Gasolio equivalente che deve essere confrontato con il costo del Gasolio fossile pari a 0,75 €/l (escluse le tasse). In vari paesi la tassazione sul biogas è inferiore rispetto a quella sulla Benzina e sul Gasolio fossile e quindi c'è un evidente vantaggio nell'utilizzo del Biometano. Tuttavia, il costo dei veicoli a Biometano è più alto se paragonato ai veicoli convenzionali a causa dei differenti serbatoi e dei sistemi di gestione del gas. In conclusione:

1. Il Biometano è prodotto dalla raffinazione del biogas in metano al 95% . Il biogas è prodotto dalla digestione anaerobica di reflui civili e agricoli, da rifiuti alimentari e da biomasse dedicate: che si tratta di una fonte di approvvigionamento praticamente inesauribile e rinnovabile, con emissioni durante il ciclo di produzione nulle.
2. Il Biometano, in quanto Metano a tutti gli effetti (è diversa solo la sua origine) è utilizzabile nei veicoli al pari del gas naturale o Metano fossile
3. Il Biometano genera emissioni di gas serra inferiori del 75% - 200% rispetto ai combustibili fossili.
4. Con la produzione di Biogas si può rendere redditizio lo smaltimento di rifiuti e reflui.

La Regione Lombardia pensa che il Biometano, insieme ai Biocombustibili di II generazione, possa essere una strada per far fronte agli impegni presi in sede europea in particolare con la **Direttiva 2009/28/CE**. Obiettivi di Regione Lombardia -IX Legislatura: i passi programmati per la costruzione della rete "*Mobilità integrata sostenibile*":

- Nuove stazioni di distribuzione del Metano anche con accumulo liquido
- Semplificazione delle procedure per realizzazione della rete distributiva di allacciamento
- Sperimentazione del Biometano per autotrazione realizzazione di alcune stazioni di servizio che utilizzano il Biometano ricavato dalla raffinazione del Biogas

Metano prodotto da fonti di energia rinnovabili : meta nazione di H₂ prodotto da fonte eolica e CO₂ proveniente da CCS

Un esempio interessante è dato da Audi, ma ci sono studi altrettanto interessanti come il Progetto Progeo di Enea.

Data: 14/05/2011 **Argomento:** I veicoli a Metano di serie

Audi presenta ad Amburgo il progetto «Audi Balanced Mobility», all'interno del quale rientrano l'E-Gas Project e la concept A3 TCNG. Il nuovo progetto intende migliorare a tutti i livelli le emissioni di CO₂, esplorando quindi tutte le possibili alternative: gas naturali, auto elettriche ed idrogeno. L'E-Gas Project è il risultato di 3 anni di ricerche e vede Audi impegnata sia nella realizzazione di auto bifuel a Metano della futura gamma TCNG con motori TFSI, attesa nel 2013, sia nella produzione stessa dei carburanti e dell'energia pulita, creando così un vero bilanciamento sulle emissioni prodotte durante l'intero ciclo di realizzazione e di utilizzo dei veicoli.

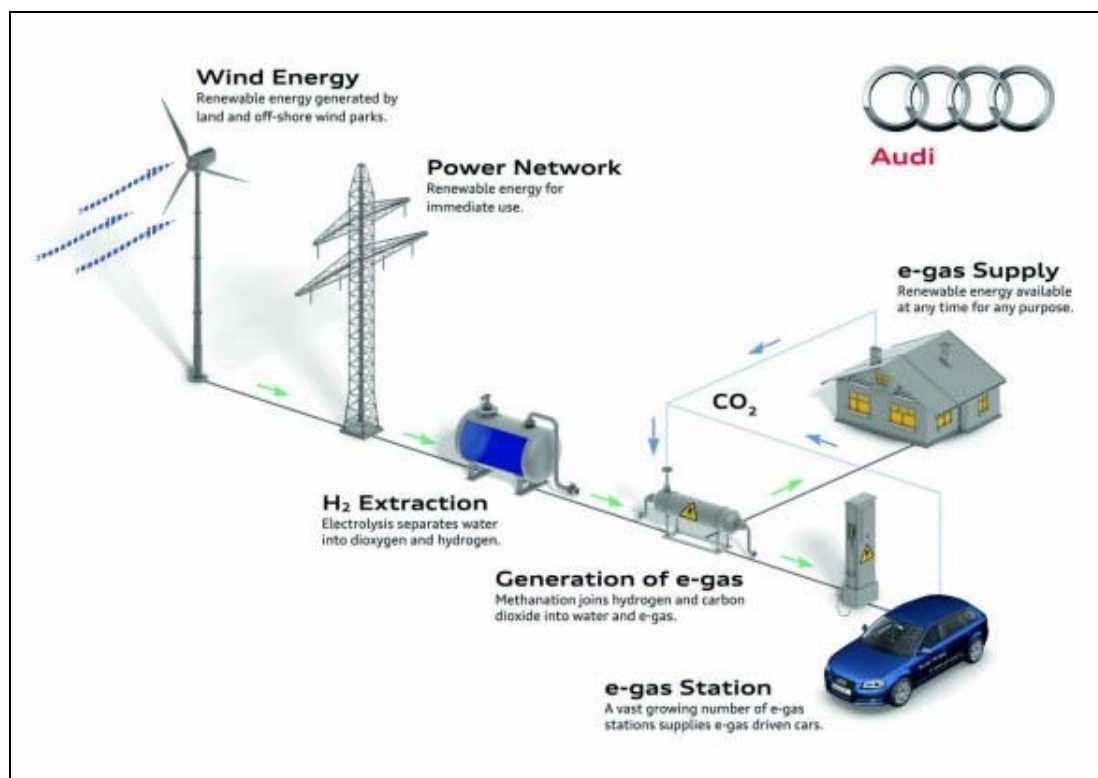


Fig.36 - Progetto E-Gas per la produzione di Metano da fonte eolica e CCS.

Saranno finanziati progetti per l'installazione di turbine Eoliche - in particolare quattro centrali eoliche per un totale da **14,4 MW** che la Casa tedesca ha contribuito a finanziare la costruzione nel mare del Nord- che in futuro alimenteranno le versioni elettriche E-Tron e consentiranno la produzione di idrogeno, che a sua volta potrà essere usato sia per creare Metano tramite elettrolisi e metanazione, sia come futuro carburante per le fuel-cell. Secondo i calcoli degli ingegneri Audi, in collaborazione con i partner coinvolti nella creazione dei futuri centri energetici e di stoccaggio, l'elettricità generata dalle turbine eoliche ed il Metano prodotto consentiranno di assemblare 1.000 Audi A1 E-Tron ed alimentarle per 10.000 km, con un surplus energetico che sarà inviato alla rete nazionale. La stessa quantità di energia potrà essere sufficiente ad alimentare 1.500 Audi A3 TCNG per 15.000 km annualmente, con un surplus calcolato di 150 tonnellate di Metano da riutilizzare nella rete pubblica, bilanciando così la CO₂ emessa con energia pulita a disposizione della rete. Si tratta di una soluzione interessante, ancora penalizzata dagli alti costi di produzione del H₂ tramite idrolisi, dall'uso come fonte di energia del processo di idrolisi di una fonte rinnovabile come l'eolico che ha costi non trascurabili €/kWh (il solare fotovoltaico ha costi ancora superiori), ma che può diventare competitiva per paesi che dipendono da forniture estere di GN e che hanno velocità del vento interessanti.

1.3- STOCCAGGIO, DISTRIBUZIONE E VENDITA

Lo stoccaggio di GPL e gas Metano è basato sull'utilizzo di appositi serbatoi in pressione dove il prodotto viene stoccato per la successiva distribuzione e vendita.

Il Metano, stoccato in appositi serbatoi sotto forma di GNL oppure direttamente distribuito nel paese consumatore tramite gasdotto sotto forma di CNG, per l'autotrazione viene distribuito al cliente finale tramite impianti appositi, nettamente più complessi delle classiche stazioni di rifornimento per carburanti classici, quali diesel e benzina. Infatti è necessario mantenere tale gas ad alte pressioni, di norma intorno ai 220 bar, necessitando di strutture per il mantenimento di tali pressioni.

Il GNL in fase di stoccaggio viene immagazzinato in serbatoi speciali (**fig.37**). Esistono numerose tipologie di serbatoi di stoccaggio per il GNL; la distinzione principale è quella tra serbatoi in superficie e serbatoi interrati; è inoltre importante distinguere i serbatoi in funzione del grado di sicurezza associato al tipo di struttura. Di indubbio interesse per lo stoccaggio del GNL può risultare l'impiego di cavità saline, se disponibili.

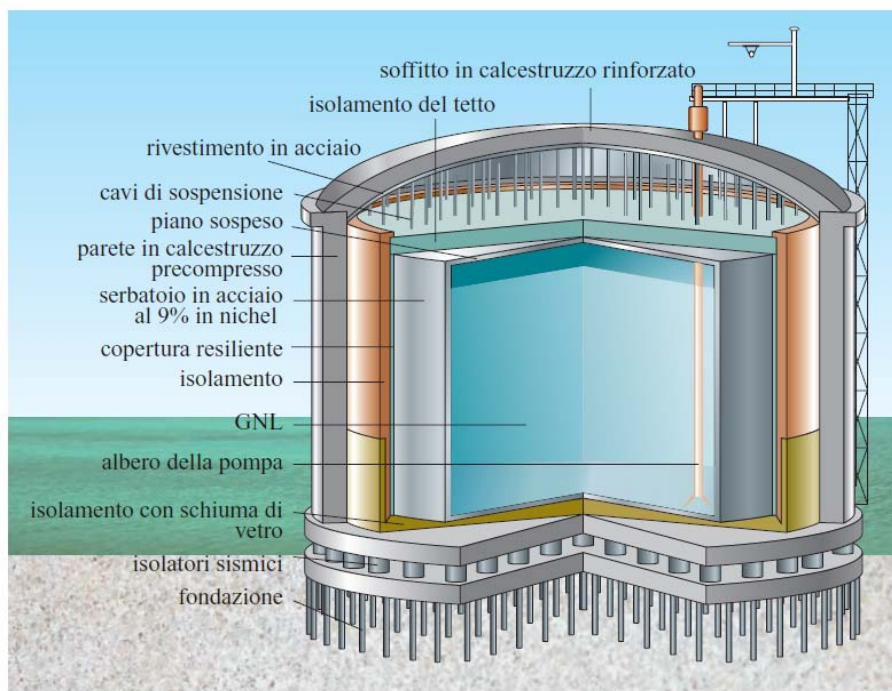


Fig.37 - Schema di serbatoio superficiale di GNL.

Il GNL viene immagazzinato in serbatoi a doppio guscio a pressione atmosferica (**fig.37**). L'intercapedine tra i due gusci è utilizzata per realizzare l'isolamento termico; il serbatoio interno, a contatto con il GNL, è realizzato in acciai speciali con il 9% di nichel per evitare fenomeni di infragilimento dovuti alle basse temperature di esercizio. I serbatoi di stoccaggio sono generalmente di forma cilindrica e presentano un fondo piatto, che poggia su un materiale isolante rigido, come per esempio schiuma poliuretanic. Le pareti del serbatoio devono resistere al carico idrostatico esercitato dal GNL e pertanto devono avere uno spessore adeguato. Il tetto del serbatoio presenta uno strato di isolamento sospeso, sostenuto dal guscio esterno.

I serbatoi superficiali sono quelli più largamente impiegati per lo stoccaggio primario di GNL poiché richiedono bassi costi di investimento e di manutenzione rispetto alle altre tipologie. I serbatoi interrati sono più costosi ma presentano un minore impatto visivo. Sono possibili tre differenti soluzioni:

- La prima prevede l'installazione del serbatoio nel terreno, facendo però sporgere il tetto.
- La seconda soluzione prevede il serbatoio completamente interrato con una copertura in calcestruzzo.
- Il terzo e ultimo tipo di serbatoio interrato viene realizzato ponendo in una fossa un serbatoio a doppio guscio.

Per il trasporto e lo stoccaggio del CNG si usano invece serbatoi in acciaio ad alta resistenza o in materiale composito rinforzato (**fig.38**): quest'ultimo materiale presenta un'alta resistenza alla corrosione e una resistenza meccanica di oltre 650 MPa. Nel confrontare i serbatoi GTM con equivalenti in solo acciaio si rileva che i primi sono più leggeri di circa il 35-40%, consentendo quindi applicazioni precedentemente non possibili e a minor costo.

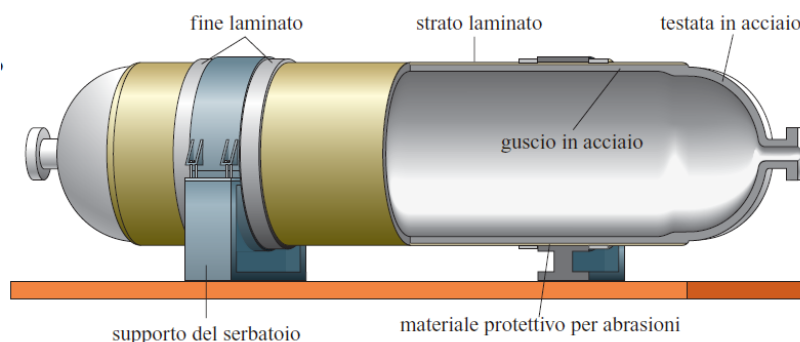


Fig.38 - Serbatoio per lo stoccaggio di CNG.

La distribuzione del Metano per autotrazione al cliente avviene con speciali distributori (**fig.39**), con stazioni di rifornimento che occupano in genere volumi superiori dei normali distributori per la presenza di appositi sistemi di compressione.

Innanzitutto occorre sapere che il Metano viene stoccato a bordo del veicolo in forma gassosa e non liquida. Normalmente l'unità di misura del gas Metano è il metro cubo. A causa delle particolari condizioni di erogazione del Metano per auto (variazioni di pressione e temperatura), sono stati realizzati appositi dispenser omologati dal Ministero dell'Industria, Ufficio Centrale Metrico, che "pesano" il gas erogato. Di conseguenza l'unità di misura è il kg.

Equivalenze energetiche (basate sui rispettivi calori specifici e densità)

1 kg di Metano = circa 1,5 lt. di Benzina

1 kg di Metano = circa 1,3 lt. di Gasolio

1 kg di Metano = circa 2,1 lt. di GPL

A parità di km percorsi, attualmente l'utilizzo del Metano consente di risparmiare fino al 65% rispetto alla Benzina, fino al 45% rispetto al Gasolio e fino al 30% nei confronti del GPL. Il rifornimento di un autoveicolo a Metano avviene attraverso la connessione della manichetta del distributore con la valvola di carico posta sul veicolo, generalmente all'interno del vano motore o nelle vicinanze del bocchettone della Benzina ed un condotto che adduce il Metano in pressione al serbatoio (generalmente ubicato nel vano bagagli). In una moderna stazione di servizio dotata di erogatori a peso, il tempo per questa operazione si può indicare in 2/3 minuti, per un veicolo di medie dimensioni (serbatoio da 80 - 100 litri), anche in considerazione delle elevate pressioni di erogazione. Vi sono diverse tipologie di stazione a seconda delle esigenze dei clienti. La più "standard" come funzionamento, che è quella che poi quasi sicuramente hanno le stazioni in Italia, è la seguente:

La compressione - Il gas proveniente dal metanodotto viene, prima di essere compresso dal compressore, filtrato e misurato dalla cabina di misura. Il compressore comprime il gas in uno stoccaggio (solitamente da 1.120 litri) il quale è diviso in 2 settori (media e alta pressione). La priorità dell'unità di compressione è quella di mantenere le bombole adibite ad alta sempre ad una pressione di 220-250 bar. Una volta che lo stoccaggio è pieno (media e alta entrambe a 220 bar) il compressore si ferma. Ognuno dei 2 settori ha una propria linea che arriva all'erogatore.

Il rifornimento - Quando un veicolo è collegato all'erogatore, il gestore apre la valvola a 3 vie posta sulla pistola e mette in comunicazione lo stoccaggio della stazione con la bombola dell'auto. Il rifornimento inizia per travaso dal settore di media pressione. Quando le pressioni si equilibrano, commuta e inizia il travaso dall'alta pressione. Se la pressione del settore di alta è sufficiente, il rifornimento viene completato, altrimenti, si avvia il compressore che "spinge" gli ultimi m3 di gas.

Dettagli sul rifornimento e la sua fine - Il rifornimento viene completato quando la pressione nella bombola del veicolo raggiunge i 220 bar. Questa pressione viene controllata da un trasduttore di pressione (non da un pressostato in quanto occorre una precisione maggiore dettata dal D.M.) posto all'interno dell'erogatore. Il misuratore massico, che è il cuore dell'erogatore, provvede a misurare il gas in kg compensando temperatura e pressione e fornendo poi i dati alla testata dove viene poi visualizzato il prezzo e l'erogato. Quindi l'erogatore rifornisce a massa (kg) mentre la fine erogazione è gestita in pressione (220 bar). Questo fa sì che più il gas arriva caldo alla bombola del veicolo meno km potrà fare con un pieno il cliente. Per ovviare a questo piccolo inconveniente può essere fornito come optional un gruppo frigo il quale raffredda il gas prima che questo arrivi all'erogatore.



Fig.39 - Stazione di rifornimento di Metano per autotrazione.

I serbatoi di Metano sono costituiti da bombole che mantengono il gas in pressione (in genere intorno ai 220 bar), alloggiati all'interno del veicolo (**fig. 40**): sono bombole di una certa dimensione, relativamente pesanti che hanno un certo impatto sul veicolo. Non esistono bombole toroidali simili a quelle in uso con GPL, che consentirebbero un significativo guadagno in termini di peso e spazio perché per mantenere elevate pressioni in ambito di sicurezza (normative UNI,

collaudi ecc.) la dimensione è importante, perché l'attuale forma cilindrica raccordata tonda agli estremi è quella che consente la migliore distribuzione di forze e pressioni all'interno e sul materiale stesso.

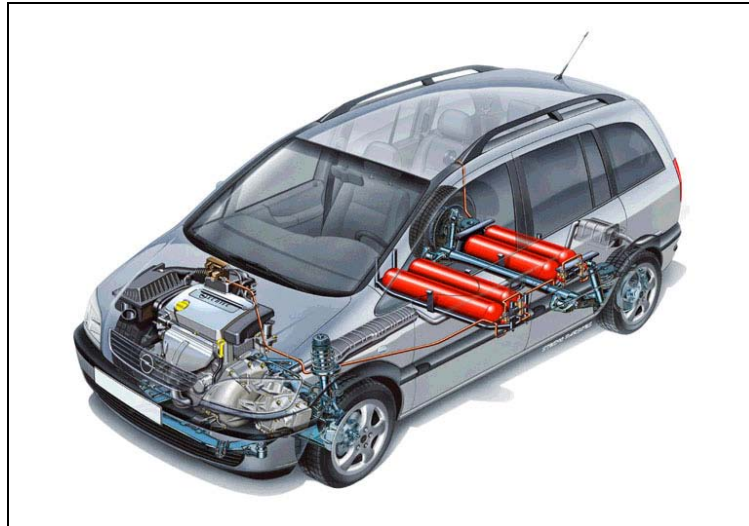


Fig.40 - Schema dettagliato di un tipico impianto a Metano per autotrazione: in rosso è possibile vedere le bombole che fungono da serbatoio.

Un quesito frequentemente posto dai clienti, in particolare nei primi periodi di utilizzo di auto a metano, riguarda la variabilità di percorrenza tra due diversi rifornimenti. La questione presenta sostanzialmente due aspetti: uno legato al consumo e l'altro legato alla quantità di carburante rifornita. Il consumo effettivo, come per tutti i carburanti, dipende, a parità di percorso, sia dallo stile di guida che dalle condizioni di fluidità del traffico. Anche lo stato di efficienza del motore, così come i parametri atmosferici (pressione e umidità dell'aria) contribuiscono ad influenzare il rendimento del motore. Nel caso del metano va però tenuto conto anche di altri aspetti peculiari del gas. In particolare, non trattandosi di liquido, la quantità di carburante rifornita non dipende solo dal volume del serbatoio (ovvero dalla capacità, in litri, delle bombole del veicolo) ma anche dalla pressione e dalla temperatura raggiunte a fine carica. Per quanto gli impianti dei moderni distributori siano dotati di sistemi di raffreddamento che consentono di raggiungere condizioni ottimali di carica, la quantità di carburante rifornita con il "pieno" può subire leggere variazioni da caso a caso (del resto avviene lo stesso per i carburanti liquidi anche se in forma meno evidente). Un altro fattore molto importante - che determina la quantità di carburante rifornita - riguarda le caratteristiche del gas erogato: il gas naturale "Metano", come si sa, è un prodotto "naturale" dei giacimenti situati in diverse località geografiche del mondo. A differenza dei carburanti liquidi non

subisce il processo di raffinazione e viene trasportato sino al consumatore finale attraverso una rete di metanodotti interconnessa a livello italiano ed europeo. Gas di diversa provenienza presentano lievi differenze di composizione, che rientrano nel limite di intercambiabilità (possono essere utilizzati indifferentemente senza modificare le caratteristiche tecniche dell'impianto utilizzatore). E' quindi un fatto del tutto normale nella rete di trasporto del gas che tra diversi distributori, o anche allo stesso distributore in tempi differenti, possano essere forniti gas di diversa provenienza e quindi composizione. Ad esempio, un gas di provenienza nazionale risulta più "leggero" del gas di provenienza algerina; questa differenza potrà quindi riflettersi sui kg di gas riforniti e sull'importo totale del rifornimento. A questo riguardo si consideri comunque che, a gas più pesante di norma corrisponde anche un contenuto energetico maggiore che, in particolare negli automezzi dotati di impianti di iniezione in grado di regolare accuratamente la carburazione del gas, si riflette in maggiori percorrenze del veicolo.

In ogni caso l'esatta quantità di carburante fornita è quella misurata dall'erogatore, che è omologato allo scopo e verificato periodicamente dall'Ufficiale Metrico Provinciale. Pertanto una certa variabilità di percorrenza - a parità di pieno - è un fatto fisiologico e non deve destare preoccupazione.

Uno dei problemi principali della scarsa diffusione del Metano per autotrazione è la sua scarsa diffusione sul territorio nazionale, specie nelle regioni meridionali. L'attuale rete distributiva del Metano si è sviluppata per iniziativa di piccoli imprenditori generalmente svincolati dalla rete dei carburanti tradizionali. Questo ha comunque portato alla presenza di un discreto numero di punti vendita specialmente in alcune regioni (es. Marche, Emilia Romagna, Veneto e Toscana) rispetto agli altri paesi europei. Va segnalato che recentemente anche il settore distributivo petrolifero ha progressivamente introdotto questo carburante fra i prodotti erogati negli impianti. Infatti il servizio sta continuando ad espandersi anche in aree precedentemente non coperte dalla rete distributiva Metano come le regioni meridionali.

Per aumentare il numero di stazioni di rifornimento occorrerebbe adeguare le distanze di sicurezza agli standard internazionali con la riduzione delle distanze inutilmente elevate applicate dalla normativa italiana.

La normativa italiana, infatti, imponendo queste distanze di sicurezza, ed altre prescrizioni di sicurezza eccessivamente severe, tende a favorire indirettamente la realizzazione di impianti fuori città e lontani dalla domanda e ad ostacolare la crescita della rete distributiva proprio nei centri urbani e nelle aree dove la diffusione del carburante minore impatto ambientale risulterebbe più utile. Oggi notevoli problemi burocratici esistono anche per realizzare il collegamento tra il metanodotto e l'impianto di distribuzione quando, come nella maggior parte dei casi, occorre attraversare proprietà private.

Normative a confronto: Italia-Germania		
Normativa PV metano	Italia	Germania
Distanza di sicurezza compressore-fabbricato	25 metri minimi inderogabile	5 metri se si installano protezioni fisiche
Installazione compressore nel fabbricato	No (distanza)	Si, con pareti impermeabili al gas
Impianto intra-cittadino	No (soglia di cubatura nel raggio di 200 metri di distanza da abitazioni civili)	Si
Self service	Solo in presenza di personale qualificato	Si (anche con impianti Ghost)
Erogatore	Blocco lato opposto durante erogazione di metano	Nessun vincolo
Approvazione impianto	Basato su regole fisse non derogabili	Certificazione da organi non competenti
Impatto normativa PV metano	Italia	Germania
Distanza di sicurezza compressore-fabbricato	Terreni grandi, costi alti	Piccoli impianti con potenze elettriche intorno ai 30 kw con IRR accettabile, anche con basse pressioni di fornitura

Fig.41 - Confronto tra normative che disciplinano costruzione ed esercizio di un impianto di distribuzione di Metano per autotrazione in Italia e Germania.

Per superare questo problema sarebbe necessario introdurre la possibilità di esproprio per pubblica utilità con carattere di indifferibilità ed urgenza che consentirebbe di accelerare i tempi di realizzazione dell'allacciamento.

Lombardia

Nella regione Lombardia ai fini del conseguimento degli obiettivi di cui all'art. 9bis della l.r. 5 ottobre 2004 n.24, il numero minimo di impianti di distribuzione del Metano per autotrazione è stabilito in un impianto ogni:

- a) 30 km sulla rete autostradale
- b) 15 km sui raccordi autostradali e sulle tangenziali
- c) 45 mila abitanti o frazione residua di 45 mila per ogni bacino in cui è diviso il territorio

lombardo, relativamente alla rete stradale ordinaria. L'obiettivo programmatico relativo alla rete stradale ordinaria è da realizzarsi di massima entro il quadriennio 2009-2012, mentre l'obiettivo programmatico relativo alla rete autostradale sarà scadenzato dalla Giunta tenendo conto delle concessioni in essere e di quelle in via di rinnovo.

Tali valori tengono conto:

- della densità demografica che è correlata alla domanda di mobilità e di carburanti;
- delle peculiarità del territorio lombardo espresse dai bacini;
- della diffusione degli impianti e dei rapporti tra impianti e residenti che caratterizzano

lo sviluppo delle regioni a maggiore e consolidata presenza di autoveicoli a Metano;

- dell'indice di motorizzazione e del tasso di sviluppo del parco veicolare

Due province italiane, Bolzano e Trento, hanno da tempo regolamentato l'installazione e l'utilizzo degli impianti di rifornimento individuale e concedono contributi nell'ordine del 50% sull'acquisto e l'installazione. Per ora sono in commercio pochi modelli costruiti secondo CE98/37, installabili in tutti i paesi aderenti alla Comunità europea.



Fig.42 - Distributore casalingo di Metano per autotrazione.

Questi apparecchi prelevano il Metano dalla rete domestica a 0,02 bar e lo comprimono direttamente nei serbatoi dell'automobile (207 bar a 15 °C) con notevole risparmio energetico rispetto agli impianti stradali con stoccaggio (250 bar) e impianti di raffreddamento. Il compressore costa poche migliaia di euro, e rispetto alle lungaggini burocratiche necessari per l'apertura di un impianto stradale (in Italia 4 anni) può essere installato in poche ore.

Il rifornimento individuale (**fig.42**) consente di risparmiare, ed è consigliabile per questo installare un contatore specifico per uso autotrazione, in modo da usufruire delle accise notevolmente ridotte destinate nel nostro paese all'utilizzatore dell'automobile.

I serbatoi invece destinati al contenimento di GPL sono suddivisi dalla normativa italiana in base alla loro capacità. Inoltre possono essere ulteriormente distinti in tre grandi categorie: serbatoi fissi, serbatoi semifissi e serbatoi mobili. Ciascun tipo è caratterizzato da impieghi e destinazioni ben definiti e di conseguenza viene progettato e costruito in base a specifici criteri e norme di sicurezza.

- **serbatoi fissi** (**fig. 43**) possono servire allo stoccaggio nelle raffinerie o negli impianti di deposito e di imbottigliamento (riempimento bombole mobili), oppure all'alimentazione delle installazioni di rifornimento o consumo diretto (domestico e non); in genere sono in lamiera di acciaio saldata o chiodata, poggiano su due o più selle e sono sopraelevati in modo da fornire un adeguato battente alle pompe di travaso del GPL.

Essi hanno un volume che può variare da 0,5 m³ ad un massimo di 500-1.000 m³.



Fig.43 - Serbatoi fissi per GPL uso industriale.



Fig.44 - Serbatoio fisso interrato per uso domestico.

- **serbatoi semifissi** sono quelli dei vagoni cisterna, delle autocisterne e delle navi cisterna. Le caratteristiche di fabbricazione di tali serbatoi differiscono da quelle dei serbatoi fissi perché nella loro costruzione è richiesto un maggior coefficiente di sicurezza per tener conto sia delle sollecitazioni a carattere statico, che di quelle a carattere dinamico, come quelle determinate da condizioni atmosferiche o da eventi straordinari, per le quali non vi sono possibilità di controllo. I vagoni cisterna (**fig.45**) hanno capacità tra le 8-10 tonnellate e le 20-25 tonnellate a seconda del tipo di carro su cui vengono montati (generalmente per i vagoni cisterna si utilizzano i serbatoi da 10t, mentre per le autocisterne si utilizzano i serbatoi da 25t). L'uso dei vagoni cisterna per il trasporto GPL è in continua crescita in Italia così come in Europa, sia perché è in aumento il consumo di GPL, sia perché il

trasporto su rotaia per grandi volumi permette un grande risparmio in termini di costi, oltre che ad offrire una maggiore sicurezza.



Fig.45 - Carro ferroviario da 120 m³ per il trasporto di GPL.

- **serbatoi mobili** sono quelli delle autovetture.

Questi possono essere di forma tradizionale cioè cilindrica, dotata di fondelli convessi, ma una soluzione indubbiamente più innovativa è costituita dai serbatoi di forma toroidale, appositamente concepiti per essere collocati nel vano della ruota di scorta. Anch'essi sono disponibili in diverse misure e la loro capacità, seppure mediamente inferiore a quella dei serbatoi cilindrici, offre comunque una più che sufficiente autonomia.

Per quanto riguarda il GPL, nota la sua prerogativa di essere liquido a pressioni basse (intorno ai 4 bar), la sua distribuzione è semplice: gli impianti di rifornimento sono meno complessi di quelli a metano, risultando allo stesso tempo meno costosi. Inoltre anche i serbatoi, dovendo sopportare pressioni inferiori, sono anche molto più leggeri: basti pensare che questa leggerezza costruttiva ha permesso l'omologazione e l'utilizzo di serbatoi toroidali da poter inserire nel vano occupato in genere dalla ruota di scorta, risolvendo quasi del tutto il problema del volume occupato nel bagagliaio dell'autovettura.



Fig.46 - Impianto di rifornimento GPL

Decisamente più numerosi risultano i distributori di GPL sul territorio nazionale, comprendo in maniera più omogenea l'intero territorio nazionale, anche lungo le principali autostrade: è stata raggiunta quota oltre 2.600 (per confronto i distributori di metano sono circa 800, in maggioranza nel Nord e in parte nel Centro Italia).

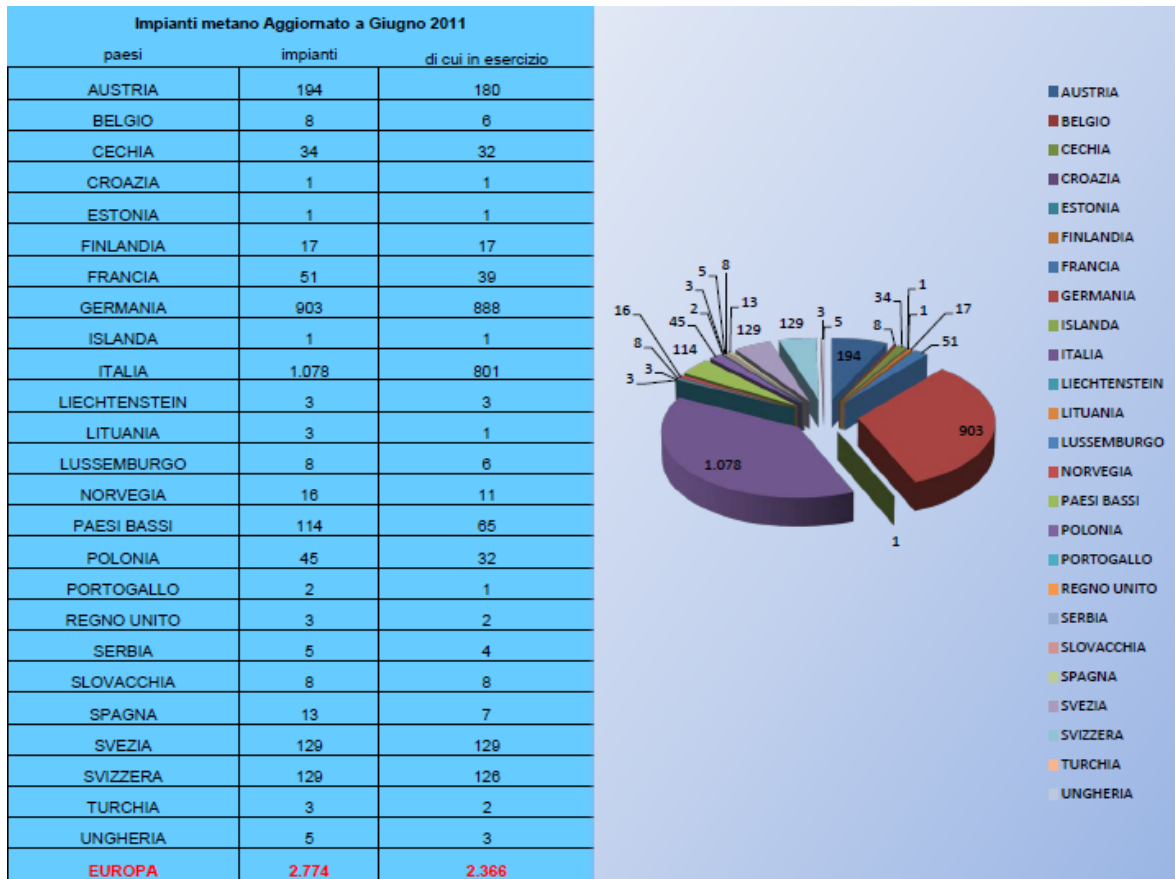


Fig.47 - Elenco impianti di distribuzione di Metano in Europa (Regione Lombardia).



Fig.48 - Elenco impianti di distribuzione di Metano in Italia e Lombardia (Regione Lombardia).

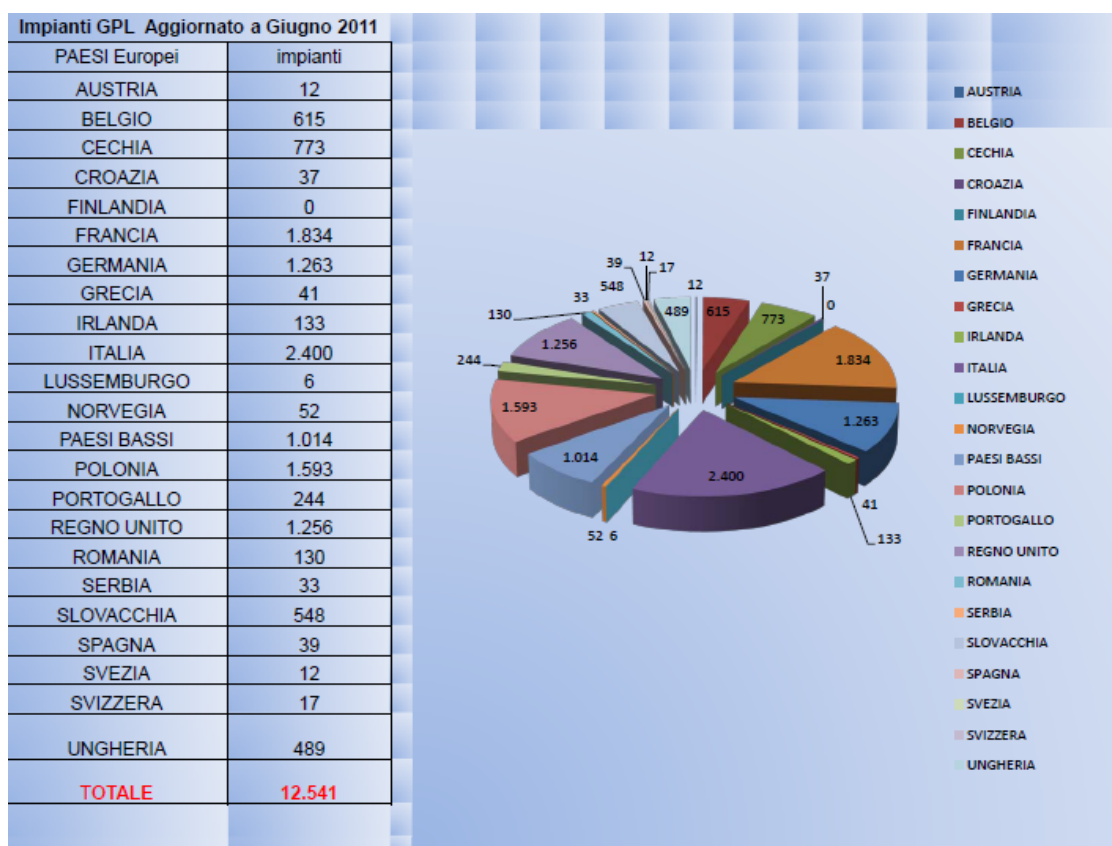


Fig.49 - Elenco impianti di distribuzione di GPL in Europa (Regione Lombardia).



Fig.50 - Elenco impianti di distribuzione di GPL in Italia e Lombardia (Regione Lombardia).

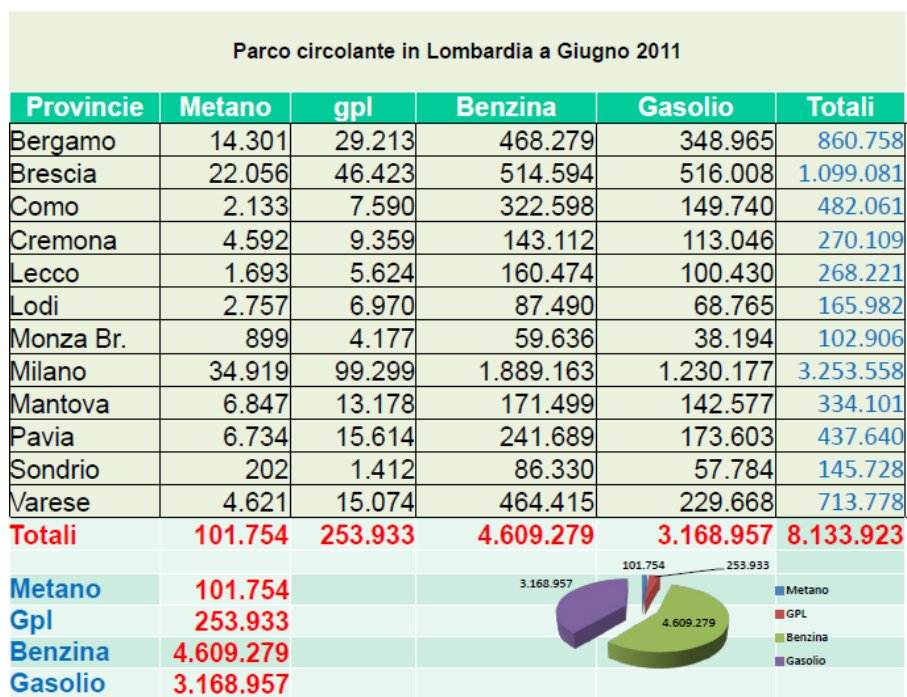


Fig.51 - Parco circolante di autoveicoli in Lombardia a Giugno 2011 (Regione Lombardia).

Ultima precisazione: tutti i distributori sono serviti, quindi niente self-service. Ci sono precisi problemi normativi in tema di sicurezza da seguire che rendono difficile per il cliente “farsi il pieno”. Le sperimentazioni in questo campo sono però avanzate e ci sono buone prospettive di vedere impianti self service per GPL e Metano sempre più diffusi (con tutti i vantaggi che questa scelta comporta, specie in termini di prezzo alla pompa), anche se in Italia c'è ancora la spiacevole tendenza a riempire le bombole di GPL per uso abitativo (operazione rischiosissima e vietata dalla legge, pena severe ammende), pratica che con il self-service probabilmente aumenterebbe molto. Va da sé che, sempre per questioni legate alla sicurezza, l'impianto verrebbe comunque presidiato da personale, quindi alla fine cambierebbe poco.

Aggiornamento 23/06/2011 :

San Donato Milanese (Mi) : Inaugurazione del primo distributore regionale, il secondo in Italia dopo quello della Provincia di Bolzano, del primo impianto con due pompe con erogazione automatizzata (self service). Rispondendo alle attuali norme sulla sicurezza, l'impianto potrà essere utilizzato solo in presenza di personale addetto, contrariamente a quanto accade nei Paesi europei. Oltre alla novità di avere la pompa del metano a fianco di benzina e gasolio, la vera rivoluzione sta nella possibilità di fare il pieno - come detto - durante gli orari di chiusura. Come? L'automobilista deve sottoscrivere una tessera magnetica, che gli viene consegnata dopo un breve corso sulle modalità di utilizzo della pompa.

1.4- UN PO' DI STORIA

In Italia l'interesse verso il Metano per autotrazione ha inizio intorno al **1930**.

Proprio in quel periodo, infatti la Snam realizzava il metanodotto Cortemaggiore - Piacenza per alimentare le prime stazioni di rifornimento di metano che cominciavano a sorgere lungo la via Emilia.



Fig.52 - Stazione di rifornimento mult carburante negli anni 30-40

Accanto al carburante si sviluppava in Emilia Romagna il primo nucleo dell'industria dei veicoli a Metano che hanno portato l'Italia a disporre oggi di una tecnologia all'avanguardia nel mondo. Fino alla metà degli anni '50 erano operative più di 1.300 stazioni di rifornimento, Sicilia compresa. Alla fine del '40 circolavano 83.000 autocarri, di cui 1.300 a Metano, mentre i veicoli erano 97.000 di cui 5.000 a Metano. All'epoca il metodo di rifornimento ai veicoli più diffuso era l'intercambio - ciò vale a dire che il rifornimento del veicolo avveniva mediante la sostituzione della bombola vuota con una piena. Con questo sistema si garantiva il servizio su tutto il territorio nazionale, anche nelle zone prive di pozzi e di metanodotti. Per valutare l'importanza della rete distributiva del Metano autotrazione in quel periodo, si deve considerare che fino alla metà degli anni '50 erano in circolazione in Italia non più di 400 mila veicoli, dei quali circa il 3% era a Metano. La società Agip pubblicizzava nei propri punti di vendita e lungo le strade il Metano come il carburante principale, poi venivano Benzina e Gasolio.

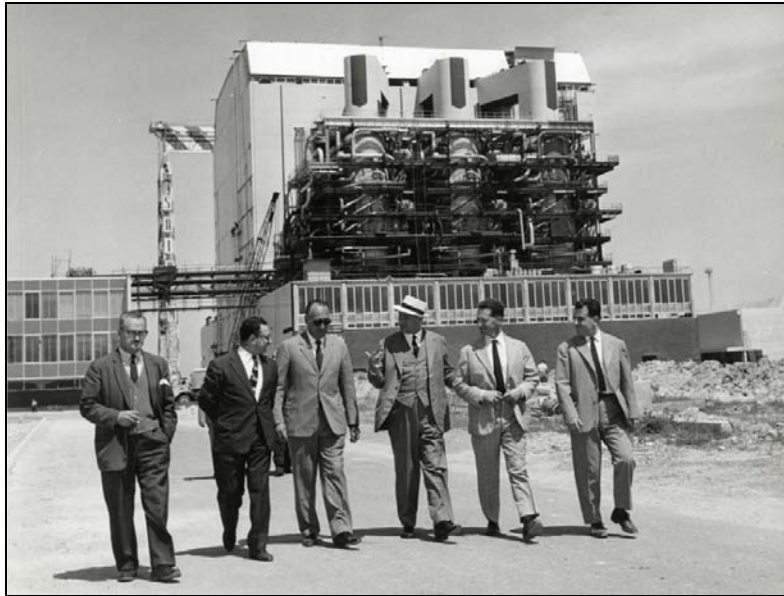


Fig.53 - Immagine di fine anni 50 di Enrico Mattei, allora presidente dell'ENI.

Nel giugno del 1959 in Italia, presso Lodi, una perforazione dell'Eni, allora presieduta da Enrico Mattei, scopre il primo giacimento profondo dell'Europa occidentale. Successivamente si iniziano i rilevamenti nel mare Adriatico, ma le prime due perforazioni dettero esito negativo, così l'Eni abbandonò l'idea preferendo destinare le risorse a perforazioni nel mar Rosso. In attesa delle autorizzazioni da parte del governo egiziano, l'Eni decise di compiere una terza trivellazione al largo di Ravenna, che diede esito positivo. Nel 1959 entrò in funzione la prima piattaforma metanifera. Negli anni '60, l'avvento sul mercato della benzina a poco prezzo rese meno popolare l'utilizzo del Metano. Gli impianti di distribuzione erano destinati a sparire. In 10 anni più del 90% dei distributori cessava l'attività. Nella metà degli anni '60 solo 95 impianti restarono operativi, per lo più situati nel Nord Italia.

Poi le cose sono cambiate. Le crisi petrolifere del '73 e del '78 hanno riportato l'interesse verso il Metano. Alla fine degli anni '70 erano in attività 217 distributori ed altri 100 già autorizzati sarebbero stati costruiti se lo sviluppo della rete non fosse stato scoraggiato da una politica fiscale del governo ispirata dai concorrenti, preoccupati del rapido sviluppo di questo prodotto, che in pochi anni aveva raddoppiato i propri consumi e quasi triplicato le stazioni di rifornimento. Infatti, per effetto della tassazione introdotta dal Governo nel 1976, il prezzo alla colonnina del Metano per auto era passato da 67 a 200 Lire/m³ (circa €0,930/m³, pari a €1,307/kg di oggi!). Venne poi un considerevole ridimensionamento attorno alla metà degli anni '80 allorché il Governo Craxi introdusse il superbollo per le auto a gas, abolito per le auto a Metano catalitiche solo nel 1997.

Per ristabilire gli equilibri di mercato con gli altri prodotti ed iniziare di nuovo a lavorare con programmi e prospettive concrete ci sono voluti quasi 20 anni.

Solo all'inizio degli anni '90 si è verificata una ripresa dello sviluppo del settore grazie ad un migliore contesto economico, commerciale e politico che si è poi successivamente consolidato.

Anche l'uso di GPL per l'autotrazione si sviluppa negli anni '50, trainato dall'uso domestico per riscaldamento e cucina, in un'Italia ancora in molte parti non raggiunta dal Metano. Molte aziende private sono nate proprio in questo periodo, diventando leader nel settore (es. Butangas, Trivengas, ecc.) della distribuzione domestica e nella progettazione di impianti GPL.

L'iter del GPL per autotrazione ha seguito più o meno la stessa cronistoria del Metano, pur essendo un derivato del greggio e la sua diffusione è sempre stata poco capillare sul territorio, anche se notevolmente superiore al gas naturale.



Fig.54 - Distributore di GPL negli anni '60.

Capitolo 2

GPL e Metano: impianti per autotrazione

Le auto bifuel si dividono (al di là del carburante scelto) fondamentalmente in due categorie:

- ✓ Sistemi di alimentazione GPL/Metano realizzati direttamente in linea di produzione utilizzando componenti specifiche realizzate dalla casa automobilistica o , nella maggior parte dei casi, fornite dalle aziende costruttrici di impianti GPL e Metano. Quest'ultima soluzione è spesso la preferita e le case automobilistiche si limitano ad adattare al meglio kit appositi fornitigli, ad esempio introducendo accorgimenti per aumentare la tolleranza di alcune parti delicate del motore all'uso di carburanti diversi dalla Benzina (rinforzi sedi valvole, ad esempio), migliorando l'integrazione in plancia dell'elettronica di comando e delle spie per GPL e Metano e riprogettando l'utilizzo dell'ambiente interno per l'alloggiamento dei serbatoi aggiuntivi (inserendoli sotto il pianale o al posto della ruota di scorta).
- ✓ Sistemi di conversione GPL/Metano realizzati come modifica di veicoli normalmente omologati Benzina sia nuovi che su strada (aftermarket): i componenti sono sempre gli stessi citati sopra, varia il fatto che l'auto ovviamente manca di alcune delle modifiche specifiche fatte sopra, il che può non essere un problema insormontabile ma è bene tenerne conto. Comunque gli stessi installatori autorizzati (obbligati loro stessi al collaudo degli impianti) hanno elenchi di veicoli e modelli che ben tollerano le modifiche. Altra cosa da rilevare che su alcune motorizzazioni, le grandi case automobilistiche tolgono la garanzia sulle parti del motore interessate dall'installazione della nuova componentistica per GPL/Metano, che verranno coperte dalla garanzia dell'installatore. Altra cosa fondamentale è ricordare che tali impianti sono compatibili con un ben preciso ventaglio di motorizzazioni, elenchi detenuti dai principali produttori d'impianti aftermarket, che ovviamente li hanno testati e omologati. E' quindi bene evitare d'installare tali impianti su motori non omologati, pena possibili danneggiamenti alle valvole o agli iniettori.

Vediamo ora nel dettaglio un po' di questi impianti e la loro integrazione sui veicoli moderni, tralasciando i veicoli a carburatore ormai obsoleti.

2.1- MOTORI AD ACCENSIONE COMANDATA

I motori moderni ad accensione comandata (quelli in pratica a ciclo Otto) utilizzano da tempo l'iniezione di carburante come metodo di alimentazione e preparazione della miscela aria/combustibile adatta per il corretto funzionamento di un motore ad accensione comandata.

Il precedente metodo di alimentazione era basato sulla carburazione, metodo semplice e poco costoso, ma assolutamente inefficiente sul piano dei consumi e delle emissioni.

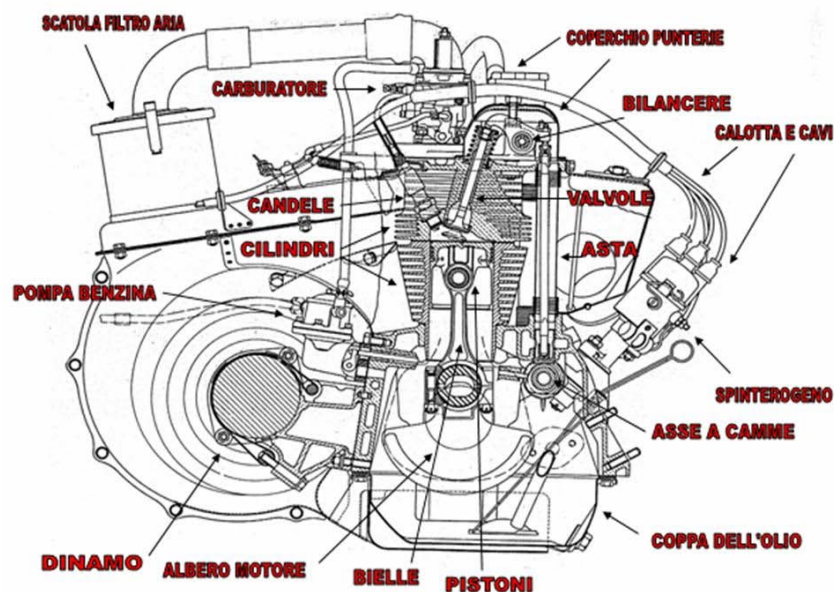


Fig.55 - Motore ad accensione comandata con carburatore (Fiat).

I sistemi ad iniezione di carburante, che si basano su principi fisici diversi dal carburatore sia per dosare il combustibile che per polverizzarlo nella massa d'aria. Essi infatti dosano il carburante in modo proporzionale alla portata d'aria aspirata dal motore, sfruttando non la depressione da essa prodotta (come avveniva nella carburazione), ma un incremento di pressione del combustibile rispetto all'aria, generato dalla pompa d'iniezione.

Nel carburatore inoltre il processo di polverizzazione del combustibile si basa sulla più alta velocità dell'aria, che trascina il carburante e lo suddivide in gocce via via più piccole, mentre nell'iniezione è il getto di combustibile che fuoriesce a velocità maggiore dall'ugello dell'iniettore, formando uno spray di fini goccioline.

Possiamo riassumere i **vantaggi** dell'iniezione sulla carburazione in:

- 1) *Miglior controllo del rapporto aria/combustibile in tutte le condizioni di funzionamento*, con evidenti benefici su consumi di combustibile, prestazioni (potenza massima e ripresa) e qualità dei gas di scarico;
- 2) *precisa distribuzione del combustibile nei vari cilindri* rendendo minima la dispersione di ricchezza della miscela tra un cilindro e l'altro, rispetto ai valori ritenuti ottimali per quelle condizioni di funzionamento;
- 3) *maggiore prontezza nel seguire i transitori* (più accelerazione), perché si lavora su volumi di combustibili molto piccoli (minima inerzia), che vengono iniettati o direttamente nei cilindri o in prossimità delle rispettive valvole di aspirazione;
- 4) *più elevato coefficiente di riempimento* con conseguente guadagno di potenza e coppia, perché l'aria aspirata incontra minori perdite di carico e non è più necessario riscaldare i condotti di aspirazione (per favorire l'evaporazione delle goccioline e l'omogeneizzazione della miscela);
- 5) possibilità di sfruttare le possibilità offerte da un sistema di *attuazione variabile delle valvole* senza problemi di perdite di combustibile;
- 6) *ottimizzazione della geometria dei condotti di aspirazione* (che non hanno più il compito di trasportare ed omogeneizzare la miscela) in funzione del solo moto dell'aria, per favorire il riempimento del cilindro ed il formarsi di vortici turbolenti (combustione più veloce);
- 7) *possibilità di realizzare forme innovative di combustione*, per minimizzare consumi ed emissioni inquinanti;
- 8) *minor pericolo di detonazione*, perché diminuisce il tempo che passa tra la formazione della miscela e la sua combustione; inoltre la sua composizione è controllata in modo più preciso.

Tutti questi vantaggi sono controbilanciati da alcuni **svantaggi**, ormai da tempo risolti grazie all'uso esteso di elettronica e tecniche di assemblaggio automatizzate:

- 1) Maggior complessità;
- 2) maggiori costi iniziali d'impianto e dei pezzi di ricambio;
- 3) maggiori problemi di assistenza e manutenzione;

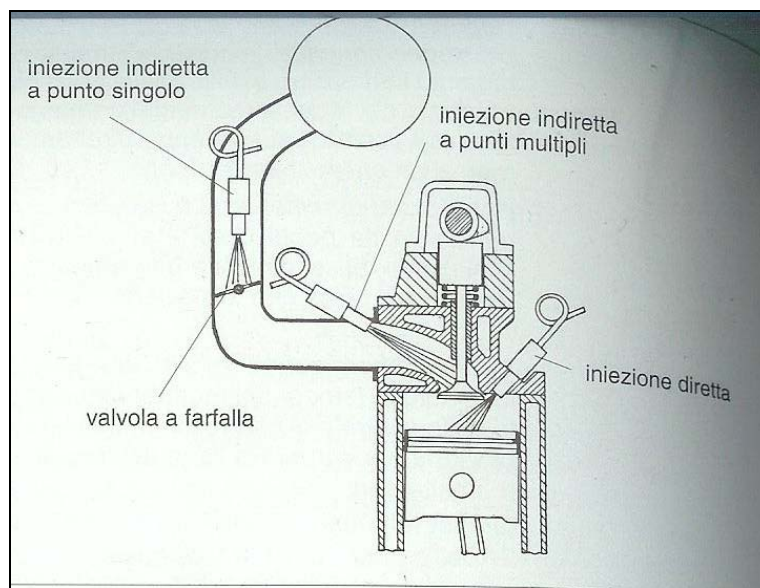


Fig.56 - Rappresentazione schematica di un sistema ad iniezione in un motore a ciclo Otto: iniezione indiretta a punto singolo (ormai in disuso) e a punti multipli, iniezione diretta.

I sistemi ad iniezione si dividono in due tipi:

- Ad iniezione diretta : l'iniezione viene effettuata nella camera di combustione del cilindro
- Ad iniezione indiretta : l'iniezione ha luogo nel collettore di aspirazione in posizione più o meno vicina alla valvola, prima che la corrente d'aria entri nel cilindro.

In questo paragrafo ci si occuperà prima di quest'ultima tipologia di iniezione, che è quella ancora più usata sui motori a benzina moderni, perché è meno complicata dal punto di vista tecnico e assomma a sé parecchi **vantaggi** rispetto alla diretta:

- 1) *buona omogeneizzazione della carica* (aria, gas combusti di ricircolo e vapori di combustibile) dovuta al suo rimescolamento nel passare attraverso le sezioni ristrette delle valvole ed ai relativamente lunghi tempi, disponibili prima dell'avvio della combustione;
- 2) *basse pressioni d'iniezione* perché la funzione prevalente dell'iniettore è quella di dosare la corretta quantità di combustibile piuttosto che quella di produrre uno spray con stringenti caratteristiche di polverizzazione e penetrazione;
- 3) *limitati carichi termici sugli iniettori*, perché non sono in contatto con i gas combusti e quindi non richiedono l'uso di materiali pregiati e non presentano problemi critici di sporcamento per depositi carboniosi;
- 4) *contenuti costi d'impianto* grazie sia alle basse pressioni d'iniezione necessarie, sia alla possibilità di usare iniettori semplici ed economici.

2.2- IMPIANTI GPL ADOTTATI SUI MODERNI MOTORI A BENZINA A INIEZIONE

Analizzate le tipologie di motori ciclo Otto su cui andranno integrati gli impianti per alimentazione GPL e Metano, vediamo alcune tipologie di impianti abbinabili a motori sfruttanti l'iniezione sia indiretta che diretta, partendo da quelli per GPL.

Attualmente le due tipologie più utilizzate sono quelle ad iniezione gassosa su motori dotati di sonda Lambda e catalizzatore a tre vie (immagini Landi Renzo Omegas Plus) e iniezione liquida.

Considerando un tipico **impianto ad iniezione gassosa**, le componenti principali saranno:

Centralina elettronica



Le strategie di iniezione ed in particolare il calcolo dei tempi di iniezione gas si basano su una struttura software a modello fisico di riferimento in grado di determinarne il valore ottimo in ogni condizione di funzionamento del motore. Le informazioni relative a giri motore, pressione gas, temperatura gas e temperatura acqua vengono utilizzati per modificare in modo fisico i tempi di iniezione gas. Il sensore di temperatura acqua, installato a monte del riduttore, fornisce un segnale utilizzato per stabilire il passaggio benzina-gas a seguito dell'avviamento, che avviene anche in funzione del tempo trascorso dall'avviamento e del numero di giri motore. Il sistema include inoltre strategie di diagnosi e prevede il passaggio automatico a benzina in caso di avaria. La centralina è disponibile in tre versioni per motori a 4, a 6 o a 8 cilindri. Tutte le operazioni di controllo, diagnosi e modifica possono essere fatte attraverso un portatile/palmare collegato attraverso una connessione seriale alla centralina.

Commutatore indicatore



Modulo di comando elettronico le cui funzioni sono:

- a) selettore gas/benzina a 2 posizioni ed indicazione carburante in uso tramite due led luminosi
- b) visualizzazione della quantità di gas presente nel serbatoio tramite 5 led luminosi. Il commutatore dotato inoltre di un segnalatore acustico che entra in funzione nelle seguenti condizioni: retro passaggio a benzina per bassa pressione, retro passaggio a benzina per diagnosi.

Vaporizzatore/riduttore



Regola la pressione del gas ad un valore superiore rispetto a quello esistente nel collettore di pressione.

Filtro gas



Filtro posizionato tra il riduttore ed il rail iniettori ed ha la funzione di filtrare il GPL in fase gassosa, trattenendo le impurità caratteristiche del gas stesso al fine di proteggere l'integrità gli iniettori. Il filtro contiene una cartuccia che garantisce una capacità di filtraggio di 80µm. La pressione massima di lavoro 250 kPa.

Rail iniettori GPL

Il GPL, proveniente dal filtro, alimenta gli iniettori ed, opportunamente dosato, esce dagli stessi ed arriva al collettore di aspirazione e nel motore. L'iniezione di tipo gassosa avviene in modo sequenziale: gli iniettori vengono aperti singolarmente in base al ciclo di funzionamento di ogni cilindro. La quantità di gas da immettere e il tempo di apertura degli iniettori viene stabilita dal modulo elettronico di comando GPL. Ciò consente di ottimizzare consumi, prestazioni ed emissioni in tutte le condizioni di utilizzo del veicolo. Il gruppo rail-iniettori include, inoltre, un sensore di pressione e temperatura del gas che informa su tali valori l'unità elettronica di comando. Dagli iniettori, il Gas opportunamente dosato giunge all'interno dei condotti di aspirazione del motore e quindi all'interno della camera di combustione. È questo il momento durante il quale il GPL subisce la trasformazione da energia chimica ad energia meccanica. Gli iniettori sono pilotati dalla centralina ECU gas. Il rail può essere a 2, 3 o 4 iniettori, al fine di coprire il campo delle possibili applicazioni. Nel rail iniettori sono prelevati segnali di pressione e temperatura del gas. La pressione massima di lavoro di 250 kPa.

Serbatoio GPL , valvola di sicurezza e valvola di carico

Serbatoio cilindrico



Serbatoio toroidale



Valvola di carico



Preso carica (adattatore)



Al fine di mantenere inalterata l'estetica e il design stesso della vettura, la valvola di carico viene posizionata all'interno dello stesso sportello di rifornimento della Benzina. Per un discorso di massima sicurezza la valvola è tarata per consentire un riempimento dell'80% del valore limite del serbatoio. Al cliente viene fornito un kit adattatore da utilizzare durante la fase di rifornimento.

Tramite un condotto di collegamento rigido il gas allo stato liquido giunge al serbatoio. Il GPL all'interno del serbatoio è a bassa pressione (3-6 bar). Il serbatoio è in acciaio di 3-4 mm ed omologato per pressioni 10 volte superiori a quelle di lavoro (circa 300 bar), presenta quindi elevatissimi standard di sicurezza. Il serbatoio utilizzato sulle nostre vetture è di forma toroidale (comunemente denominato a ciambella) installato nell'alloggiamento della ruota di scorta. La capacità varia da 35 a 60 litri. Dove possibile, il serbatoio è posto sotto il pianale. La scelta del serbatoio toroidale consente di lasciare invariata la capacità di carico, il comfort e design interno delle vetture dalle piccole alle medie monovolume sino alle berline. La ruota di scorta è sostituita dal kit di riparazione pneumatici, soluzione del resto sempre più diffusa anche su auto alimentate con carburanti tradizionali. All'interno del serbatoio è presente un sistema multivalvola che consente di rifornire il serbatoio di GPL in forma liquida, permette inoltre d'interrompere l'uscita di gas in caso di rottura della tubazione che collega il serbatoio al vano motore e di chiudere manualmente i condotti di rifornimento in caso di manutenzione.

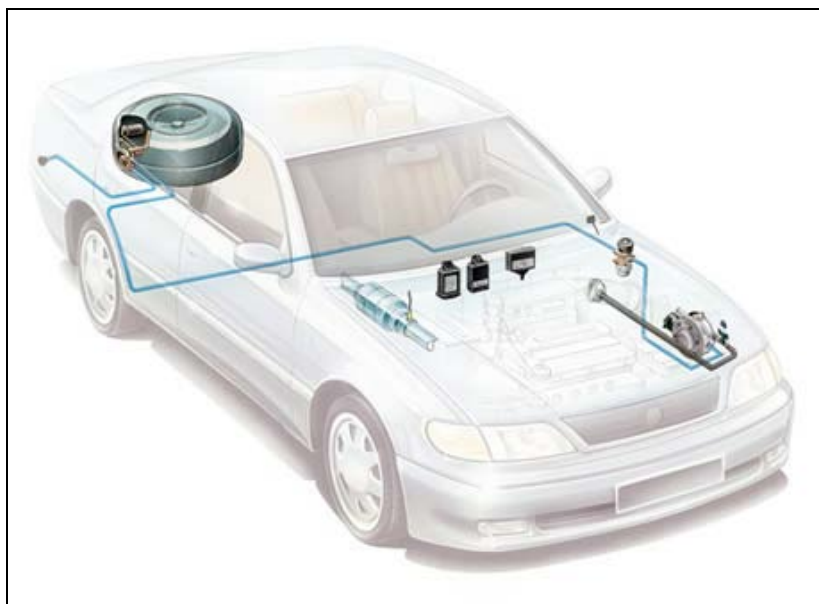


Fig.57 - Spaccato d'insieme di un impianto per veicoli ad iniezione gassosa.(LandiRenzo)

Analizziamo il percorso che il GPL normalmente segue dalla stazione di rifornimento all'iniezione/combustione all'interno del motore. All'atto di fare rifornimento l'operatore del distributore di GPL (l'unico al momento autorizzato a rifornire le auto) usa il kit adattatore fornito al cliente da utilizzare durante la fase di rifornimento, collegandolo alla valvola di carico posta in fianco al normale bocchettone per il rifornimento di Benzina. Tramite un condotto di collegamento rigido il gas allo stato liquido giunge al serbatoio di GPL.

All'interno del serbatoio è presente un sistema multivalvola che consente di rifornire il serbatoio di GPL in forma liquida, permette inoltre d'interrompere l'uscita di gas in caso di rottura della tubazione che collega il serbatoio al vano motore e di chiudere manualmente i condotti di rifornimento in caso di manutenzione. All'interno del sistema multivalvola è presente un sensore elettronico che, collegato con un apposito indicatore, consente di visualizzare al conducente il livello di carburante presente nel serbatoio.

Attraverso i condotti rigidi il GPL liquido fluisce al riduttore di pressione, posizionato all'interno del vano motore: tale riduttore ha lo specifico compito di ridurre la pressione da 3-6 bar di ingresso ad 1 bar (pressione di erogazione). La diminuzione di pressione porta il GPL a passare da uno stato liquido a uno gassoso. Ed è proprio questa la condizione di iniezione: il riduttore-vaporizzatore include un sistema di sicurezza che interviene chiudendo le elettrovalvole del gas in caso di spegnimento accidentale del motore; inoltre all'interno del riduttore è presente una valvola di sicurezza tarata a 3,5 bar per proteggere l'impianto in caso di eccessiva pressione del GPL.

Il GPL in fase gassosa, superato il riduttore, giunge al gruppo rail-iniettori attraverso il filtro che ha la funzione di trattenere le impurità caratteristiche del gas stesso al fine di proteggere l'integrità gli iniettori. Il rail può essere a 3 o 4 iniettori, al fine di coprire il campo delle possibili applicazioni (motori a tre o a quattro cilindri). L'iniezione di tipo gassosa avviene in modo sequenziale: gli iniettori vengono aperti singolarmente in base al ciclo di funzionamento di ogni cilindro. La quantità di gas da immettere e il tempo di apertura degli iniettori viene stabilita dal modulo elettronico di comando GPL. Ciò consente di ottimizzare consumi, prestazioni ed emissioni in tutte le condizioni di utilizzo del veicolo. Il gruppo rail-iniettori include, inoltre, un sensore di pressione e temperatura del gas che informa su tali valori l'unità elettronica di comando. Dagli iniettori, il Gas opportunamente dosato giunge all'interno dei condotti di aspirazione del motore e quindi all'interno della camera di combustione. È questo il momento durante il quale il GPL subisce la trasformazione da energia chimica ad energia meccanica. Il controllo e il pilotaggio del sistema avviene tramite un modulo di comando elettronico. L'unità di comando riceve i segnali principali dalla centralina di gestione motore e i segnali del sistema gas dai sensori di pressione, temperatura e livello serbatoio GPL: opportunamente elaborati questi dati consentono al sistema di funzionare. L'integrazione del sistema sulle vetture è stata sottoposta a lunghe prove e a test specifici in fabbrica (o da parte dell'installatore del impianto), in modo da generare una mappatura specifica per ciascun tipo di motorizzazione e modello (in pratica un programma di dosaggio e controllo che è un po' il SO ed i drivers della centralina). Il software a disposizione varia a seconda della motorizzazione utilizzata. L'iniezione gassosa è praticamente quella più usata, perché è anche la più semplice da settare ed è installata in auto a iniezione indiretta.

Manutenzione impianto GPL a iniezione gassosa

I serbatoi per il GPL non devono essere revisionati, hanno una durata di dieci anni dalla data di collaudo del serbatoio (stampata sullo stesso) e dopo tale periodo devono essere sostituiti.

Come ogni componente meccanico soggetto ad usura, gli impianti a gas necessitano di una manutenzione programmata da eseguire circa ogni 20.000 Km (si può far eseguire tale controllo in concomitanza ai normali tagliandi dell'auto) durante la quale viene verificato il corretto funzionamento dei vari componenti. Particolare attenzione va posta al filtro gas (da sostituire all'occorrenza) e all'impianto di accensione che deve sempre essere mantenuto in perfetta efficienza.

Ma c'è un altro modo per utilizzare il GPL, e cioè quello di iniettarlo ancora allo stato liquido nei cilindri, come se si trattasse di normale Benzina verde. L'iniezione di gas liquido non è una novità, ma solo di recente questa tecnologia ha raggiunto l'efficienza e l'affidabilità necessarie per un uso su larga scala: diverse aziende produttrici di kit GPL la commercializzano ma solo per retrofit, infatti le case automobilistiche non propongono l'iniezione liquida su auto bifuel di serie (appunto perché si tratta di una tecnologia più costosa della gassosa), se non in rari casi.

Per prima cosa vediamo come è fatto un impianto di questo tipo, come funziona e in che cosa differisce da quelli più comuni a iniezione gassosa. In teoria è più semplice perché necessita di minori componenti, per contro questi ultimi sono più sofisticati e, di conseguenza, costosi. Il serbatoio, integra al suo interno una pompa, assente negli impianti gassosi, indispensabile per garantire la giusta pressione di alimentazione e assicurare la circolazione del GPL in forma liquida. Pompa che deve essere accuratamente protetta da filtri e schermata perché il gas può essere inquinato da impurità e da agenti corrosivi. Il gas arriva così, allo stato liquido, fino agli iniettori che hanno caratteristiche molto simili a quelli utilizzati per la Benzina.

Il posizionamento degli iniettori sul collettore di aspirazione è molto importante perché da ciò dipende il buon funzionamento di tutto l'impianto.

Gli iniettori del gas vengono pilotati dalla stessa centralina elettronica che gestisce l'iniezione di Benzina coadiuvata da un'unità di controllo specifica dell'impianto a gas. Il gas in eccesso, poi, ritorna, ancora allo stato liquido, nel serbatoio. I **vantaggi** dell'iniezione liquida sono:

- 1) Il dosaggio è, esattamente come avviene per la Benzina, molto più preciso. Inoltre, dato che il gas viene iniettato in forma liquida, non viene sottratto spazio vitale all'aria aspirata.
- 2) l'iniezione comporta un passaggio di stato, nella camera di combustione, da liquido a gassoso, che raffredda la miscela di circa 50 °C a tutto vantaggio del rendimento e della durata delle valvole. Con il Gpl le prestazioni massime risultano inalterate se non leggermente superiori rispetto a quelle ottenute con la Benzina, un risultato non da poco visto che con gli impianti gassosi le differenze, generalmente, sono a sfavore!
- 3) Nessun problema di taratura in quanto liquido come la Benzina e non in forma gassosa, quindi soggetto a variazioni in base alla pressione/temperatura atmosferica;
- 4) Nessun tipo di manutenzione straordinaria per cambiare filtri ogni 10-20.000 km;
- 5) Nessun tipo di problemi legati alle impurità presenti nel GPL. Il tutto viene bruciato durante la combustione e non rimangono residui dannosi all'impianto e soprattutto agli iniettori;

- 6) Nessun tipo di problemi collegati al diverso mix Propano/Butano nelle diverse stagioni dell'anno;
- 7) Nessun tipo di problemi (ritorno di fiamma) sui motori TURBO;
- 8) Migliori prestazioni di guidabilità ed emissione di elementi inquinanti;
- 9) Minor consumo km/l e quindi maggior risparmio economico (normalmente per un impianto ad iniezione gassosa l'aumento di consumi è tra il 15 e il 20%);
- 10) Mantiene inalterata la diagnostica originale dell'auto e convive con la gestione originale della centralina elettronica del motore;
- 11) Non bisogna eseguire interventi intrusivi sul sistema di raffreddamento originale dell'auto;

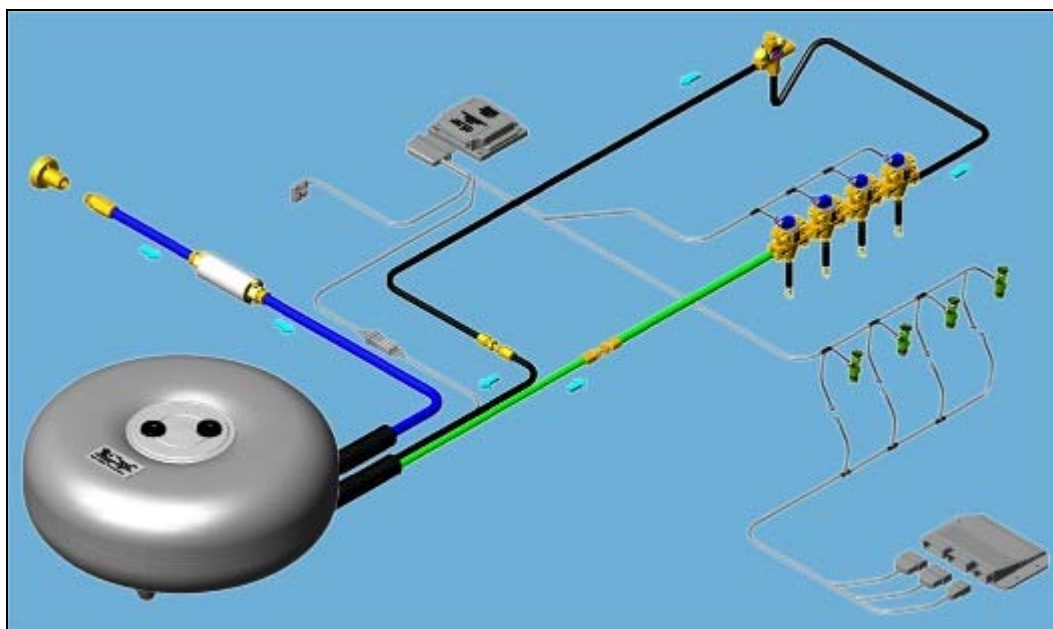


Fig.58 - Impianto a iniezione liquida abbinabile a motore ad accensione comandata. (Icom)

La tecnologia dell'iniezione liquida come detto porta molti vantaggi, ma i singoli componenti, seppur in numero minore sono più costosi e necessitano di una messa a punto decisamente più attenta e complicata.

Comunque la maggioranza delle auto BiFuel GPL integrano l'impianto con un motore aspirato, dove l'aria viene "aspirata" dal collettore tramite il semplice movimento dei cilindri: questi motori (ad iniezione diretta o indiretta) sviluppano la coppia massima ad un regime di giri molto alto, perciò in generale con impianti a GPL di qualche decennio fa perdevano parecchio in termini di potenza (CV), ora con i nuovi impianti elettronici, le cose sono notevolmente migliorate e si parla di max una perdita di 5% in termini di potenza.

L'iniezione gassosa/liquida ha avuto notevole successo anche sui motori turbosovralimentati ad iniezione indiretta, oltre agli aspirati. Il perché è presto detto: l'aggiunta di una turbina mossa dai gas di scarico mette in rotazione il compressore della sovralimentazione, permettendo di comprimere maggiormente l'aria all'aspirazione. Ciò permette di recuperare parte della perdita di energia dovuta al troncamento dell'espansione del cilindro.

Il turbocompressore ha un regime minimo di rotazione al di sotto del quale non apporta benefici poiché la sua pressione di sovralimentazione è scarsa; in gergo si usa dire che non entra in pressione. Anzi, a causa del più basso rapporto di compressione e della presenza delle giranti, che costituiscono un ostacolo all'efflusso dei gas di scarico ed all'afflusso dell'aria, un motore turbocompresso che gira al di sotto del "regime minimo di sovralimentazione" eroga meno potenza di un aspirato di pari cilindrata. Tale "regime minimo di sovralimentazione" varia in base alla tipologia di turbocompressore adottato: su una vettura dotata di turbocompressore ad alta pressione tale regime è attorno ai 3.000 giri/minuto. Su una vettura dotata di turbocompressore a bassa pressione, la sovralimentazione è già disponibile dai 1.600 giri/minuto.

L'ultimo esempio in ordine di tempo è il 900 twin-air della Fiat, ma pare una tendenza nettamente consolidata quella di sostituire un motore aspirato di cilindrata maggiore, con un moderno turbo di piccola cilindrata di pari potenza massima, che però grazie al turbo, ha una curva di coppia maggiormente vantaggiosa ai bassi regimi. Esempi illustri sono anche i vari 1.4 T-Jet Fiat, i TSI VW, o TCE Renault. Tale pratica di riduzione della cilindrata con l'introduzione del turbo (downsizing) con la conseguente riduzione del rapporto di sovralimentazione al diminuire del carico richiesto al motore, ha come scopo principale quello di contenere i consumi ai carichi parziali, mentre permette di sopperire con la turbina ai carichi più alti. Per le case ci sono inoltre vantaggi sotto il profilo della riduzione di peso, dell'ingombro e del costo del motore stesso.

Si è dunque osservato che motori turbo sovralimentati (se modificati per ridurre lo stress provocato dall'utilizzo di un combustibile come il GPL su parti delicate quali le valvole), permettono ottime prestazioni (specie in termini di coppia disponibile) e consumi bassi. Anche l'iniezione liquida ha dimostrato grande prospettiva in questo settore ed attualmente sono in fase di prova (in alcuni casi già in vendita), impianti ad iniezione liquida di GPL per motori di nuova concezione quali ad esempio TSI e TFSI ad iniezione diretta di carburante.

Fino a qualche anno fa era sostanzialmente impossibile modificare tali motori, in quanto estremamente delicati e dalla dosatura molto precisa. Era quindi necessario installare gli iniettori del gpl direttamente nel cilindro, cosa che poteva seriamente danneggiarli. Si ricorreva quindi all'iniezione di una certa % di Benzina oltre al GPL, in modo da raffreddarli: dunque era lecito aspettarsi un aumento del consumo di GPL e un certo utilizzo di Benzina durante la marcia del veicolo (non solo all'accensione).

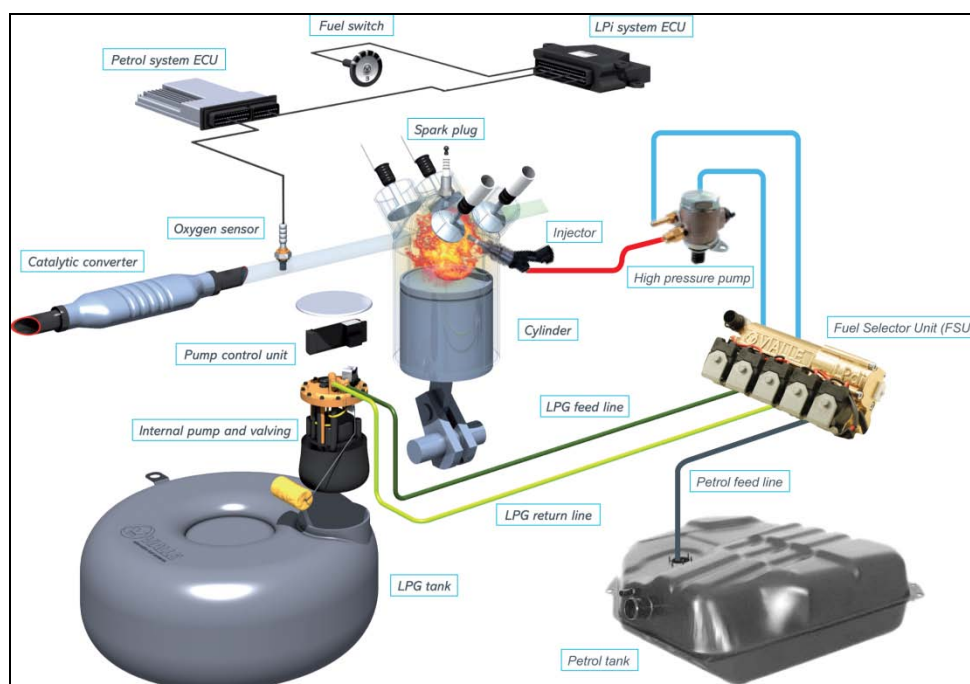


Fig.59 - Impianto LPDI per motori ad iniezione diretta di carburante (Vialle).

Alla data attuale sono già disponibili impianti ad iniezione liquida per tali motori, che utilizzano direttamente gli iniettori della Benzina in modo da avere tali **vantaggi**:

- 1) Minore temperatura in camera dovuta all'evaporazione istantanea del GPL iniettato; ergo maggior rendimento (soprattutto se turbo) e minore stress per il motore.
- 2) Sfruttando gli iniettori della Benzina questi non si rovinano per il mancato raffreddamento, anzi funzionano come se stessero andando a Benzina e si può anche partire direttamente a GPL.

- 3) Dato che la miscela si forma all'interno della camera di combustione, non passa attraverso le valvole (al posto della Benzina) riducendone la lubrificazione rispetto al funzionamento a Benzina (con i problemi di secchezza tipici di impianti a iniezione indiretta).
- 4) Tempi d'iniezione non più dipendenti dall'apertura delle valvole.
- 5) Minori consumi di carburante.
- 6) Minori emissioni di CO₂ .
- 7) Più potenza a parità di cilindrata.
- 8) La composizione del GPL non è più importante (nel senso che può essere anche di qualità inferiore ("sporco"), senza dare particolari problemi (nella gassosa, con i filtri invece ho problemi d'intasamento maggiori).

Un sistema di questo tipo ha ovviamente delle caratteristiche peculiari rispetto ad un impianto ad iniezione gassosa, in particolare ha meno componenti ma più complessi (e costosi), come ad esempio la pompa integrata nel serbatoio di GPL. Insomma alla data attuale tali impianti ad iniezione non sembrano ancora dare grande fiducia sulla tenuta e affidabilità a lungo termine sia degli stessi che del motore che li utilizza.

2.3- IMPIANTI A METANO ADOTTATI SUI MODERNI MOTORI A BENZINA A INIEZIONE

Le auto a Metano possono essere:

- Monovalenti: alimentate a solo metano o a Metano con un piccolo serbatoio di riserva di Benzina di capacità inferiore a 15 litri. Le monovalenti godono in Italia di uno sconto sul bollo auto del 75% ed inoltre la Legge n. 99 del 23/07/09 autorizza le Regioni che lo desiderano ad esentarle completamente dal bollo per 5 annualità
- Bivalenti (o BiFuel): con alimentazione sia a Benzina che a Metano. Le bivalenti non beneficiano di riduzioni del bollo auto a livello nazionale ma, come per le monovalenti, la Legge n. 99 del 23/07/09 autorizza le Regioni che lo desiderano ad esentarle completamente dal bollo per 5 annualità

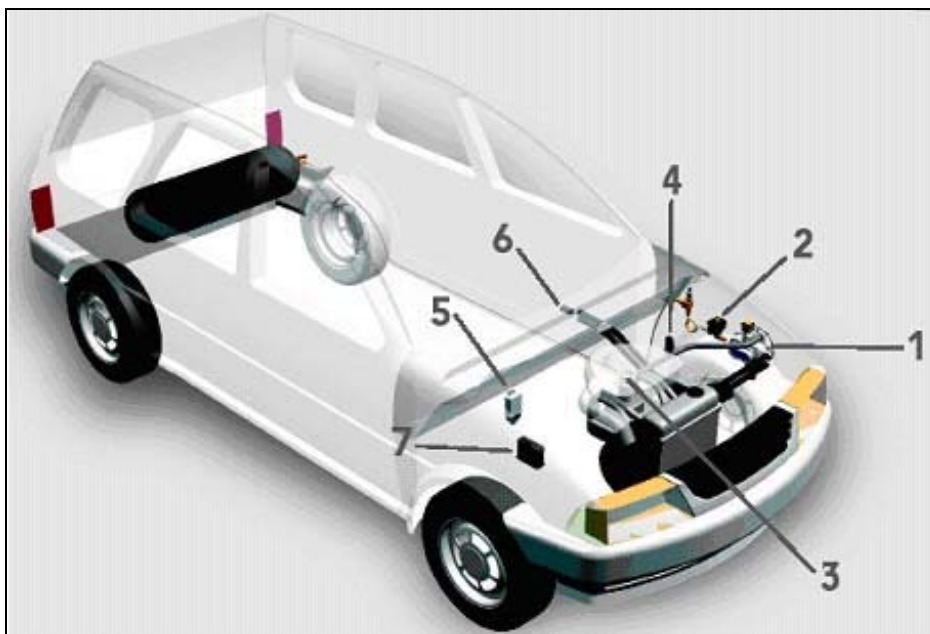
Analizziamo le Bivalenti, la tipologia più diffusa.

Anche qui esistono tipologie diverse d'impianto ma sostanzialmente basate sulla medesima tecnologia. Le cose cambiano invece nella progettazione delle auto fin dalla casa madre.

Infatti alcune case automobilistiche offrono impianti proprietari su alcuni modelli, dove sono state introdotte soluzioni d'integrazione impossibili su kit "aftermarket" (con il GPL non vi erano differenze tra aftermarket e soluzione della casa), le cui bombole del Metano vengono messe successivamente all'acquisto del veicolo - generalmente nel bagagliaio - occupando un considerevole spazio libero nel autoveicolo.

Analizziamo alcuni impianti “aftermarket” (ovvero installabili successivamente all’acquisto del veicolo) moderni per auto con catalizzatore ed iniezione di carburante (impianti descritti della Tartarini):

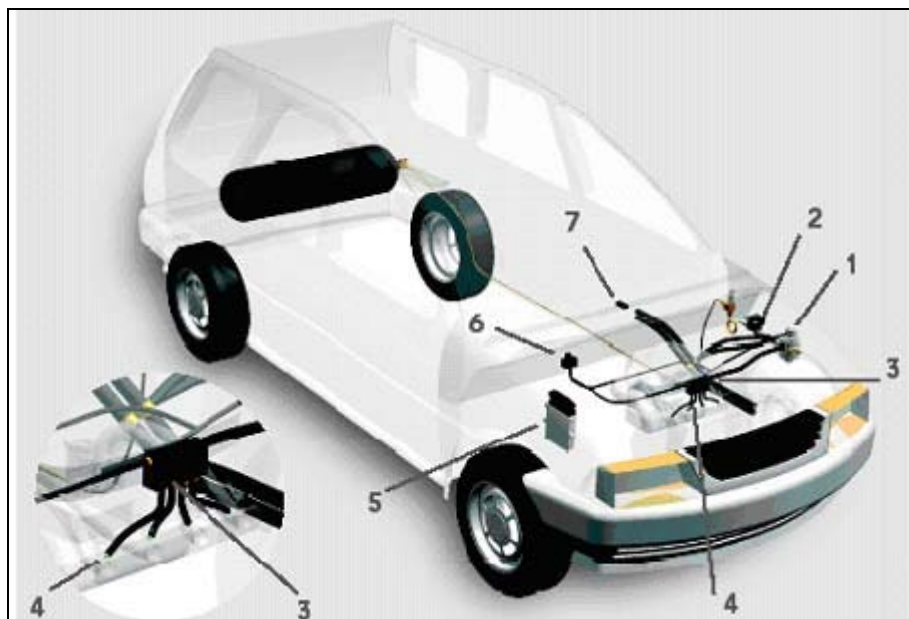
KIT di conversione a Metano in un auto a iniezione catalizzata



Il Metano giunge ad una pressione di 220 Bar (22.000 kPa) al riduttore (1) attraversando l’elettrovalvola Metano (2) che risulta aperta solo durante il funzionamento a gas della vettura. All’interno del riduttore la pressione viene ridotta e il metano viene aspirato dal motore tramite il miscelatore (3), specifico auto per auto, posto a monte del corpo farfallato. Il miscelatore consente al gas di miscelarsi perfettamente con l’aria creando una miscela omogenea. Trattandosi di vetture catalizzate è obbligatorio che sia presente nell’impianto un Sistema di controllo della carburazione. Tale Sistema è dotato di una centralina elettronica (7) che ha il compito di comandare un attuatore (4), posto sul tubo di collegamento tra il riduttore e il miscelatore, garantendo il perfetto rapporto stechiometrico della miscela, sulla base del segnale lambda che la centralina elettronica del Gas riceve dalla sonda Lambda originale Benzina. Durante il funzionamento a gas il passaggio della Benzina viene intercettato da un dispositivo elettrico (relay) o elettronico (emulatore) (5) che interrompe il funzionamento degli elettroiniettori originali Benzina. Relay o emulatori sono specifici in funzione della tipologia dell’impianto a Benzina. La scelta del carburante con il quale viaggiare (Metano o Benzina) è a discrezione dell’utente che può sceglierlo azionando sul

commutatore (6) posto in posizione ergonomica all'interno dell'abitacolo già dotato di indicazione del carburante.

Kit Sistema ad iniezione sequenziale fasata per Metano



Il Sistema "Sequenziale fasato" è l'ultima generazione nei Sistemi di iniezione Metano e GPL ed è idoneo per essere installato non solo sulle vetture a benzina aventi iniezione multipoint "Sequenziale" ma anche sulle vetture a Benzina dotate di iniezione multipoint gestite in modo "Semi-sequenziale" e "Full-group". È il più efficace per garantire il miglior risultato sia dal punto di vista della guidabilità che delle prestazioni. Vengono infatti mantenute inalterate, cilindro per cilindro, sia le strategie di arricchimento che quelle di ottimizzazione dei consumi e delle emissioni generate dalla centralina elettronica Benzina.

Con questo Sistema è garantita la compatibilità con l'OBD (On Board Diagnosis) originale dell'auto. Il sistema OBD informa l'utente se qualche componente della vettura, dedicato al rispetto delle emissioni inquinanti, è difettoso e pertanto potrebbe compromettere le emissioni stesse.

Se ciò avvenisse l'utente verrebbe informato da un segnalatore acustico integrato nel commutatore, mentre sarà semplice per l'installatore risalire al problema collegandosi con la strumentazione dedicata. Il Metano giunge ad una pressione di 220 bar (22.000 kPa) al riduttore (1) attraversando l'elettrovalvola Metano (2) posizionata a monte del riduttore stesso sul tubo alta pressione, che risulta aperta solo durante il funzionamento a metano della vettura. All'interno del riduttore la pressione del Metano viene ridotta da due stadi di riduzione e raggiunge il rail iniettori (3) con una pressione positiva rispetto alla depressione presente nei collettori d'aspirazione. Infatti la camera superiore del riduttore, all'interno della quale è presente la molla di taratura, è collegata tramite un tubo al collettore d'aspirazione. Al rail iniettori vengono applicati degli ugelli calibrati che, collegati a degli ugelli (4) al collettore d'aspirazione tramite dei tubi in gomma, immettono il gas nel motore. Il sistema Sequenziale per Metano è un sistema specifico per vetture catalizzate ed è pertanto prevista una centralina elettronica (5) che ha il compito di comandare gli elettro-iniettori gas nel rail, garantendo il perfetto rapporto stechiometrico della miscela, sulla base di una elaborazione del segnale del sensore di pressione (6) e del tempo di iniezione degli iniettori Benzina. Durante il funzionamento a gas, il passaggio della Benzina viene intercettato da un dispositivo elettronico (emulatore) integrato nella centralina stessa che interrompe il funzionamento degli elettro-iniettori originali a Benzina. La scelta del carburante con il quale viaggiare (Metano o Benzina) è a discrezione dell'utente che può sceglierlo azionando sul commutatore (7) posto in posizione ergonomica all'interno dell'abitacolo già dotato di indicazione del carburante. Come detto questi due impianti, della Tartarini non sono diversi dagli impianti di altre ditte i concetti sono più o meno gli stessi. Inoltre come è facilmente intuibile molte componenti adottate sono simili (se non uguali) a quelle usate con il GPL. Quello che cambia evidentemente sono le bombole per l'immagazzinamento del Metano all'interno del veicolo. Le bombole sono installate sulla vettura, solitamente nel baule per le vetture trasformate successivamente alla costruzione, sotto il pianale o comunque integrate nella scocca per le vetture già concepite per il funzionamento a Metano. L'autonomia della vettura dipende dalla capacità delle bombole installate e può variare considerevolmente; mediamente per un'auto di segmento "B" con carrozzeria a due volumi la capacità geometrica installabile varia da 60 a 80 litri, con un contenuto di circa 10/13 kg di Metano compresso. Le auto di taglia maggiore (station wagon - monovolume) possono arrivare a caricare 20 o più kg di Metano compresso per un'autonomia che può variare tra i 350 e i 500 km, a seconda del consumo, del percorso e dello stile di guida dell'autista.



Fig.60 - Esempio di sistemazione di alcune bombole di Metano di un impianto aftermarket nel bagagliaio di un autoveicolo.

I serbatoi di Metano sono costituiti da bombole che mantengono il gas in pressione (in genere intorno ai 220 bar nell'esercizio, pressioni di collaudo invece di 300 bar), alloggiati all'interno del veicolo: sono bombole di una certa dimensione, relativamente pesanti che hanno un certo impatto sul veicolo. Non esistono bombole toroidali simili a quelle in uso con GPL, che consentirebbero un significativo guadagno in termini di peso e spazio perché per mantenere elevate pressioni in ambito di sicurezza (normative UNI, collaudi ecc.) la dimensione è importante, perché l'attuale forma cilindrica raccordata tonda agli estremi è quella che consente la migliore distribuzione di forze e pressioni all'interno e sul materiale stesso. Dato il peso delle bombole non proprio trascurabile, specie se se ne imbarcano più di una a volte è necessario mettere dei distanziali sul asse posteriore per compensare l'abbassamento del veicolo nel posteriore.

Discorso diverso se si parla non più di semplice integrazione aftermarket, senza grosse modifiche all'auto, ma di impianti integrati già in fabbrica quindi "proprietary", con soluzioni particolari di messa a punto del motore, serbatoi collocati sotto il pianale del veicolo e riduzione del serbatoio di benzina.

Molto interessante è l'abbinamento del Metano con i motori Turbosovralimentati: infatti il Metano ha un PCI superiore rispetto alla Benzina ma è anche vero che abbisogna di più aria per bruciare e la potenza di un motore è proporzionale alla quantità di combustibile che è in grado di bruciare nell'unità di tempo. Il combustibile bruciabile dipende dall'aria che il motore è in grado di elaborare ad ogni ciclo, oltre che dal numero di cicli al secondo. Normalmente l'aria ingerita per

ogni ciclo dipende fondamentalmente dalla cilindrata (e in misura minore dalla dinamica dei flussi nei condotti di aspirazione/scarico). Nel caso dei motori compressi la quantità d'aria dipende anche dalla pressione di sovralimentazione.

Il Metano ha la caratteristica di essere un poco lento ad accendersi, da questo fondamentalmente deriva il suo superiore numero di ottano (120 rispetto ai 98 della Benzina), ma anche una maggior lentezza di combustione, che necessita di un anticipo maggiore e non si sposa bene con gli alti giri. Aumentare i giri dovrebbe essere da escludere, molto meglio aumentare la coppia. Normalmente passare al Metano implica che la stessa carica di miscela aria/combustibile di ogni ciclo motore contiene meno combustibile, dunque meno potenza, anche se il potere calorifico del metano è leggermente superiore alla Benzina.

Per i motori turbo si può ovviare al problema aumentando la pressione di alimentazione, quindi più aria/combustibile nel Metano. La cosa è favorita dal suo superiore potere antidetonante, che dovrebbe mettere al sicuro dai rischi di detonazione derivanti dall'aumento di pressione e temperatura della miscela immessa nel motore. Infine anche il rendimento aumenta, tanto che spesso molte auto turbo se ben tarate, rendono di più con alimentazione a Metano (guadagnando pure qual cosina in potenza). Quindi sono già disponibili impianti per motori turbo (non sono altro che quelli ad iniezione sequenziale fasata), ma anche qui soprattutto per motori turbo sovralimentati ad iniezione indiretta.

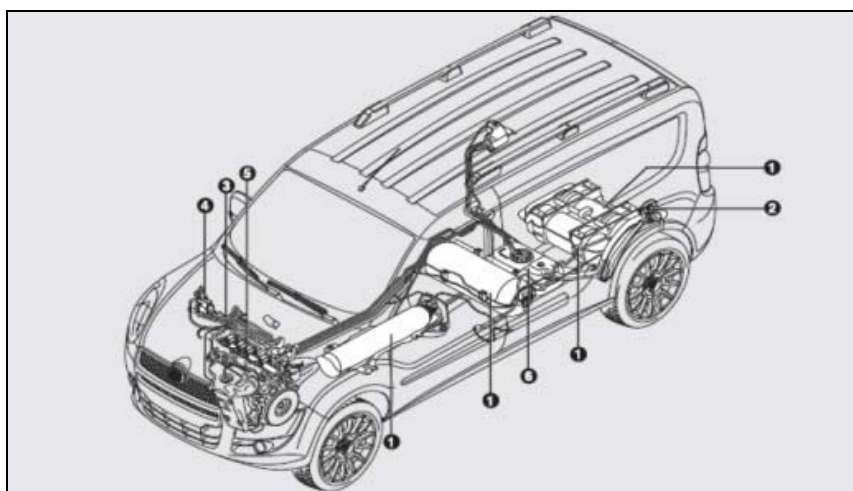


Fig.61 - Fiat Doblò Natural Power Turbo dotato di motore turbo T-jet bifuel Metano.

Molte case automobilistiche offrono abbinamenti interessanti con motori aspirati e turbo sovralimentati ad iniezione indiretta, apportando modifiche importanti al veicolo. Una ad esempio è la collocazione sotto il pianale dell'auto delle bombole di Metano, costringendo a ridurre la capacità del serbatoio di Benzina per mantenere inalterate le dimensioni del veicolo. Poi si cerca di spostare le varie indicazioni su autonomia, percorrenza e capacità serbatoio di Metano sul computer di bordo originale dell'auto, senza selettori aggiuntivi a volte posticci.

Da rimarcare che esiste anche qualche impianto integrato su auto direttamente dalla casa madre (sempre di tipo sequenziale fasato), abbinato ad un motore turbo sovralimentato a iniezione diretta di carburante. Si tratta di soluzioni uniche per il momento:

- Impianto montato sulla VW Passat Ecofuel, che abbina un impianto a Metano proprietario ad un motore TSI 1.4 da 150cv.



Fig.62 - VW Passat Ecofuel TSI.

- Impianto montato sulla Mercedes Classe B NGT, che abbina un impianto a Metano proprietario ad un motore 2.0 da 116cv.

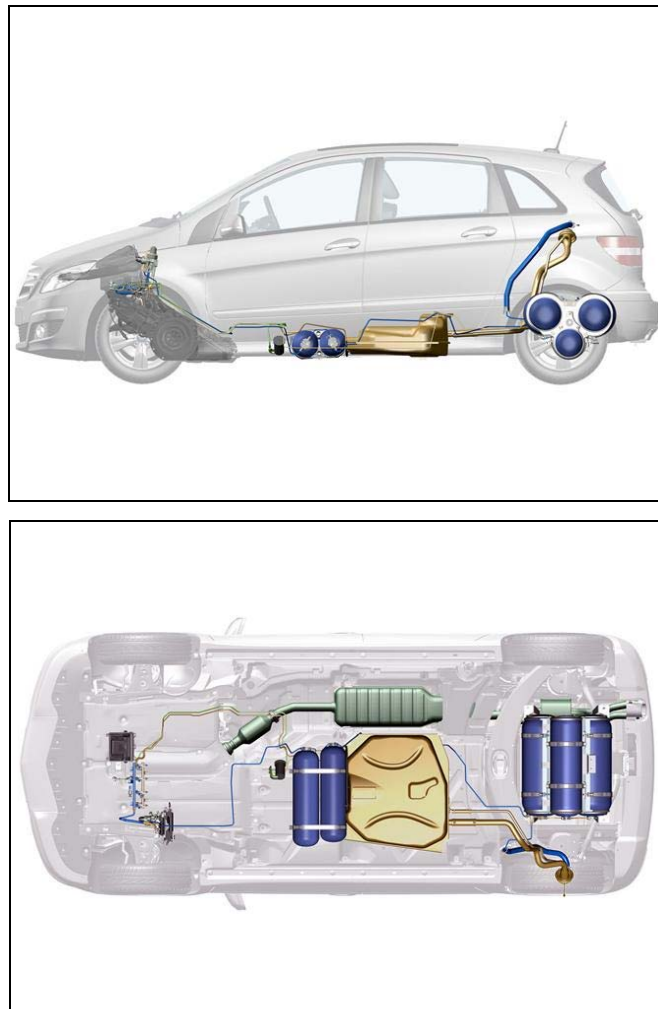


Fig.63 - Mercedes Classe B 180 NGT.

Audi ha annunciato recentemente l'E-Gas Project: esso è il risultato di 3 anni di ricerche e vede Audi impegnata nella realizzazione di auto BiFuel a metano della futura gamma TCNG con motori TFSI, attesa nel 2013: per ora si parla di Audi A3 TCNG, della quale non si hanno dati tecnici né si conoscono le prestazioni. Pare comunque che viste le ottime integrazioni fatte da VW sui motori TSI, non sarà difficile attendersi ottime prestazioni e basso costo d'esercizio.

- Impianto montato sulla Mercedes Classe E NGT, che abbina un impianto a Metano proprietario ad un motore 1.8 BlueEfficiency da 163cv.

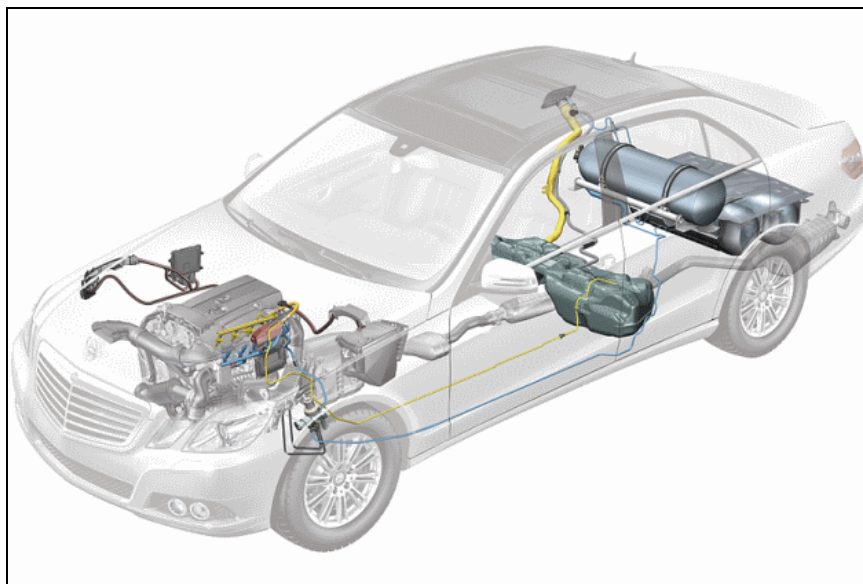


Fig.64 - Mercedes Classe E 200 NGT.

Elenco principali produttori kit Aftermarket per GPL e Metano:

- Landi Renzo
- BRC
- Vialle
- Tartarini
- Lovato Gas
- EMER
- Imega
- MG Motor Gas
- Romano
- ICOM
- Bigas Italia
- Emmegas
- Zavoli

Elenco principali modelli di serie a GPL (secondo trimestre 2011) :

- *Chevrolet* : Aveo, Spark
- *Citroen* : C3
- *Dacia* : Logan MCV, Sandero
- *Daihatsu* : Cuore, Sirion, Materia, Terios
- *DR* : dr1, dr2, dr5
- *Fiat* : Bravo, Grande Punto, Idea, Panda, Punto Evo, 500
- *Ford* : Fiesta, Fusion, Mondeo
- *Great Wall* : Hover 5, Steed
- *Kia* : Cee'd, Picanto, Sorento, Soul, Sportage
- *Lada* : Niva
- *Lancia* : Delta, Musa, Ypsilon
- *Mitsubishi* : Colt, Lancer
- *Opel* : Corsa
- *Peugeot* : 206 Plus, 207, 207 SW
- *Renault* : Twingo, Clio, Megane, Modus, Scenic Xmod, Grand Modus
- *Seat* : Altea, Leon
- *Skoda* : Fabia
- *Subaru* : Forester, Impreza, Legacy, Outback
- *Suzuki* : Alto
- *Tata* : Vista
- *Volkswagen* : Golf, Golf Plus, Polo

Elenco principali modelli di serie a Metano (secondo trimestre 2011):

- *DR* : dr1, dr2, dr5
- *Fiat* : Grande Punto, Panda, Punto Evo, Qubo, Doblò
- *Mercedes* : Classe B, Classe E
- *Opel* : Zafira
- *Tata* : Vista
- *Volkswagen* : Caddy, Touran, Passat

2.4- IMPIANTI A METANO SU VEICOLI A GASOLIO

Da tempo nelle nostre città circolano autobus alimentati a metano, dotati ovviamente di motore Otto. Un esempio sono i modelli Irisbus Iveco come il Cityclass Cursor CNG, attualmente il più diffuso in Italia.



Fig.65 - Iveco Cityclass Cursor CNG del ATAC.

Il modello dispone del motore Iveco Cursor a Metano, a ciclo Otto, sovralimentato, con una cilindrata di 7.790 cm³, iniezione multipoint a controllo elettronico, 6 cilindri in linea, capace di erogare una potenza massima di 200 kW a 2.100 giri/min ed una coppia massima di 1.100 Nm a 1.100 giri/min, abbinato al nuovo cambio ZF a sei marce. E' dotato di otto bombole, poste sul tetto dell'autobus, dalla capacità di 140 litri l'una, che garantiscono un'autonomia massima di 515 km, e di un sistema di sicurezza che tiene continuamente sotto controllo le pressioni interne alle bombole, rileva eventuali fughe di gas e provvede all'estinzione di eventuali incendi che potrebbero verificarsi nel vano motore. E' inoltre fornito di ABS, ASR, kneeling, pedana per accesso disabili, impianto di climatizzazione, sistema informativo per l'utenza AVM, sistema di controllo satellitare e di videosorveglianza.

Lungo 12 metri e largo 2,5, può raggiungere una velocità massima di 71 km/h, ha tre porte, 20 posti a sedere, 2 posti per disabili, 70 posti in piedi ed un posto di servizio, per un totale di 93 posti, pianale interamente ribassato, con altezze soglie 320 mm alla porta anteriore e 340 mm alle porte centrale e posteriore. Il Cityclass Cursor CNG garantisce bassi livelli di emissione di gas nocivi, rientrando pienamente entro i limiti imposti per la definizione di EEV (veicolo ecologico avanzato),

in particolare i livelli di emissioni garantiti sono: 2,53 g/kWh di monossido di carbonio, 0,006 g/kWh di idrocarburi non metanici, 0,017 g/kWh di idrocarburi metanici, 0,38 g/kWh di ossidi di azoto e 0,003 g/kWh di particolato.

Si tratta quindi di una scelta logica, adottata da parecchie aziende di trasporto pubblico che così hanno potuto ridurre sensibilmente le emissioni in città. Risulta fattibile anche la trasformazione del motore Diesel in un Otto modificato per funzionare a metano. Fino a 5/6 anni fa la trasformazione era complicata e costosa, in generale conveniva solamente se il bus aveva ancora dentro vita residua sufficiente ad ammortizzare l'operazione.

Il motore deve essere adatto, abbastanza vecchio e usato da inquinare ma abbastanza nuovo da giustificare una costosa ricostruzione che include sostituzione o modifica di pistoni e bielle, la sostanziale modifica della testata, foratura della medesima e installazione di candele di accensione come in qualsiasi motore Otto. Il rapporto di compressione viene portato a 12:1, il Metano grazie ai suoi 120 e più ottani "regge" fino a rapporto di compressione di circa 14:1 (il rapporto ideale è 16:1). L'accensione avviene come nei Benzina, con la candela.

Da qualche tempo, grazie all'uso massiccio dell'elettronica è possibile trasformare veicoli con emissioni «Euro1» in veicoli rispondenti alla direttiva «Euro4», consentendo di ottenere un motore a ciclo Otto avente le stesse caratteristiche di potenza, coppia e regime di rotazione del motore Diesel da cui è derivato. Il tutto con indubbi benefici ambientali oltre a ricorrere in misura minore a fonti di energia non rinnovabile e a ridurre, quindi, in modo significativo i livelli inquinanti atmosferici. È infatti noto come il processo di combustione della miscela aria metano permette un sostanziale abbattimento del rumore, con una riduzione di quasi il 50% della rumorosità percepita. In più, diminuiscono le necessità di manutenzione del motore, con cambi dell'olio meno frequenti. Va anche detto che l'aver ridotto il rapporto di compressione (dal 20:1 del diesel al 12:1 del metano) aumenta sensibilmente la durata potenziale del motore, così sottoposto a minori sollecitazioni.

Quindi in sostanza o si rifà il motore se ha ancora una significativa vita utile, oppure si prende un mezzo nuovo. I veicoli commerciali leggeri invece sono tutti dotati di motori ciclo Otto.

Per i mezzi pesanti come motrici per autotreni si stanno facendo molte sperimentazioni ma non sembra ci sia tutto questo mercato e convenienza.



Fig.66 - Prototipo d'impianto bifuel Landi Metano/Gasolio.



Fig.67 - Motore del prototipo bifuel Landi Metano/Gasolio; notare il rail di iniettori del Metano.

Su mezzi leggeri - auto e furgoni in particolare - intanto ci sono varie sperimentazioni, è però da valutare quale sia la convenienza di comprare un'auto Gasolio/Metano rispetto ad un'omologa Benzina/Metano: ad esempio Landi Renzo sta sviluppando un sistema per ottenere un **mix del 60% di Gasolio e del 40% di Metano** (già un notevole traguardo considerando che le precedenti soluzioni erano ben più sbilanciate percentualmente a favore del Gasolio) quando si viaggia a regimi compresi tra 1.200 e 3.200 giri/minuto, mentre al di sotto e al di sopra di tale range l'auto funziona solo come Diesel. Si tratta di una soluzione che passando dal monofuel al dual fuel (e viceversa) dovrebbe consentire di mantenere invariate potenza e prestazioni e allo stesso tempo di ridurre le spese per il carburante e le emissioni inquinanti.

La stima di Landi, tenendo comunque conto che il risparmio economico è sempre legato allo stile di guida adottato e ai prezzi dei due carburanti, ammonta ad una riduzione di almeno un 20% delle spese dal distributore. Sul fronte invece dei livelli di inquinamento, soggetti a norme e restrizioni sulla circolazione in alcune città, si parla di un calo del 60% delle emissioni di polveri fini e di un -15% di quelle di CO₂. Un passo importante anche per i veicoli commerciali leggeri, visto che la riduzione di particolato potrebbe renderli altrettanto puliti quanto i veicoli più nuovi con filtro specifico. Ci sarebbe però da osservare che una persona che sceglie l'opzione Metano, risparmiando ed inquinando molto meno, lo fa prendendo un'auto a Metano o trasformando un'auto a Benzina. Chi è quell'acquirente Diesel (che il Metano non lo ha mai preso in considerazione) che spende 2.000 € se non di più, per montare un impianto che gli farà risparmiare forse il 15-20%?

Come se ciò non bastasse, non solo dovrà rifornirsi di Gasolio ma anche di Metano il quale magari è stato snobbato proprio per la scomodità del rifornimento o dell'autonomia. Va infatti ricordato che questo tipo di impianto (uno dei più nuovi ed efficienti) costringe a operare con miscela Gasolio/Metano (60/40), mentre gli equivalenti a Benzina posso operare praticamente solo a Metano oppure con una piccola % di Benzina (per ridurre le temperature, salvaguardare gli iniettori e aumentare la lubrificazione delle valvole). Inoltre il cliente dovrà ammortare il sovra costo dell'auto Diesel (almeno 2.000 € nel migliore dei casi) oltre all'investimento per l'impianto a Metano. Diverso è il discorso degli impianti aftermarket, considerando il notevole parco di veicoli Diesel in circolazione non Euro4/Euro5 non dotati di filtro antiparticolato: se il prezzo ipotizzato potrebbe essere equivalente a quello di un impianto per motori Otto, la soluzione sarebbe interessante.

2.4- IMPATTO AMBIENTALE DEI VEICOLI BI-FUEL

Analizzando i binomi possibili Benzina - GPL/Metano si è giunti alla conclusione che per quanto riguarda le prestazioni (velocità, accelerazione da 0-100 km/h, coppia max , autonomia), le cose cambiano parecchio dal tipo di motore che si utilizza (a pari cilindrata e cavalleria) e dal tipo di impianto che si utilizza. Per il GPL, bisogna considerare il fatto che un'auto alimentata a GPL consuma mediamente il 10-15% in più rispetto al suo tradizionale consumo a Benzina, anche se si riesce ormai con i nuovi impianti sequenziali a fare nettamente meglio. Anche la perdita di potenza massima è di circa il 2/3%, lasciando pressoché invariate le prestazioni della vettura. E questo se si parla di moderni impianti sequenziali ad iniezione gassosa, perché gli impianti a iniezione liquida godono del vantaggio non trascurabile di iniettare il GPL liquido (non sottraendo spazio vitale all'aria aspirata) direttamente in camera di combustione. Il dosaggio è, esattamente come avviene per la Benzina, molto più preciso. Il GPL liquido non ha alcun problema di taratura in quanto liquido come la Benzina e non in forma gassosa, quindi soggetto a variazioni in base alla pressione/temperatura atmosferica. Questo insieme di vantaggi porta di conseguenza ad un miglioramento delle prestazioni che può portare addirittura a migliorarle anche rispetto all'automobile omologa a Benzina, specie in motori turbo sovralimentati. Lo stesso si può dire per il Metano. Ma per l'impatto ambientale di questi due combustibili, cosa si può dire?

Occorre fare una premessa sulle emissioni degli autoveicoli a Benzina e Diesel, le relative legislazioni che dettano i limiti di emissioni in atmosfera, molto importanti per capire anche quelle relative agli autoveicoli BiFuel analizzati in questa Tesi.

Per un motore termico quale un motore a combustione interna, gli inquinanti emessi in atmosfera possono essere sinteticamente divisi in :

- Prodotti d'*incompleta combustione* (es. CO, incombusti, perossidi, aldeidi, ecc.) che sono tossici e capaci di produrre danni fisiologici diversi a seconda della loro composizione chimica;
- Prodotti di *ossidazione completa* di sostanze presenti nel combustibile (es. zolfo) e/o nell'aria usata per la combustione (es. azoto), che sono nocivi per ogni forma di vita animale e vegetale;
- Prodotti di *ossidazione completa* che sono già presenti nell'atmosfera (es. vapore acqueo e anidride carbonica), ma per i quali si alterano i cicli naturali di produzione e distruzione, contribuendo così a modificare il bilancio tra l'energia assorbita e quella irradiata dalla terra (*effetto serra*).

Inquinanti contenuti nei gas di scarico, in particolare:

- Ossido di carbonio (CO);
- Ossidi di azoto (NO_x)
- Una grande varietà di idrocarburi derivanti dalla combustione o decomposizione parziale del combustibile, sinteticamente chiamati HC;
- Particelle solide portate in sospensione dai gas, derivate dall'ossidazione incompleta del combustibile o da composti metallici ed additivi in esso presenti (genericamente dette particolato);
- Prodotti di ossidazione di impurità del combustibile (quali lo zolfo);
- Anidride carbonica che è un gas naturale già presente nell'atmosfera, ma di cui si altera il ciclo naturale di distruzione e produzione, basato sulla fotosintesi clorofilliana operata dai vegetali (CO₂).

Il traffico stradale costituisce il principale fattore di pressione sull'ambiente atmosferico nelle nostre aree urbane e metropolitane: oltre il 90% del monossido di carbonio e oltre il 60% delle emissioni di ossidi di azoto e di composti organici volatili sono dovute, nei centri con popolazione superiore a 50.000 abitanti, ai trasporti su strada; il traffico nelle città è anche la principale fonte di pressione per quanto concerne le emissioni di particolato, in particolare quello di dimensioni inferiori a 10 micrometri (PM10). La più importante delle direttive in materia di emissioni dei veicoli dotati di motori a combustione interna è la direttiva 70/220/CEE, poiché stabilisce per la prima volta, nei paesi della Comunità Europea, i limiti alle emissioni e, inoltre, tutte le direttive successive sono state emanate come emendamenti ad essa. Da quella data ad oggi le numerose direttive emanate hanno avuto notevolissime conseguenze sia sul livello delle emissioni dai veicoli motorizzati, sia sullo sviluppo tecnologico dei motori stessi che, proprio in virtù di limiti sempre più stringenti, sono stati riprogettati tenendo in considerazione non solo le prestazioni motoristiche, ma anche l'impatto ambientale. Le normative suddette prevedono, ai fini dell'omologazione del veicolo, limitazioni ai quantitativi in massa di quattro inquinanti principali: monossido di Carbonio (CO), idrocarburi incombusti (HC), ossidi di azoto (NO_x) e particolato solido (PM); le concentrazioni di tali inquinanti sono misurate durante cicli di prova codificati, eseguiti secondo opportune modalità.

A partire dal 1991 (Direttiva dell'Unione Europea 91/411/CEE) l'**Unione Europea** ha emanato una serie di **direttive** finalizzate a **ridurre l'inquinamento** ambientale prodotto dai veicoli: sono le cosiddette **Euro 1-2-3-4-5** a cui si associa la sigla **Euro 0** per i veicoli più inquinanti, immatricolati prima del dicembre 1992.

- **Euro 0:** rientrano in questa categoria tutti i veicoli a benzina senza catalizzatore e quelli "non ecodiesel". Si tratta per lo più di mezzi immatricolati prima del 31/12/1992, data dopo la quale è diventata obbligatoria l'omologazione alla classe Euro 1. Poiché altamente inquinanti, in molte città non possono circolare anche a prescindere dai blocchi del traffico (tranne che per alcune eccezioni come ad esempio le auto d'epoca).
- **Euro 1:** la normativa è in vigore dal 1993 e ha obbligato a montare sui nuovi veicoli la marmitta catalitica e a usare l'alimentazione a iniezione nei motori a Benzina.
- **Euro 2:** la normativa è in vigore dal 1997 e ha imposto modifiche per la riduzione delle emissioni inquinanti differenziate tra i motori a Benzina e a Gasolio.
- **Euro 3:** la normativa è in vigore dal 2001 e ha imposto l'adozione di un sistema chiamato Eobd (Electronic On Board Diagnostic), per tenere sotto controllo il sistema antinquinamento. Si tratta del "computer di bordo", in grado di segnalare l'eventuale malfunzionamento di qualche componente e di memorizzare la distanza percorsa dal momento della sua segnalazione. Esso tiene fondamentalmente sotto controllo: *sensore di ossigeno, convertitori catalitici, candele di accensione, impianto antievaporativo.*
- **Euro 4:** la normativa è in vigore dal 2006 e impone limiti ancora più severi. Anche se in qualche caso era già presente sulle diesel Euro 3, il filtro antiparticolato comincia a diffondersi sulle Euro 4.
- **Euro 5:** in vigore da Ottobre 2009, la norma Euro 5 per essere rispettata impone l'adozione generalizzata del filtro antiparticolato sulle diesel e riduce anche il livello di emissione delle auto a Benzina.

- Euro 6:** norma Euro 6 sarà applicabile a partire dal 1° settembre 2014 per quanto riguarda il rilascio dell'omologazione e dal 1° settembre 2015 per quanto riguarda l'immatricolazione e la vendita dei nuovi tipi di veicoli. Prevede le emissioni di ossidi di azoto prodotte da veicoli a motore diesel dovranno essere ridotte in misura considerevole. Le emissioni combinate di idrocarburi e di ossidi di azoto prodotte da veicoli diesel verranno anch'esse ridotte e non potranno superare un certo limite: ad esempio, per le automobili e altri veicoli destinati al trasporto il limite è fissato a 170 mg/km. Le emissioni di NO_x prodotte dalle automobili e da altri veicoli destinati al trasporto non potranno superare il limite massimo di 80 mg/km ossia **una riduzione supplementare di più del 50% rispetto alla norma Euro 5**, mentre l'Euro 5 limita le emissioni per le auto diesel a 0,25 g/km di NO_x e a 0,025 g/km di polveri fini (PM10). Una notevole riduzione, sicuramente. Riuscire a ridurre le emissioni così però, visto il mercato e le tecnologie a disposizione, significa dover aumentare la spesa di 600-800 €circa, dal momento che per i motori Diesel sono necessari oltre al solito catalizzatore e al filtro antiparticolato anche uno o più dispositivi capace di ridurre le emissioni di ossidi d'azoto (NO_x). Per i motori a Benzina invece l'impianto di scarico dovrebbe rimanere simile a quello attuale, visto che le tecnologie a disposizione permettono già emissioni ridotte grazie anche al catalizzatore a tre vie, economico e funzionale.

Ogni norma prevede ben determinati limiti sulle emissioni:

Per autovetture Diesel a Gasolio

Norma Euro	CO [mg/km]	PM [mg/km]	No _x [mg/km]	HC+NO _x [mg/km]
0	-	-	-	-
1	2.720	140	-	970
2	1.000	80	-	700
3	640	50	500	560
4	500	25	250	300
5	500	5	180	230
6	non decisi	non decisi	80	170

Per autovetture a Benzina e combustibili gassosi (GPL e Metano)

Norma Euro	CO [mg/km]	PM [mg/km]	NO _x [mg/km]	HC [mg/km]	HC+NO _x [mg/km]
0	30.000	-	-	-	9.000
1	2.720	-	-	-	970
2	2.200	-	-	-	500
3	2.100	-	150	200	-
4	1.000	-	80	100	-
5	1.000	5	60	68	-
6	non decisi	non decisi	non decisi	non decisi	non decisi

A partire dalla Direttiva dell'Unione Europea 91/411/CEE (Euro I), si è reso obbligatorio come detto, dal 1 gennaio 1993, su tutti gli autoveicoli immatricolati alimentati a Benzina, l'impianto di dispositivi per la riduzione delle emissioni inquinanti: questi dispositivi sono convertitori catalitici che, applicati allo scarico delle autovetture alimentate a Benzina, hanno lo scopo di abbattere le emissioni di monossido di carbonio (CO), composti organici volatili (COV) e ossidi di azoto (NO_x), favorendo la reazione di ossidazione di CO e COV e la riduzione degli NO_x.

I **dispositivi catalitici**, sfruttando il principio della catalisi chimica, permettono di ossidare CO ed HC a temperature relativamente basse (attorno ai 300 °C), ottenibili anche con miscele povere ed ai carichi parziali, e di ridurre gli ossidi di azoto (NO_x) non eliminabili per via termica; i prodotti di queste reazioni sono vapor d'acqua, anidride carbonica e azoto, non nocivi per la salute. L'introduzione dei dispositivi suddetti, resa obbligatoria per i veicoli a Benzina dal 1 gennaio 1993 (Direttiva dell'Unione Europea 91/411/CEE, Euro I), ha fatto sì che, a parità di energia consumata, le emissioni inquinanti dei veicoli catalizzati rispetto ai veicoli a Benzina convenzionali (pre-Euro I) siano notevolmente ridotte. Un convertitore catalitico deve essere dimensionato con i seguenti parametri:

- Potenza del motore,
- Portata gas,
- Temperatura dei gas,
- Carburante,
- Tipo di alimentazione,
- Inquinanti da abbattere (CO, HC, NO_x, aldeidi),
- Livello degli inquinanti,
- Livello da raggiungere dopo il catalitico,
- Massima contropressione ammessa.

Un convertitore catalitico è costituito da un involucro metallico che guida i gas combusti attraverso un letto di catalisi, dove vengono a contatto con sostanze capaci di accelerare notevolmente alcune reazioni chimiche, senza prendervi parte. Per avere una buona efficienza di conversione, occorre che il materiale attivo sia distribuito su una vasta area, in modo da favorire l'adsorbimento dei reagenti gassosi. In genere si usa un supporto ceramico, sulla cui superficie è depositato uno strato refrattario ad elevata porosità, a sua volta impregnato di materiale catalizzante. Il supporto può presentarsi in due forme tipiche: una struttura monolitica, a forma di nido d'ape, oggi preferita per la minore resistenza fluidodinamica, la maggiore efficacia e la facilità di installazione; un letto di sferette o cilindretti attraversato dal flusso dei gas.

Un convertitore catalitico può essere ossidante, riducente o trivalente.

- *Riducente* (detto *one-way* in quanto agisce sul principale inquinante): usato per i motori Diesel, a base di rodio (Rh), in grado di ridurre gli ossidi di azoto (NO_x) in ossigeno ed azoto.
- *Ossidante* (detto *Two-way* in quanto agisce sui due principali inquinanti): usato per i motori ad accensione comandata, a base di Platino e/o Palladio, in grado di ridurre monossido di carbonio (CO) ed idrocarburi incombusti (H_xC_x), in alcuni mezzi, che non usano la sonda lambda, si ha anche un circuito che immette aria prima del catalizzatore, in modo da permettere una seconda combustione nel catalizzatore, ottenendogli stessi risultati dei sistemi con sonda lambda, ma generalmente si ha un consumo di carburante più elevato.
- *Trivalente* o *Ossidante e riducente* (detto *three-way* in quanto agisce sui tre principali inquinanti); caratterizzato da un primo catalizzatore riducente e da un secondo catalizzatore ossidante, è impiegato nei motori a Benzina ed a gas con combustione stechiometrica e dotati di controllo lambda .

Al fine di rispettare le restrizioni imposte dalle normative antinquinamento, è possibile attuare sui veicoli con ciclo Otto differenti interventi riguardanti prevalentemente:

1. la qualità dei combustibili: riduzione/eliminazione zolfo e eliminazione degli additivi a base di piombo dalle Benzine (Benzina senza piombo, detta anche “Verde”). Altre azioni che possono essere portate avanti sono quelle sul processo di raffinazione del greggio per ridurre le olefine e gli aromatici presenti nel combustibile;
2. le caratteristiche dell'alimentazione: la composizione della miscela aria-combustibile può essere ottimizzata per ottenere gas di scarico meno inquinanti. A questo controllo del rapporto aria/combustibile della miscela si aggiunge l'ormai diffusa pratica del EGR (*Exhaust Gas Recirculation*, ovvero ricircolo dei gas combusti), effettuata ai carichi parziali del motore onde ridurre gli NO_x , in quanto abbassa la temperatura massima di combustione e riduce la concentrazione di ossigeno nella miscela reagente;
3. il processo di combustione, che può diventare più completo ed efficiente: utilizzo del rapporto aria/combustibile in base al carico del motore tramite anche l'adozione di valvole ad alzata variabile, disegno attento della geometria della camera di combustione e dei condotti di aspirazione;
4. la ricerca di soluzioni innovative inerenti il sistema di propulsione (motori elettrici, motori ibridi, celle a combustibile);
5. sistemi di depurazione dei gas di scarico a valle del motore (reattori termici/catalitici, convertitori trivalenti, convertitori De NO_x).

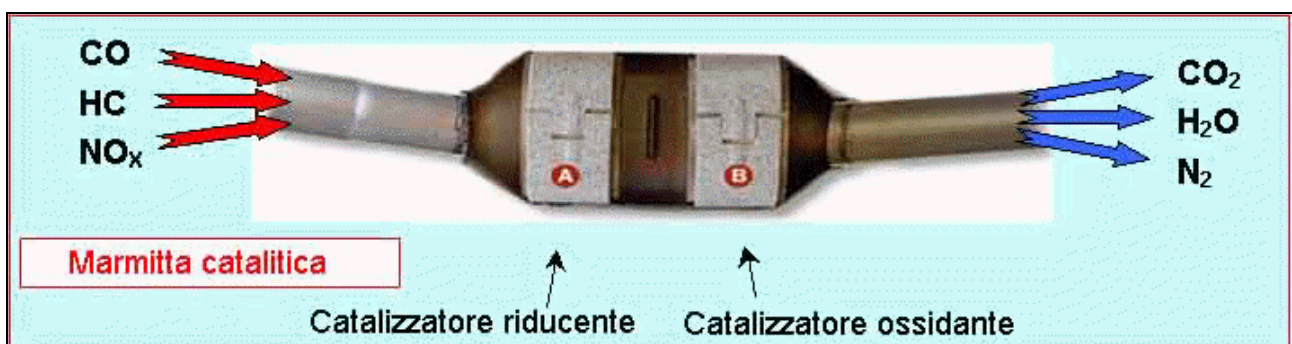


Fig.68 - Immagine schematica del funzionamento di una marmitta catalitica.

Per i veicoli Diesel a Gasolio, fissati i limiti dalla Normativa Europea sulle emissioni, la formazione degli inquinanti durante il processo di combustione è fortemente influenzata dalla disomogeneità della carica, dovuta alla distribuzione del combustibile in seno all'aria continuamente variabile nel tempo.

Per i singoli inquinanti si può affermare:

- La quantità di CO in un Diesel allo scarico è di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quella di un motore a ciclo Otto (benzina e a gas), perché normalmente il rapporto aria/combustibile è superiore allo stechiometrico quindi si garantisce una buona ossidazione del CO in CO₂.
- La quantità di NO_x è elevata e costituisce la principale emissione gassosa in un motore Diesel.
- Va posta grande attenzione alla formazione del PM e in particolare al suo abbattimento.

Al fine di rispettare le restrizioni imposte dalle normative antinquinamento, è possibile attuare sui veicoli con ciclo Diesel differenti interventi riguardanti prevalentemente:

1. la qualità dei combustibili: riduzione/eliminazione zolfo (che è tra l'altro promotore di PM). Altre azioni che possono essere portate avanti sono quelle sul processo di raffinazione del greggio per ridurre le olefine e gli aromatici presenti nel combustibile;
2. le caratteristiche dell'alimentazione: la composizione della miscela aria-combustibile può essere ottimizzata per ottenere gas di scarico meno inquinanti. A questo controllo del rapporto aria/combustibile della miscela si aggiunge l'ormai diffusa pratica del EGR (*Exhaust Gas Recirculation*, ovvero ricircolo dei gas combusti), effettuata ai carichi parziali del motore onde ridurre gli NO_x, in quanto abbassa la temperatura massima di combustione e riduce la concentrazione di ossigeno nella miscela reagente.
3. scelta appropriata dell'istante di avvio dell'iniezione, da cui dipende lo sviluppo di pressione e di temperatura nel cilindro;
4. suddivisione dell'iniezione di combustibile in più fasi per controllare il processo di combustione;
5. uso di elevate pressioni di iniezione per ottenere una migliore polverizzazione e penetrazione dello spray di combustibile;
6. ottimizzazione del disegno dei condotti d'aspirazione e della camera di combustione, per controllare la turbolenza della carica;

7. adozione della turbo sovralimentazione con interrefrigerazione della carica compressa e riduzione del rapporto di compressione;
8. accurata manutenzione del sistema di alimentazione combustibile e del motore in genere, per conservare nel tempo i rapporti di miscela ottimali stabiliti inizialmente;
9. sistemi di depurazione dei gas di scarico a valle del motore (reattori termici/catalitici, convertitori trivalenti, convertitori DeNO_x, filtri DPF).

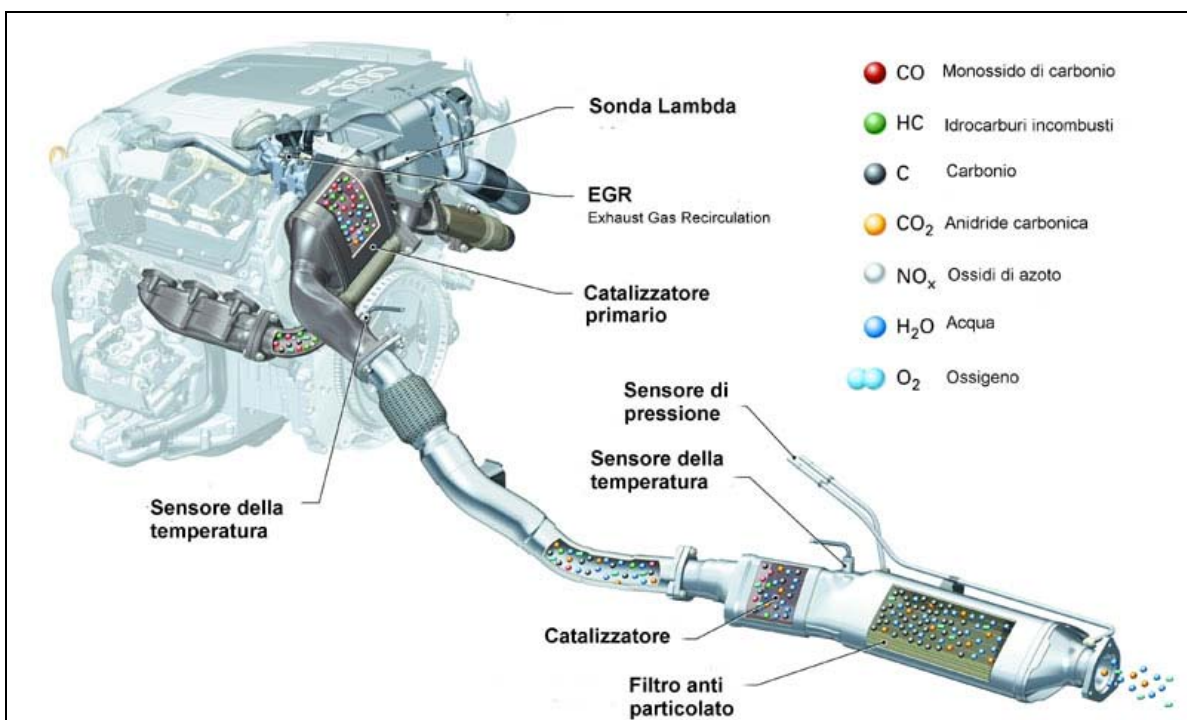


Fig.69 - Motore Diesel moderno dotato di tutti gli accorgimenti tecnici per limitare le emissioni secondo le normative europee.

Cos'è il Particolato (PM)?

Il Particolato emesso dai motori Diesel (PM acronimo di Particulate Matter), è costituito principalmente da particelle di carbone derivanti da incompleta combustione e portate in sospensione dai gas di scarico. Esso comincia a formarsi durante la combustione nel cilindro del motore e prosegue il suo sviluppo fino allo scarico dei gas combusti nell'atmosfera, cambiando continuamente composizione chimica ed aspetto. La composizione e la formazione del particolato sono ancora in fase di studio, è costituito da particelle solide con diametro da 10 a 100 micron (1 micron = 1 millesimo di mm) e sono molto dannose in quanto possono penetrare negli alveoli polmonari (sono quindi cancerogene). Inoltre hanno effetti ambientali e sanitari non trascurabili: annerimento delle superfici sulle quali aderiscono, riduzione della visibilità e irritazione alle mucose di occhi e naso, attività cancerogena (in quanto possono penetrare negli alveoli polmonari) e genotossica. Quest'ultima azione è attribuita agli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) presenti nel PM.

Ecco una loro classificazione:

1. PM 10 : costituisce la categoria più ampia, comprendendo tutte le particelle aventi diametro equivalente $D_p < 10$ micron ;
2. PM 2,5 : comprende particelle dette *fini* aventi diametro equivalente $D_p < 2,5$ micron ;
3. particelle *ultrafini* con diametro equivalente $D_p < 10$ nanometri;
4. *nanoparticelle* con diametro equivalente $D_p < 50$ nanometri.

Occorre infatti precisare che al diminuire delle particelle, cresce la loro pericolosità, perché aumenta il loro tempo di sospensione nell'aria (quindi la probabilità di inalarle), diminuisce l'azione filtrante da parte delle narici ed aumenta la loro ritenzione da parte dei bronchi e dei polmoni. Si formano in presenza di elevate temperature e pressioni; il massimo valore si ha durante il picco di pressione iniziale della fase di espansione, dopodiché durante la discesa del pistone nella quale le temperature e pressioni diminuiscono e la loro quantità cala, ma al momento dell'apertura della valvola di scarico sono presenti PM ancora in valore elevato. La quantità emessa è relativamente ridotta a bassi e medi carichi mentre a pieno carico (accelerazione) il rapporto A/C si riduce e l'emissione è consistente. Il particolato si forma solamente nei motori Diesel e nei benzina a iniezione diretta (è il responsabile del "fumo nero" che uscirà dai motori Diesel più vecchi, specie in accelerazione o sotto sforzo). Nei motori a iniezione diretta infatti nella zona centrale del getto di combustibile si ha miscela particolarmente ricca con grande produzione di particolato. La formazione di PM è favorita perciò da zone di miscela ricche a temperature relativamente basse e da basso miscelamento tra aria e combustibile (la turbolenza in camera di combustione è quindi benefica per la riduzione di PM, perché aumenta il miscelamento). Che si può fare per ridurlo?

1. Utilizzo di combustibile con migliori caratteristiche dei tradizionali gasoli, prevedendo una drastica riduzione del tenore di zolfo, un miglioramento controllo del rapporto aria/combustibile, una limitazione delle temperature, ecc.;
2. ottimizzazione della geometria dei condotti d'aspirazione e della camera di combustione;
3. accurata messa a punto e manutenzione dei sistemi d'iniezione;
4. controllo dello stato termico del motore.
5. Utilizzo di filtro antiparticolato (FAP o DPF), che filtra grazie alla sua porosità i gas di scarico, trattenendo le particelle carboniose. Di solito questi filtri, siccome accumulano con il tempo il PM, occorre rigenerare il filtro per poterlo utilizzare; la rigenerazione avviene ad elevate temperature e con diverse modalità (con continuità oppure a intervalli periodici di tempo o chilometraggio).

Da qualche anno rientra nel novero delle emissioni, pur senza essere un elemento tossico, anche la CO₂. La quantità di CO₂ rilasciata attraverso i fumi di scarico da un veicolo dipende ovviamente dal tipo di carburante e quindi dalla particolare reazione di combustione che lo alimenta e dal consumo del veicolo stesso. Il parametro preponderante è ovviamente il consumo. Più il veicolo è pesante e potente, tanto maggiore sarà la quantità di combustibile richiesta per farlo marciare. Ciò premesso è giunto il momento di chiederci come mai si parla tanto di emissioni di CO₂ e si fanno tanti sforzi per ridurle? Perché è nota l'azione clima alterante della CO₂, che contribuisce ad aumentare l'effetto serra. L'effetto serra è quel fenomeno per cui alcuni gas dell'atmosfera terrestre impediscono alle radiazioni infrarosse riflesse dalla terra di disperdersi nello spazio. Il risultato di questo aumento di gas serra è la rottura di un equilibrio che dura da milioni di anni e che sta portando ad un progressivo aumento della temperatura media della terra. Per limitare tale fenomeno è stato firmato il protocollo di Kyoto (11 dicembre 1997) che impegna le nazioni del globo a ridurre le emissioni di CO₂ affinché questa resti sotto la soglia di 450 ppm: le emissioni totali dei paesi sviluppati devono essere ridotte almeno del 5% nel periodo 2008-2012 rispetto ai livelli del 1990. Poiché il settore dei trasporti incide per circa 1/3 sull'ammontare globale di CO₂ immessa in atmosfera si comprende come sia fondamentale la riduzione delle emissioni di anidride carbonica provocata dai motori a combustione interna.

La Commissione Europea propone di imporre ai costruttori automobilistici un valore limite per le emissioni di CO₂ delle autovetture nuove immatricolate nell'UE al fine di conseguire l'obiettivo medio di 120 g di CO₂/km. In caso di superamento del limite, il costruttore sarà penalizzato con una sanzione pecuniaria. La Commissione, fin dal 1995 ha adottato una strategia comunitaria per ridurre le emissioni di CO₂ delle autovetture, che si basava su tre elementi: impegni volontari dell'industria automobilistica ad abbattere le emissioni, migliore informazione dei consumatori e promozione di automobili a basso consumo di carburante mediante misure fiscali.

Con l'Atto

Regolamento (CE) n. 443/2009 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 23 aprile 2009, che definisce i livelli di prestazione in materia di emissioni delle autovetture nuove nell'ambito dell'approccio comunitario integrato finalizzato a ridurre le emissioni di CO₂ dei veicoli leggeri (Testo rilevante ai fini del SEE).

si definiscono le norme che limitano le emissioni di CO₂ delle autovetture nuove. Il limite stabilito dal regolamento corrisponde a 130 g di CO₂/km. A partire dal 2020 questo livello dovrà scendere a 95 g di CO₂ (molte case hanno già anticipato la norma, arrivando a 99 g).

Il GPL è una miscela idrocarburica di alcani a basso peso molecolare, in particolare propano, butano, pentano, propilene e buteni vari. Il Metano è un idrocarburo semplice (alcano) formato da un atomo di carbonio e 4 di idrogeno; la sua formula chimica è CH_4 e si trova in natura sotto forma di gas, in miscela nel GN o nel Biogas.

I veicoli a GPL/Metano hanno la straordinaria capacità di ridurre sia le emissioni di benzene (tipiche dei veicoli a Benzina) sia di particolato (tipiche dei veicoli a Gasolio), tanto da potersi tranquillamente definire ad emissione zero di PM e benzene. Assenti anche zolfo ed IPA (idrocarburi policiclici aromatici), notoriamente cancerogeni. Inoltre le caratteristiche di combustione non richiedono l'uso di additivi, spesso inquinanti, per raggiungere adeguati livelli di non-detonanza. Per quanto riguarda le emissioni di gas ad effetto serra bisogna considerare la produzione di CO_2 sull'intero ciclo di vita di GPL e Metano, rispetto alla produzione dei carburanti tradizionali.

Il metano è il carburante con minori emissioni

Minori emissioni (in %) del metano rispetto a quelle degli altri carburanti						
	CO_2	PM	NO_x	CO	HC	O3
Metano vs benzina	-18		-72	-75	-82	-88
Metano vs gasolio	-14	-100	-95	138	-40	-50
Metano vs Gpl	-5		-75	-22	-76	-50

Fonte: Enea, Engva, Fiat e Iveco

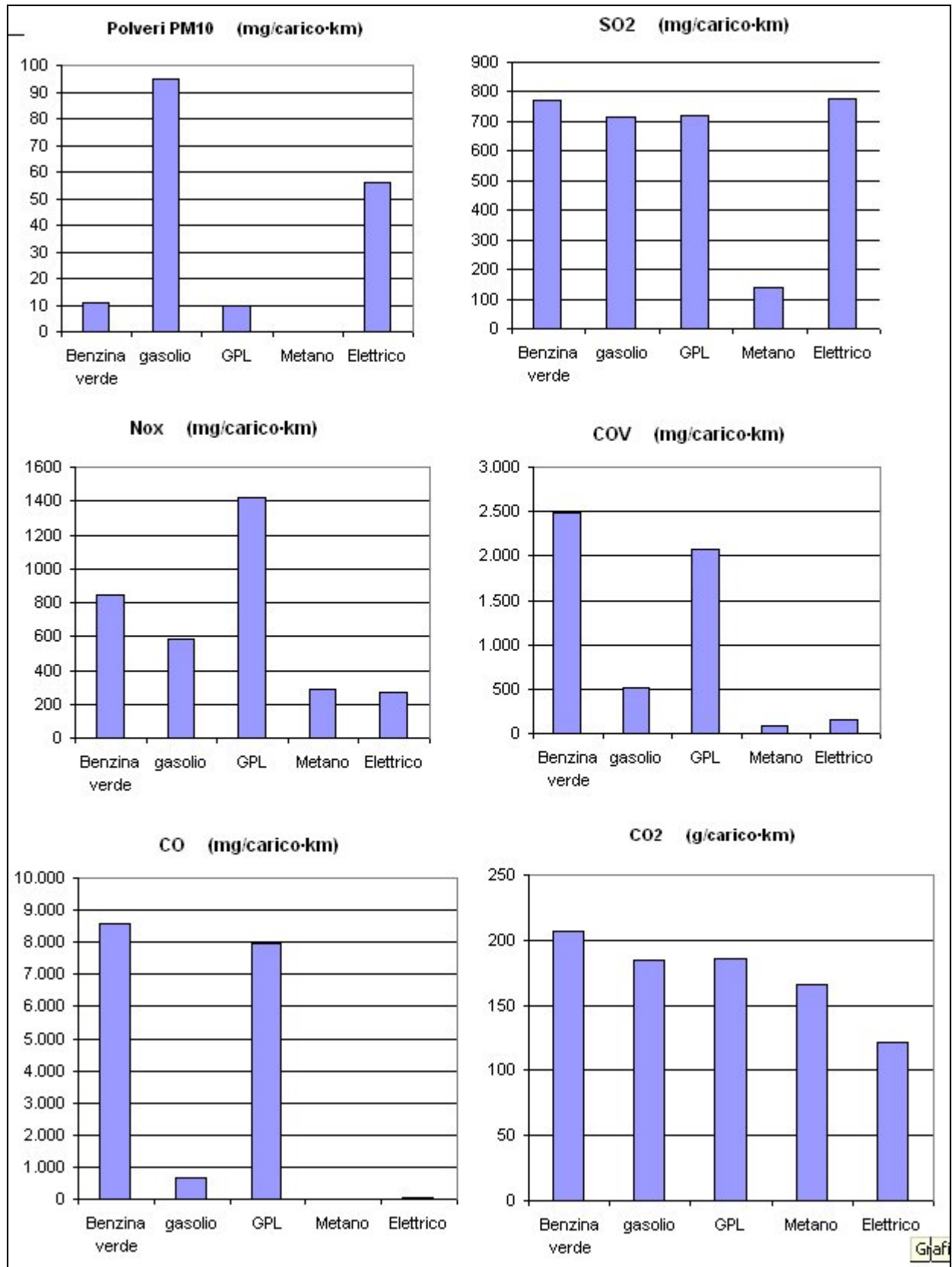


Fig.70 - Grafico con alcune emissioni di autoveicoli alimentati con diversi combustibili.

2.5- ANALISI TECNICO ECONOMICA DELLA SCELTA GPL O METANO

2.5.1- Premessa

Con la presente analisi non si intende naturalmente sostenere la superiorità di un carburante rispetto ad un altro, ma, dopo aver analizzato le argomentazioni tecniche e ambientali, mettere a confronto le possibilità offerte dai 4 combustibili per autotrazione distribuiti in Italia, solo dal punto di vista puramente economico.

Ovviamente le variabili in gioco aggiuntive sono moltissime:

- Variabilità prezzi carburanti.
- Variabilità prezzi e promozioni applicate dalle case costruttrici di modelli di serie BiFuel, che non sono tutti i marchi presenti sul mercato automobilistico.
- Presenza di eventuali incentivi statali per l'installazione aftermarket di impianti GPL e Metano su auto a Benzina.
- Possibilità tecnica ed eventuali problematiche riguardanti l'installazione di tali impianti sui diversi tipi di motori.
- Presenza più o meno capillare di una rete distributiva per GPL e Metano sul territorio.
- Zona di utilizzo prevalente dell'autoveicolo: ambiente urbano oppure extraurbano.
- Gusti personali sulle motorizzazioni: preferenza tra motore Diesel e Benzina, tra Aspirato e Turbo.
- Budget di spesa fissato per l'acquisto dell'autoveicolo nuovo.

La mutevolezza dello scenario fa sì che si possa dare solo un'idea di massima sull'argomento, legata al momento contingente. Rimane valida però per farsi un'idea di massima dei costi, avendo ben presente le proprie esigenze.

2.5.2- Confronto per combustibili scelti: veicoli di serie

Presi 2 modelli di automobili attualmente in vendita sono state analizzate le rispettive versioni BiFuel oltre le classiche Benzina e Gasolio. Di seguito vengono elencati i principali dati tecnici :



FIAT Punto EVO Dynamic			
Modello	1.4 8v Star&Stop	1.3 16v Mjet Start&Stop	1.4 8v Natural Power
Combustibile	Benzina	Gasolio	Metano
Cilindrata (cc)	1.400	1.300	1.400
Potenza (cv)	77	75	77
Consumo ciclo combinato l / 100 km [kg / 100 km]	5,7	4,1	6,3 [4,2]
Capacità serbatoio l [kg]	45	45	45 [13]*
Euro	5	5	5
Costo Acquisto	€15.050,00	€16.250,00	€17.200,00

* equivalenti a 84 l di Metano



Volkswagen Polo serie 6r Comfortline			
Modello	1.4 16v	1.6 Diesel TDI DPF	BiFuel
Combustibile	Benzina	Gasolio	GPL
Cilindrata (cc)	1.400	1.600	1.400
Potenza (cv)	84	90	84
Consumo ciclo combinato l / 100 km [GPL: l / 100 km]	6,1	4,4	6,1 [8,1]
Euro	5	5	5
Costo Acquisto	€14.350,00	€16.750,00	€15.975,00

I chilometraggi / anni di possesso presi in considerazione sono

- 20.000 km / anno per 5 anni
- 10.000 km / anno per 8 anni

In data 23/06/2011	Benzina	Gasolio	Metano	GPL
€	1,536	1,411	0,898	0,738

Dati presi da <http://www.prezzibenzina.it/>, prezzi media italiana.

Tramite Excel abbiamo svolto un'analisi economica, in base ai dati di partenza sopra elencati ricavando i seguenti risultati:

Fiat Punto Evo

20.000 km/anno - 5 anni	Benzina	Gasolio	Metano
Spesa Annua Carburante [€]	1.751	1.157	875**
Costo [€/km]	0,088	0,058	0,044
Costo Bollo Annuo [€]	€ 147,06	€ 141,90	€ 147,06
Costo [€/km] compreso Bollo	0,0949	0,0649	0,0511
Sovraprezzo modello rispetto benzina	€ 0,0	€ 1.200,0	€ 2.150,0
Costo Totale durante possesso (compreso sovrapprezzo)	€ 9.492	€ 7.695	€ 7.258

** Nella spesa è contemplato il pieno di Metano e 10 € di Benzina mensili.

10.000 km/anno - 8 anni	Benzina	Gasolio	Metano
Spesa Annua Carburante [€]	875	578	497**
Costo [€/km]	0,088	0,058	0,05
Costo Bollo Annuo [€]	€ 147,06	€ 141,90	€ 147,06
Costo [€/km] compreso Bollo	0,1022	0,072	0,0644
Sovraprezzo modello rispetto benzina	€ 0,0	€ 1.250,0	€ 2.150,0
Costo Totale durante possesso (compreso sovrapprezzo)	€ 8.178	€ 6.957	€ 7.305

** Nella spesa è contemplato il pieno di Metano e 10 € di Benzina mensili.

Dai calcoli fatti si evince che la versione BiFuel a Metano risulta conveniente rispetto alle altre nel caso di 20.000 km/anno in 5 anni, mentre la versione a Gasolio lo è per una percorrenza di 10.000 km/anno in 8 anni.

Per un'idea più completa si è cercato di vedere per quanti km/anno (nel numero di anni 5 e 8 di possesso del autoveicolo) convenga una scelta rispetto all'altra, ricavando tali risultati

Punto Evo : conviene Benzina su Gasolio se faccio meno di	7.902	all'anno	5 anni
Punto Evo : conviene Metano su Gasolio per più di	15.664	all'anno	5 anni
Punto Evo : conviene Benzina su Metano se faccio meno di	11.035	all'anno	5 anni
Punto Evo : conviene Metano su Gasolio se faccio più di	12.122	all'anno	8 anni
Punto Evo : conviene Benzina su Gasolio se faccio meno di	4.874	all'anno	8 anni
Punto Evo : conviene Benzina su Metano se faccio meno di	7.800	all'anno	8 anni

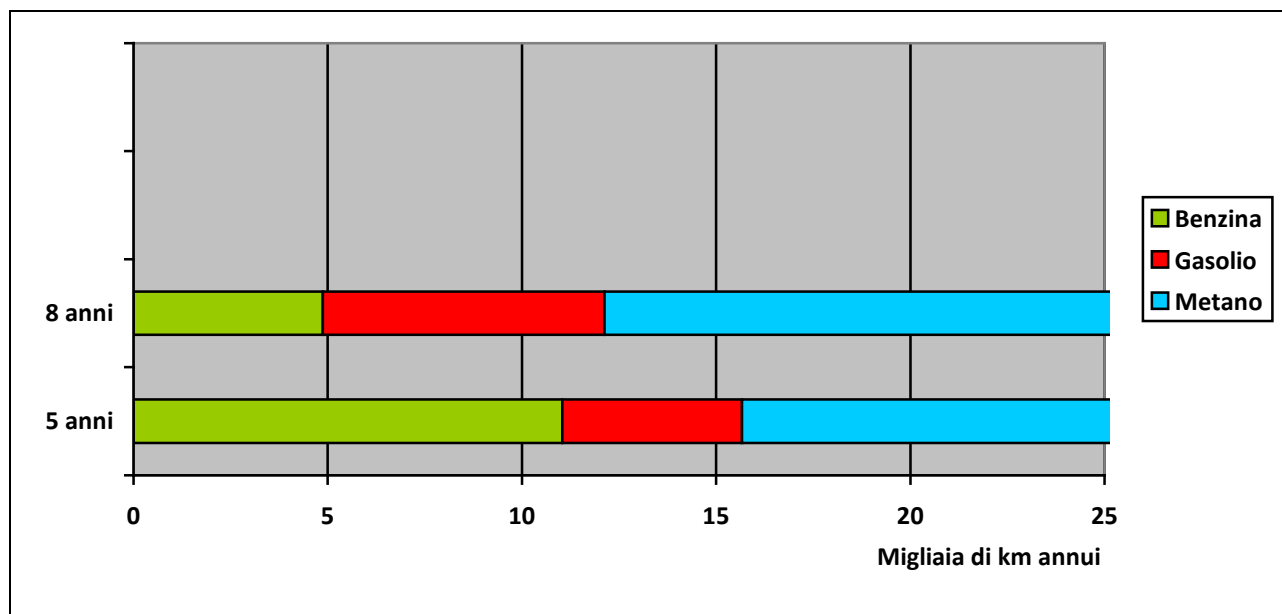


Fig.71 - Prospetto convenienza singoli combustibili fino a 25.000 km/anno (Fiat Punto Evo).

In un arco di chilometraggio annuo fino a 25.000 km/anno, il Metano risulta sempre conveniente rispetto al Gasolio per alti chilometraggi, mentre per bassi chilometraggi lo è sempre la Benzina; il Gasolio si ritaglia solo un piccolo range di chilometraggio annuo in cui conviene rispetto agli altri 2 combustibili. Nel dettaglio, si spiega così il grafico in **fig.71** :

- 5 anni di possesso (km percorsi massimi analizzati fino a 125.000) :

km/anno < 11.035 → Conviene Benzina !

11.035 < km/anno < 15.664 → Conviene Gasolio !

15.664 < km/anno < 25.000 → Conviene Metano !

- 8 anni di possesso (km percorsi massimi analizzati fino a 200.000) :

km/anno < 4.874 → Conviene Benzina !

4.874 < km/anno < 12.122 → Conviene Gasolio !

12.122 < km/anno < 25.000 → Conviene Metano !

VW Polo serie 6r

20.000 km/anno - 5 anni	Benzina	Gasolio	GPL
Spesa Annuia Carburante [€]	1.874	1.243	1.305***
Costo [€/km]	0,094	0,0622	0,0652
Costo Bollo Annuo [€]	€ 162,54	€ 170,28	€ 162,54
Costo [€/km] compreso Bollo	0,1018	0,0707	0,0734
Sovraprezzo modello rispetto benzina	€ 0,0	€ 2.400,0	€ 1.625,0
Costo Totale durante possesso (compreso sovrapprezzo)	€ 10.184	€ 9.467	€ 8.962

*** Nella spesa è contemplato il pieno di GPL e 10 € di Benzina mensili.

10.000 km/anno - 8 anni	Benzina	Gasolio	GPL
Spesa Annuia Carburante [€]	937	622	712***
Costo [€/km]	0,094	0,0622	0,0712
Costo Bollo Annuo [€]	€ 162,54	€ 170,28	€ 162,54
Costo [€/km] compreso Bollo	0,11	0,0792	0,0875
Sovraprezzo modello rispetto benzina	€ 0,0	€ 2.400,0	€ 1.625,0
Costo Totale durante possesso (compreso sovrapprezzo)	€ 8.798	€ 8.735	€ 8.625

*** Nella spesa è contemplato il pieno di GPL e 10 € di Benzina mensili.

Dai calcoli fatti si evince che la versione BiFuel a GPL risulta conveniente rispetto alle altre sia nel caso di 20.000 km/anno in 5 anni, sia nel caso di 10.000 km/anno in 8 anni. Per un'idea più completa anche qui si è cercato di vedere per quanti km/anno (nel numero di anni 5 e 8 di possesso del autoveicolo) convenga una scelta rispetto all'altra, ricavando tali risultati

Polo : conviene Benzina su Gasolio se faccio meno di	15.456	all'anno	5 anni
Polo : conviene GPL su Gasolio se faccio più di	mai	all'anno	5 anni
Polo : conviene Benzina su GPL se faccio meno di	12.910	all'anno	5 anni
Polo : conviene GPL su Gasolio se faccio più di	5.283	all'anno	8 anni
Polo : conviene Benzina su Gasolio se faccio meno di	9.752	all'anno	8 anni
Polo : conviene Benzina su GPL se faccio meno di	9.374	all'anno	8 anni

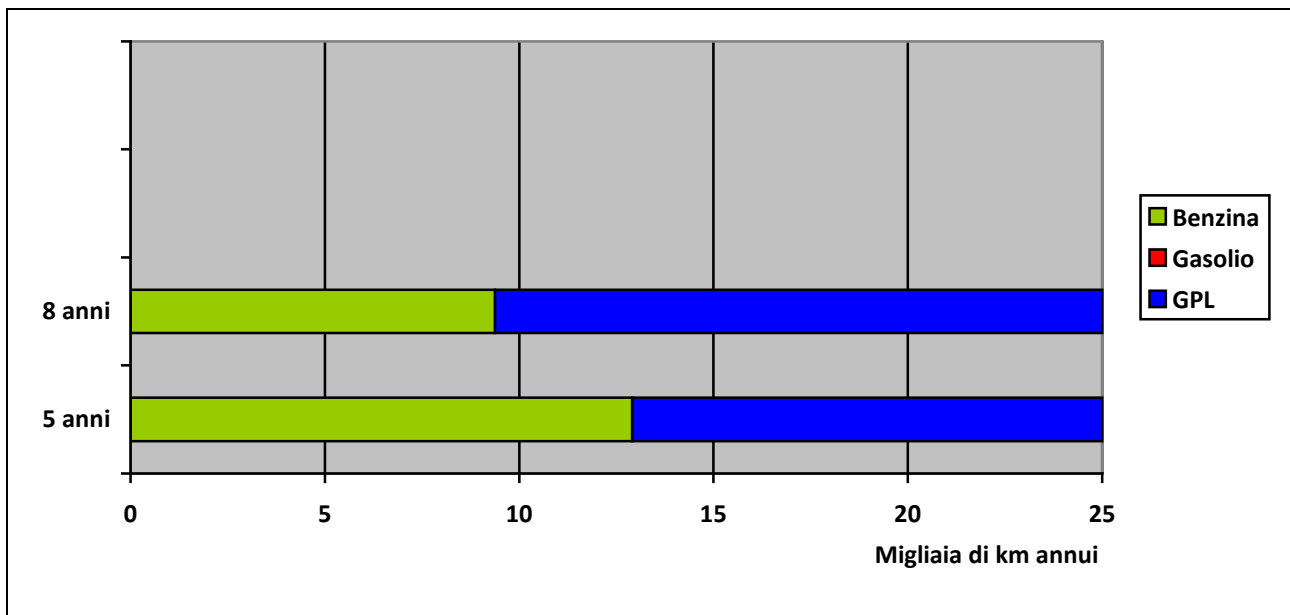


Fig.72 - Prospetto convenienza singoli combustibili fino a 25.000 km/anno (VW Polo serie 6r).

In un arco di chilometraggio annuo fino a 25.000 km/anno, il GPL risulta sempre conveniente rispetto al Gasolio per alti chilometraggi, mentre per bassi chilometraggi lo è sempre la Benzina. Il Gasolio non lo è mai con questa motorizzazione 1.6 TDI. Nel dettaglio, si spiega così il grafico in **fig.72** :

- 5 anni di possesso (km percorsi massimi analizzati fino a 125.000) :

$\text{km/anno} < 12.910 \quad \rightarrow \quad \text{Conviene Benzina !}$

$12.910 < \text{km/anno} < 25.000 \quad \rightarrow \quad \text{Conviene GPL !}$

- 8 anni di possesso (km percorsi massimi analizzati fino a 200.000) :

$\text{km/anno} < 9.374 \quad \rightarrow \quad \text{Conviene Benzina !}$

$9.374 < \text{km/anno} < 25.000 \quad \rightarrow \quad \text{Conviene GPL !}$

Nella scelta del veicolo a GPL si è preso in considerazione la motorizzazione 1.4 16v 84cv adattato dalla casa madre per l'impiego di GPL, in quanto identica al corrispettivo modello a Benzina. Questo ha permesso di fare una comparazione più semplice.

Per completezza è opportuno ricordare che dal corrente anno VW ha sostituito tale motorizzazione nella BiFuel con un 1.6 8v 82cv, versione depotenziata del 1.6 8v 102cv presente sulla Golf BiFuel.

Nelle analisi fin qui fatte non sono state prese in considerazione:

- Costi di manutenzione delle rispettive versioni : le versioni a Gasolio hanno la problematica del costo della rigenerazione del FAP, mentre quelle GPL/Metano hanno il filtro da sostituire ad un prefissato chilometraggio.
- Differenze nei costi di assicurazione : i costi salgono con il valore del veicolo, con la cilindrata ed i cv.

2.5.3- Installazione Aftermarket impianto GPL su auto già acquistata

Un'altra possibile opzione (la più usata da molti anni) è l'installazione di un impianto GPL su un'auto a Benzina già in possesso (si chiama tale impianto "aftermarket") per esigenze di risparmio e/o di circolazione in ambiente urbano, specie durante i blocchi del traffico che spesso penalizzano anche i veicoli Diesel Euro 5.

E' opportuno ricordare ancora che non tutti i motori Benzina sono facilmente "gasabili", perché non tutti hanno i necessari requisiti tecnici per poter operare con sicurezza ed efficienza con un'alimentazione BiFuel: valvole rinforzate, punterie idrauliche, iniezione indiretta di carburante/carburazione, testata del motore resistente. Si tratta di accorgimenti non studiati per il preciso scopo di funzionare con alimentazione diversa dalla Benzina, ma possono essere molto d'aiuto per evitare problemi e frequenti soste dal autoriparatore/impiantista; i principali impiantisti di GPL hanno comunque elenchi aggiornati sulle motorizzazioni che ben si prestano alla trasformazione.

Ora si vuole vedere la convenienza economica d'installare un impianto GPL aftermarket su un autoveicolo già in nostro possesso.

Alfa Romeo 147 TS

Alfa Romeo 147 TS	
Modello	1.6 16v
Combustibile	Benzina
Cilindrata (cc)	1.600
Potenza (cv)	103
Consumo ciclo combinato l / 100 km	8,1
Consumo ciclo combinato l / 100 km (GPL)	9,84
Capacità serbatoio benzina litri	60
Capacità serbatoio GPL litri	42
Euro	4

Installato un impianto moderno ad iniezione gassosa multipoint del GPL (spesa di circa 2.000 € compresa manodopera e serbatoio toroidale da 42 litri), il consumo di carburante è passato da 8,1 a 9,84 litri per 100 km, cosa non drammatica visto il più basso prezzo di vendita alla pompa del GPL rispetto alla Benzina (autonomia veicolo con funzionamento solo a GPL circa 413 km).

L'ammontare del Bollo per la nostra auto è di circa 198,66 € annuali.

Dopo l'acquisto del veicolo, che ha percorso in un anno 9.000 km, per motivi lavorativi i successivi 5 anni di possesso del mezzo prevedono 20.000 km/anno; in questo caso il costo €/km diminuisce, perché appunto aumenta il chilometraggio annuo: 0,1379 €/km contro i 0,1501 €/km dei primi 9.000 km. Se si decidesse di percorrere a Benzina l'intero chilometraggio dei 6 anni, ecco un quadro riassuntivo dei costi:

Anni di utilizzo	km/anno	costo €/km (compreso Bollo)
1° anno	9.000	0,1501
2° anno	20.000	0,1379
3° anno	20.000	0,1379
4° anno	20.000	0,1379
5° anno	20.000	0,1379
6° anno	20.000	0,1379
Totale	109.000	
Costo totale Carburante + Bollo :		€ 15.140,90

Se si decide d'installare l'impianto GPL prima citato, bisogna tener conto che negli anni a 20.000 km/anno l'auto funzionerà a GPL, con un relativo costo: 0,0909 €/km.

Si tratta quindi di un risparmio utile rispetto alla Benzina di $(0,1379 - 0,0909) = 0,047$ €/km, che però andrà a ripagare l'impianto installato per un certo chilometraggio/tempo, dopo il quale andrà effettivamente sotto la voce "risparmio".

Spesa Annua (GPL)	€ 1.500
€ Benzina mensili	10
Spesa Annua (GPL+Benzina)	€ 1.620

ammortamento impianto in mesi =	26
ammortamento impianto in km =	42.553
Km per pareggio con impianto =	51.553
costo €/km (compreso bollo)	0,0909

Per ripagare interamente l'impianto GPL, mi serviranno 26 mesi (2 anni circa) facendo circa 42.553 km: ne consegue che avrò ammortizzato l'impianto dopo circa 51.559 km dall'acquisto dell'autoveicolo.

Rimarranno ancora circa 57.553 km residui $(100.000 - 42.553)$ dove avrò solo guadagno.

km restanti dopo ammortamento impianto	57.447
Spesa carburante e bollo	€ 5.221,93
Risparmio rispetto all'utilizzo a Benzina	€ 2.700,01

Il risparmio tangibile rispetto ad un utilizzo a Benzina è di circa 2.700 € con il chilometraggio annuo e gli anni di possesso del veicolo previsti. Negli anni scorsi erano previsti ottimi incentivi governativi che andavano a coprire quasi l'intero importo del impianto. Ad esempio dal 07/03/2011 erano disponibili gli incentivi MSE 2011 per le trasformazioni a GPL e Metano. I contributi, erogati sotto forma di sconto dalla fattura dell'installazione, sono di **500 euro** per la conversione a **GPL** e di **650 euro** per quella a **Metano**. La presenza di tali incentivi ha aumentato di molto il numero delle conversioni. Basti pensare che con 500 € di sconto sul costo dell'impianto a GPL ho :

ammortamento impianto in mesi =	19
ammortamento impianto in km =	31.915
Km per pareggio con impianto =	40.915
costo €/km (compreso bollo)	0,0909

km restanti dopo ammortamento impianto	68.085
Spesa carburante e bollo	€ 6.188,93
Risparmio rispetto all'utilizzo a Benzina	€ 3.200

In quest'analisi economica non si è tenuto conto della possibilità d'installare in aftermarket un impianto a Metano in quanto, nonostante sia possibile farlo su vari modelli e marchi (specie di vetture datate), questo tipo d'installazione è penalizzante sotto vari punti di vista:

- Le bombole per Metano non sono disponibili in forma toroidale da posizionarsi nel vano ruota, perciò occupano molto più volume nel bagagliaio, di fatto con un'autonomia del veicolo che arriva al massimo a 350 km. Questo volume maggiore occupato è dovuto al fatto che il Metano è in forma gassosa nello stoccaggio nel serbatoio del veicolo, perciò a parità di energia fornita ha bisogno di un volume maggiore rispetto al GPL, che diventa gassoso solo quando viene miscelato all'aria, prima della combustione.
- L'incremento di peso è sostanziale rispetto ad una scelta GPL, perciò l'auto è meglio che abbia una buona potenza disponibile.

Questo non vieta che si possa installare impianti a Metano su auto di grande cilindrata e magari station wagon.

2.6- NORMATIVA IN MATERIA DI SICUREZZA

Essendo in presenza di due combustibili, esiste una specifica normativa in materia di sicurezza su vari fronti: stoccaggio, distribuzione, utilizzo nel autotrazione.

Normativa in materia di sicurezza riguardante il GPL

Il GPL è considerato uno dei gas più pericolosi rispetto ai rischi di esplosione ed incendio. Il Gpl è trasportato in forma liquida sotto una modesta pressione ma questo fa sì che questo liquido, a contatto con l'aria, evapori istantaneamente e si ritrasformi in gas. Questo gas, una volta rilasciato in atmosfera, è più pesante dell'aria e quindi tende a rimanere vicino al suolo, trasformandosi in una nube di gas infiammabile che, se trova un innesco, può esplodere rapidamente. Si noti che per quanto riguarda la classificazione secondo la legislazione in materia di rischi di incidenti rilevanti, direttiva 67/548/CE del Consiglio, del 27 giugno 1967, il GPL è F+ , R 12- , ovvero **gas liquefatto estremamente infiammabile**. Per quanto riguarda l'**attività di progettazione, installazione ed esercizio di impianti a GPL** le principali normative di riferimento sono:

- **Legge n. 7/1973** modificata ed integrata dalla Legge n. 539/1985, che riguarda l'esercizio delle stazioni di riempimento e di distribuzione di gas di petrolio liquefatti in bombole. Impone il rispetto di un rapporto minimo tra capacità volumetrica dei serbatoi fissi e capacità complessiva di tutti i recipienti, di proprietà o per i quali siano stati stipulati contratti di riempimento con i terzi. La presente legge inoltre provvede a disciplinare l'attività di distribuzione e vendita di GPL nei casi in cui il titolare di tale attività non disponga di un proprio impianto di riempimento e di travaso.
- **Norme UNI CIG:** forniscono consigli per la realizzazione di un impianto. Innanzitutto per quanto riguarda le condotte la norma in parola regola in modo dettagliato la materia che prima era lasciata in gran parte al buon senso ed all'improvvisazione degli installatori. Classificando le condotte in varie specie, stabilisce i materiali che debbono essere utilizzati per realizzare le condotte e più precisamente tubi di: acciaio, rame, polietilene (queste ultime solo se interrate). La norma prende in considerazione anche i criteri di posa delle condotte che dal serbatoio vanno all'esterno del fabbricato. La profondità di interrimento è

vincolata alle specie della condotta e alla tipologia di terreno e non è più fissa come per il passato, ma varia in relazione alle condizioni.

- **D.M. del 21/5/1974** riguarda le specifiche relative agli apparecchi a pressione ed il loro esercizio.
- **D.M. del 21/12/1982** detta regole tecniche destinate al settore degli apparecchi ed impianti a pressione, valide per l'attività di omologazione attribuita all'Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza del Lavoro (I.S.P.E.S.L.).
- La **Legge 367/34** e la **Legge 327/58** riguardano la concessione per l'installazione e la gestione di impianti di riempimento, travaso e/o deposito di GPL, che fino all'entrata in funzione del processo di decentramento amministrativo, previsto dalle leggi di riforma 'Bassanini', era rilasciata dal Ministero dell'Industria, se la capacità di stoccaggio era superiore a 50 m³, e dal Prefetto della Provincia, se la capacità di stoccaggio non era superiore a 50 m³.
- **Regolamenti ECE/ONU**: l'accordo di Ginevra del 1958 prevede le unificazioni delle prescrizioni tecniche relative ai veicoli a motore. In tale contesto la Commissione Economica per l'Europa (ECE) prevede alcuni regolamenti specifici per gli impianti GPL e CNG (quelli a Metano in pratica). Il regolamento di riferimento per la sicurezza di impianti GPL e la loro installazione sui veicoli è l' **ECE/ONU 67** (entrata in vigore 1994) ed il relativo emendamento **ECE/ONU 67/01**. Esso stabilisce che i serbatoi GPL destinati all'installazione a bordo delle autovetture e tutti i componenti accessori, parti meccaniche sottoposte a pressione differente da quella ambiente, debbano essere progettati, costruiti e testati in base al regolamento ECE/ONU 67/01 introdotto dal novembre 1999 a livello Europeo. Due cardini fondamentali di tale normativa:
 1. Obbligo rispondenza per omologazione dispositivi: febbraio 2000
 2. Obbligo rispondenza per nuovi impianti: novembre 2000

Con l'entrata in vigore dell'emendamento 01 al suddetto Regolamento si imposto da un lato test molto più severi che in passato, per l'omologazione dei componenti dell'impianto (cicli di temperatura, prove di durata, prove di vibrazione, prove di fuoco, ecc.), e dall'altro ha

introdotto una serie di dispositivi atti ad accrescere il livello di sicurezza degli autoveicoli in tutte le possibili situazioni, per garantire la massima sicurezza in ogni situazione (incendio, incidente, parcheggio in garage interrati, esposizione ad eccessivo calore per irraggiamento, ...). In particolare è prevista una speciale multivalvola che racchiude i seguenti sistemi di sicurezza:

- 1.** L'elettrovalvola, del tipo "normalmente chiuso" (cioè chiusa se non alimentata), interrompe il flusso di gas in uscita dal serbatoio GPL quando la "chiave" del quadro è disinserita. Rappresenta anche un'importante dotazione di sicurezza, in quanto, in caso di incidente, si chiude appena il motore si spegne anche se il "quadro" rimane acceso.
- 2.** Il dispositivo di limitazione di riempimento blocca l'erogazione di GPL, durante il rifornimento, quando il serbatoio ha raggiunto un riempimento dell'80% del suo volume. E' un accorgimento obbligatorio per legge, che previene un aumento eccessivo della pressione interna, dovuto per esempio, ad un surriscaldamento (l'aumento di temperatura dilata i gas, e quando il gas è racchiuso in ambiente stagno come un serbatoio, questa dilatazione crea un aumento di pressione interna).
- 3.** La valvola di sovrappressione ha la funzione di evitare qualsiasi eccesso di pressione interna nel serbatoio, garantendo, in caso di pressione superiore ai 27 bar, una fuoriuscita controllata di GPL verso l'esterno della vettura. Questo accorgimento permette di riportare alle normali condizioni di esercizio la pressione del GPL all'interno del serbatoio, eliminando ogni rischio di sovra pressione.
- 4.** La valvola di sovratemperatura ha la funzione di garantire una fuoriuscita di gas controllata all'esterno dell'abitacolo in presenza di temperatura superiore ai 120 °C.

Il serbatoio di GPL è costruito inoltre con una lamiera d'acciaio di 3,5 mm ed è trattato termicamente per evitare fessurazioni in caso di deformazioni in seguito ad un incidente. Il serbatoio per le auto a Benzina è invece in plastica. Il primo è omologato per pressioni non inferiori a 30 bar (la pressione al suo interno oscilla tra 3 e 6 bar), il secondo fonde a 160-170 °C e si rammollisce a 120 °C. I collaudi e le prove per serbatoi e tubazioni sono eseguite a pressione di 45 bar anche se normalmente la pressione di utilizzo sulle vetture non supera mai i 20 bar. Nel GPL le tubazioni sono in metallo, mentre per la Benzina sono in plastica o in gomma.

I veicoli alimentati a GPL subiscono inoltre crash-test e fire-test, per verificare il grado di sicurezza di valvole e serbatoi. Inoltre le prove del fuoco hanno dimostrato che in caso di incendio il volume

di fiamma sarebbe più circoscritto di quello provocato da una fuoriuscita di benzina, che tende a espandersi sul terreno circostante.

Statisticamente gli incidenti pericolosi che riguardano le vetture alimentate a GPL non sono superiori a quelli per le vetture alimentate a Benzina o Gasolio.

Sono stati introdotti aggiornamenti successivi ed attualmente è in vigore la Revisione 2 del 26.03.2006 che include tutti i precedenti.

Cosa contengono tali Regolamenti e come sono impostati?

- **Parte I** : approvazione di equipaggiamenti specifici dei veicoli a motore che utilizzano il GPL (o CNG) nel sistema di propulsione
- **Parte II** : approvazione dei veicoli dotati di equipaggiamenti specifici per l'uso del GPL (o CNG) nel sistema di propulsione, per quanto attiene all'installazione di tali equipaggiamenti

Parte I

Classificazione dei componenti

- **Classe 1** : Componenti o parti di alta pressione ($P_{max} < 3000$ kPa)
- **Classe 2** : Componenti o parti a bassa pressione ($20 < P_{max} < 450$ kPa)
- **Classe 2A** : Componenti a bassa pressione ($20 < P_{max} < 120$ kPa)
- **Classe 3** : Valvole di intercettazione e valvole di sicurezza operanti con GPL in fase liquida

Lista componenti :

- Serbatoio
- Accessori fissati al serbatoio
- Vaporizzatore-regolatore di pressione

- Valvola di intercettazione
- Iniettore o miscelatore gas
- Unità di dosaggio
- Tubi flessibili
- Dispositivo di rifornimento
- Valvola di non ritorno
- Valvola di sicurezza alla sovra pressione
- Filtro
- Sensore della temperatura o della pressione
- Pompa carburante
- Collegamenti di servizio
- Unità di controllo elettronica
- Collettore carburante
- Dispositivo di sicurezza alla sovra pressione (fusibile)

Omologazione dei componenti

- **Responsabilità del costruttore** : Il procedimento di omologazione prevede l'attribuzione di responsabilità al costruttore del componente omologato. Il costruttore risulta quindi responsabile della uniformità della produzione e in particolare della conformità della produzione al tipo omologato. Ciò si concretizza, nel Regolamento. ECE 67, in un controllo preventivo e periodico da parte delle Autorità, dei criteri di controllo applicati al processo produttivo utilizzato dal costruttore
- **Marche tecniche** : ogni componente prodotto deve portare impressi
 - Numero di serie
 - Capacità in litri
 - La scritta LPG
 - Pressione di prova (bar)
 - La scritta “ Maximum degree of filling : 80 % “
 - Anno e mese di omologazione
 - Il marchio di omologazione
- **Marchio di omologazione** impresso su ogni componente prodotto
- **Conformità della produzione** : Il costruttore è tenuto ad assicurare la conformità della produzione al tipo omologato. Per questo il Regolamento 67 prescrive l'effettuazione di opportuni controlli di produzione ; tali verifiche vengono specializzate per le diverse tipologie di dispositivi (valvole, tubi, serbatoi, ecc.). Particolare attenzione viene posta nei serbatoi per i quali vengono indicati anche la frequenza dei controlli necessari. Nei casi di produzione di dispositivi omologati non conformi alle caratteristiche di omologazione, al costruttore vengono applicate sanzioni che possono arrivare al ritiro del provvedimento di omologazione.

Parte II

Omologazione dei veicoli : installazione dei componenti

- **Costituzione dell'impianto** : Un sistema di alimentazione funzionante a GPL può essere approvato con riferimento alla installazione su un certo tipo di veicolo. Fanno parte di un certo tipo di veicolo, i veicoli o una famiglia di veicoli che non differiscono tra loro rispetto a : costruttore, tipo di progetto, gli aspetti essenziali del progetto, il tipo di telaio o struttura portante, l'installazione dei componenti dell'impianto GPL. L'impianto è costituito da componenti indispensabili e non.

- **Componenti dell'impianto** :
 - Serbatoio
 - Valvola di arresto 80 %
 - Indicatore di livello
 - Valvole di sicurezza alla sovrappressione
 - Valvola di servizio controllata a distanza con valvola eccesso flusso
 - Regolatore di pressione e vaporizzatore
 - Valvola di intercettazione controllata a distanza
 - Unità di carica
 - Tubi e/o flessibili
 - Collegamenti tra componenti
 - Iniettori o miscelatore
 - Unità elettronica e/o unità di sicurezza
 - Dispositivi di sicurezza alla sovrappressione (fusibile)

e può comprendere :

- Contenitore stagno di copertura degli accessori fissati al serbatoio
 - Valvola di non ritorno
 - Valvola di sicurezza per il tubo gas
 - Unità di dosaggio del gas
 - Unità filtro
 - Sensore di pressione e/o temperatura
 - Pompa GPL
 - Boccola passa cavo per serbatoio
 - Accoppiamento di servizio
 - Sistema di selezione carburante
 - Collettore gas per iniettori
 - Altri componenti necessari al funzionamento del motore, installati nella zona la cui pressione è inferiore a 20 kPa
-
- **Responsabilità del costruttore** : Il procedimento di omologazione prevede l'attribuzione di responsabilità al costruttore del componente omologato. Il costruttore risulta quindi responsabile della uniformità della produzione e in particolare della conformità della produzione al tipo omologato. Ciò si concretizza, nel Regolamento. ECE 67-01 in un controllo preventivo e periodico da parte delle Autorità, dei criteri di controllo applicati al processo produttivo utilizzato dal costruttore
 - **Marchio di omologazione** : ogni esemplare di veicolo prodotto deve riportare impresso in prossimità della targhetta dei dati del veicolo, il marchio di omologazione ai sensi del Regolamento ECE 67-01.

- **Conformità della produzione** : Il costruttore è tenuto ad assicurare la conformità della produzione al tipo omologato. Per questo il Regolamento 67-01 prescrive l'effettuazione di opportuni controlli di produzione. Nel caso in cui si riscontrasse una produzione di veicoli omologati non conformi alle caratteristiche di omologazione, al costruttore vengono applicate sanzioni che possono arrivare al ritiro del provvedimento di omologazione.

Normativa in materia di sicurezza riguardante il CNG (Metano)

Per avere un'ampia diffusione un carburante deve assicurare alti standard di sicurezza e facilità di utilizzo. Il Metano risponde a queste caratteristiche. La sicurezza del metano dipende in larga parte dalle sue qualità intrinseche: il Metano presenta infatti il più alto punto di infiammabilità rispetto a tutti gli altri carburanti. La temperatura di autoaccensione (650° c) è doppia rispetto a quella dei carburanti liquidi e la concentrazione di carburante nell'aria necessaria perché si possa avere una combustione è molto maggiore di quella della Benzina e del Gasolio. Si tratta di fattori che contribuiscono ad abbassare notevolmente il rischio di incidente con sviluppo di incendio. Il Metano ha una densità minore rispetto a quella dell'aria, e quindi, se fuoriesce nell'ambiente, tende a disperdersi verso l'alto senza formare pericolose concentrazioni o accumuli al suolo. Il Metano infine non è pericoloso per la salute nemmeno in concentrazioni elevate, in quanto non velenoso.

Gli impianti di stoccaggio e trasporto del GN sono ermetici e realizzati con standard qualitativi elevati. E' provato (Fonte: Bureau Veritas Norvegese) che il Metano per autotrazione è sicuro almeno quanto il Gasolio in caso di gravi incidenti stradali. Le modalità di dispersione dei carburanti in caso di fuoriuscita dagli impianti sono molto diverse. Il Metano si disperde in forma gassosa, dissipandosi verso l'alto, perché il Metano è molto più leggero dell'aria (pesa circa la metà). In caso d'incidente un eventuale incendio è provocato nei veicoli a doppia alimentazione Benzina/Metano dallo squarcio del serbatoio della Benzina e non dalla rottura della bombola di Metano, che è la componente in assoluto più resistente dell'automobile. Le valvole di sicurezza fusibile, in caso di incendio e di aumento della temperatura, permettono poi la fuoriuscita controllata di gas evitando sovra pressioni. Nel caso in cui la tubatura a bordo si dovesse rompere, la valvola di sicurezza contro l'eccesso di flusso impedisce la fuoriuscita incontrollata del gas. Sui prototipi realizzati dai costruttori d'auto, sono inoltre previste prove di resistenza termica e

meccanica, come il crash test e il “bonfire test” o prove di incendio: la bombola deve scaricarsi attraverso il fusibile senza scoppiare. Tali tests sono svolti in collaborazione anche con i Vigili del Fuoco, per verificare, con le più sofisticate attrezzature, l'efficienza e il grado di sicurezza di sistemi e serbatoi. Il Metano per autotrazione è contenuto in bombole che operano a una pressione di 220 bar, sono collaudate a 300 bar, e sono costruite per resistere almeno fino a 450 bar. Il margine di sicurezza è più che doppio rispetto alla pressione di esercizio. Sottoposti a crash test (incidenti simulati), i serbatoi del gas sono risultati essere i componenti di gran lunga più resistenti a bordo del veicolo, incluse le parti strutturali.

Revisione delle bombole

Le bombole possiedono robustezza e resistenza di molto superiori rispetto ai serbatoi dei carburanti liquidi. Hanno le stesse caratteristiche delle bombole per usi medicali e di quelle impiegate dai sommozzatori. La revisione delle bombole è obbligatoria ogni 5 anni, per le auto a Metano dotate delle bombole tradizionali realizzate secondo la normativa italiana, e ogni 4 anni, per le auto a metano dotate di bombole realizzate secondo la normativa europea ECE Onu R110. La revisione è obbligatoria anche in caso di incidente che comporti il sospetto danneggiamento delle bombole. In Italia il collaudo (o la sostituzione) delle bombole è gratuito (fatta eccezione per il costo della mano d'opera per smontaggio e rimontaggio) e viene finanziato da un piccolo importo aggiuntivo sul prezzo del Metano per autotrazione. La revisione deve essere curata dagli installatori di impianti in collaborazione con la società Servizi Fondo Bombole Metano.



L'industria italiana è all'avanguardia in Europa per quanto riguarda la produzione di apparecchiature meccaniche e di componentistica d'impianto per l'impiego del Metano sicure ed affidabili.

Il regolamento di riferimento per la sicurezza di impianti Metano e la loro installazione sui veicoli è l' **ECE/ONU 110** (entrata in vigore da Dicembre 2000), d'indirizzo facoltativo perciò le Norme Nazionali risultano ancora vigenti e quindi alternative alle Norme Internazionali (cosa che non avviene per il GPL, dove l'ECE/ONU 67 ha sostituito le Norme Nazionali).

Norme Nazionali :

- **Vecchio Codice della Strada** : DPR 15 Giugno 1959 n°393 , DPR 30 Giugno 1959 n°420
- **Articolo dal 341 al 351 del Regolamento** : definizioni, prescrizioni generali, metodologia di prova per quanto riguarda la costruzione dei singoli componenti e la loro installazione sui veicoli. **Collaudo del veicolo** : visita e prova presso gli Uffici Provinciali della M.C.T.C.

Regolamento ECE 110 :

Data entrata in vigore Edizione originale : Dicembre 2000

Data entrata in vigore Emendamenti successivi :

- Emendamento 1 : Gennaio 2003
- Emendamento 2 : Febbraio 2004
- Emendamento 3 : Agosto 2004

Cosa contengono tali Regolamenti e come sono impostati?

- **Parte I** : approvazione di equipaggiamenti specifici dei veicoli a motore che utilizzano il GPL (o CNG) nel sistema di propulsione
- **Parte II** : approvazione dei veicoli dotati di equipaggiamenti specifici per l'uso del GPL (o CNG) nel sistema di propulsione, per quanto attiene l'installazione di tali equipaggiamenti

Le Similitudini tra ECE 67 ed ECE 110

- **Unificazione** a livello internazionale
- Impostazione **simile**
- Concetto del **dispositivo** e del **veicolo**
- **Razionalizzazione** delle disposizioni
- **Sicurezza** degli impianti
- Struttura **aggiornata** costantemente (dalla Commissione Economica per l'Europa dell'ONU).

Parte I*Classificazione dei componenti*

- **Classe 0** : Componenti o parti di alta pressione ($3 < P_{max} < 26$ MPa) incluse le tubazioni
- **Classe 1** : Componenti o parti a media pressione ($450 < P_{max} < 3.000$ kPa) incluse le tubazioni
- **Classe 2** : Componenti o parti a bassa pressione ($20 < P_{max} < 450$ kPa)
- **Classe 3** : Componenti a bassa pressione ($20 < P_{max} < 120$ kPa) Componenti o parti a media pressione quali le valvole di sicurezza oppure protetti da valvole di sicurezza, contenenti CNG alla pressione massima compresa tra $450 < P_{max} < 3.000$ kPa
- **Classe 4** : Componenti o parti a contatto con CNG ad una pressione inferiore a 20 kPa

Lista componenti :

- Serbatoio/i
- Accessori fissati al serbatoio
- Regolatore di pressione
- Valvola automatica
- Valvola manuale
- Miscelatore aria/gas (unità di carburazione o iniettore/i)
- Regolatore di portata del gas
- Tubazione flessibile
- Tubazione rigida
- Unità di carica
- Valvola di ritenuta o di non ritorno
- Valvola di sicurezza alla sovra pressione (PRV)
- Filtro per GN
- Valvola di servizio
- Unità di controllo elettronica
- Indicatore e sensore di pressione
- Dispositivo di sicurezza alla sovra pressione (fusibile)
- Raccordo
- Sistema di selezione del carburante e sistema elettrico
- Camera stagna di ventilazione

Omologazione dei componenti

- **Responsabilità del costruttore** : Il procedimento di omologazione prevede l'attribuzione di responsabilità al costruttore del componente omologato. Il costruttore risulta quindi responsabile della uniformità della produzione e in particolare della conformità della produzione al tipo omologato. Ciò si concretizza, nel Regolamento. ECE 110, in un controllo preventivo e periodico da parte delle Autorità, dei criteri di controllo applicati al processo produttivo utilizzato dal costruttore
- **Marche tecniche** : ogni componente prodotto deve portare impressi : nome o marchio di fabbrica e denominazione del tipo; ogni serbatoio deve avere inoltre una targhetta con riportato
 - Numero di serie
 - Capacità in litri
 - La scritta "CNG"
 - Pressione di prova (MPa)
 - Il peso (kg)
 - Anno e mese di omologazione
 - Il marchio di omologazione
- **Marchio di omologazione** impresso su ogni componente prodotto
- **Conformità della produzione** : Il costruttore è tenuto ad assicurare la conformità della produzione al tipo omologato. Per questo il Regolamento 110 prescrive l'effettuazione di opportuni controlli di produzione; tali verifiche vengono specializzate per le diverse tipologie di dispositivi (valvole, tubi, serbatoi, ecc.). Particolare attenzione viene posta nei serbatoi per i quali vengono indicati anche la frequenza dei controlli necessari. Nei casi di produzione di dispositivi omologati non conformi alle caratteristiche di omologazione, al costruttore vengono applicate sanzioni che possono arrivare al ritiro del provvedimento di omologazione.

Parte II

Omologazione dei veicoli : installazione dei componenti

- **Costituzione dell'impianto** : Un sistema di alimentazione funzionante a CNG può essere approvato con riferimento alla installazione su un certo tipo di veicolo. Fanno parte di un certo tipo di veicolo, i veicoli o una famiglia di veicoli che non differiscono tra loro rispetto a : costruttore, tipo di progetto, gli aspetti essenziali del progetto, il tipo di telaio o struttura portante, l'installazione dei componenti dell'impianto CNG. L'impianto è costituito da componenti indispensabili e non.

- **Componenti dell'impianto** :
 - Serbatoio/i
 - Valvola automatica
 - Indicatore di pressione
 - Valvole di sicurezza alla sovra pressione
 - Valvola di eccesso flusso
 - Regolatore di pressione
 - Valvola manuale
 - Regolatore di portata del gas
 - Tubazione flessibile
 - Tubazione rigida
 - Collegamenti tra componenti
 - Raccordo
 - Unità elettronica di controllo

- Dispositivi di sicurezza alla sovra pressione (fusibile)
- Sistema di selezione del carburante e sistema elettrico

e può comprendere :

- Camera stagna di ventilazione
 - Valvola di sicurezza o di non ritorno
 - Valvola di sicurezza alla sovra pressione
 - Unità filtro per GN
 - Sensore di pressione e/o temperatura
 - Valvola automatica supplementare del regolatore di pressione
-
- **Responsabilità del costruttore** : Il procedimento di omologazione prevede l'attribuzione di responsabilità al costruttore del componente omologato. Il costruttore risulta quindi responsabile della uniformità della produzione e in particolare della conformità della produzione al tipo omologato. Ciò si concretizza, nel Regolamento. ECE 110 in un controllo preventivo e periodico da parte delle Autorità, dei criteri di controllo applicati al processo produttivo utilizzato dal costruttore
 - **Marchio di omologazione** : Ogni esemplare di veicolo prodotto deve riportare impresso in prossimità della targhetta dei dati del veicolo, il marchio di omologazione ai sensi del Regolamento ECE/ONU 110
 - **Conformità della produzione** : Il costruttore è tenuto ad assicurare la conformità della produzione al tipo omologato. Per questo il Regolamento 110 prescrive l'effettuazione di opportuni controlli di produzione. Nel caso in cui si riscontrasse una produzione di veicoli omologati non conformi alle caratteristiche di omologazione, al costruttore vengono applicate sanzioni che possono arrivare al ritiro del provvedimento di omologazione.

Esiste infine una regolamentazione apposita anche per i KIT di Trasformazione, il Regolamento ECE 115 anch'esso come la ECE 110 facoltativo. L' ECE 115 fa comunque riferimento per la sicurezza alle ECE 67 e ECE 110.

Cosa contiene tali Regolamento e come è impostato?

- **Parte I** : Kit specifico GPL da installare su veicoli per l'uso del GPL nel loro sistema di propulsione
- **Parte II** : Kit specifico CNG da installare sui veicoli per l'uso del CNG nel loro sistema di propulsione

Data entrata in vigore : **facoltativo** da **Ottobre 2003**

Capitolo 3

Soluzioni alternative

Attualmente il mercato dell'autotrazione è dominato dai motori a combustione interna (Ciclo Otto e Diesel), per i quali le case produttrici hanno introdotto notevoli miglioramenti atti a ridurre le emissioni e diminuire i consumi. Si è in particolare assistito ad una diffusa corsa al downsizing dei propulsori, introducendo sistemi a iniezione diretta e valvole ad alzata variabile e ricorrendo all'uso esteso di turbina e compressore (anche sugli Otto).

Come si è visto questi affinamenti sono andati a complicare la vita agli installatori di impianti bifuel, spesso costringendo a rinunciare a trasformazioni post vendita. Ma ovviamente non si può non parlare di una nicchia di veicoli che hanno in alcuni casi un mercato esteso al di fuori dell'Italia (F.F.V.) o che cominciano a destare interesse specie per auto di una certa mole (H.V.). Queste tipologie di veicoli possono condividere in toto o in parte molto sul versante tecnico con le unità tradizionali.

Da citare anche l'interessante concetto di auto alimentata a idrogeno prodotto direttamente sul veicolo tramite fuel cells oppure rifornito in appositi distributori: questo concetto che pareva promettente, si è di fatto arenato a causa delle notevoli difficoltà tecniche incontrate, specie la difficoltà di produrre questo costoso vettore energetico a costi accettabili ed gli inevitabili limiti di sicurezza degli impianti di distribuzione, dovuti all'estrema reattività dell'idrogeno; si è così cercato di ottenere miscele di idrogeno-metano, chiamate appunto Idrometano, pensandole come transizione all'idrogeno.

Non meno importante anche il discorso riguardante i veicoli totalmente elettrici (Electric Vehicles) che possono essere una soluzione a medio lungo termine per le scelte riguardanti il parco auto privato, creando un concetto totalmente nuovo di mobilità sostenibile. Alla data attuale le case produttrici hanno già cominciato a lanciarsi in questo nuovo mercato ma ovviamente siamo ancora agli inizi e solo il tempo dirà quali scelte verranno premiate.

3.1- F.F.V. (FLEXIBLE FUEL VEHICLES) : BIOETANOLO E BIODIESEL

Nella spasmodica ricerca di nuovi carburanti più puliti che permettessero una drastica riduzione delle emissioni e nel contempo garantissero una certa diversificazione delle fonti di approvvigionamento, slegandosi dalla schiavitù degli idrocarburi (in particolare prodotti raffinati del petrolio), si sono cercate vie alternative. Questa ricerca è stata sospinta anche dal aumento del costo al barile del petrolio, che ha reso competitivi altri carburanti rispetto ai tradizionali.

La scelta è caduta sull'utilizzo delle biomasse dalle quali, con diverse tecniche è stato possibile produrre biocombustibili utilizzabili in motori a Ciclo Otto (Bioetanolo) e Ciclo Diesel (Biodiesel). Già parecchi paesi ne fanno uso e la Direttiva 2003/30/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 8 maggio 2003 si fa carico di promuovere l'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti, in particolare fissa degli obiettivi per il settore dei trasporti che prevedono la miscelazione di biocarburanti a carburanti fossili in percentuale del 2% in contenuto energetico dal 2005 e 5,75% dal 2010.

Bioetanolo

Il Bioetanolo è un etanolo (formula bruta C_2H_5OH) prodotto mediante un processo di fermentazione delle biomasse, di prodotti agricoli ricchi di zucchero (canna da zucchero, barbabietola, sorgo dolce) oppure ricchi di amidi (granoturco, orzo, riso).

Senza entrare nei dettagli vengono di seguito elencate le reazioni chimiche rappresentanti la trasformazione della biomassa in etanolo:

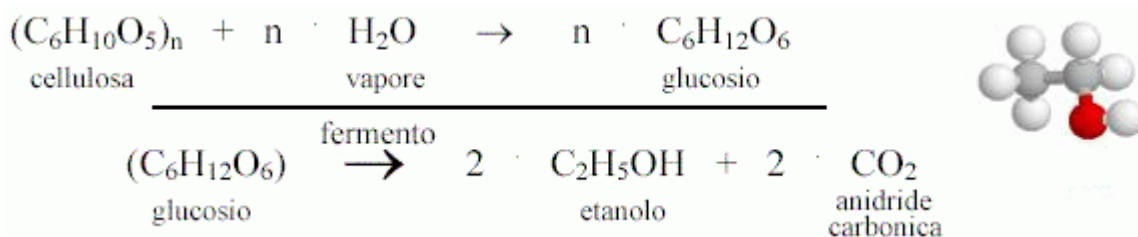


Fig.73 - Principali reazioni chimiche nel processo di creazione del etanolo.

Il Bioetanolo oggi rappresenta il biocarburante di maggiore interesse, essendo la sua produzione mondiale stimabile tra 11 e 11,5 milioni di t/anno (di cui la stragrande maggioranza negli USA e in Brasile).

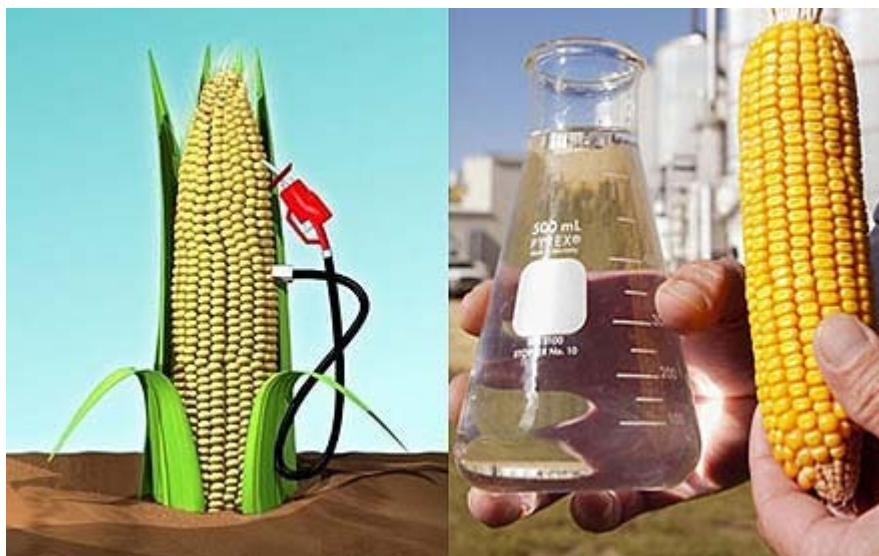


Fig.74 - Foto esemplificativa riguardo l'uso per la produzione di combustibile del granoturco.

L'uso di carburanti per di origine vegetale - in particolare di Etanolo - risale ai primi del '900 quando lo stesso Henry Ford ne promosse l'utilizzo, tanto che nel 1938 gli impianti del Kansas producevano già 18 milioni di galloni/anno di Etanolo (circa 54.000 t/anno). L'interesse americano per l'Etanolo diminuì dopo la seconda guerra mondiale in conseguenza dell'enorme disponibilità di olio e gas, ma negli anni '70, a seguito della prima crisi petrolifera, si ricominciò a parlare di Etanolo e, alla fine del decennio, diverse compagnie petrolifere misero in commercio Benzina contenente il 10% di etanolo. Che particolarità ha il Bioetanolo rispetto ad una Benzina tradizionale?

Il Bioetanolo ha un potere calorifico inferiore a quello della benzina (21 MJ/litro contro 32 MJ/litro). Questo minore potere calorifico comporta un maggiore consumo di carburante e quindi una minore autonomia del medesimo veicolo.

Tuttavia il numero di ottano dell'Etanolo puro è di 113, infatti viene usato per alzare il numero di ottano delle benzine di distillazione (normalmente le benzine hanno numero di ottano di 95, le miscele Bioetanolo/Benzina come la E85 hanno 105), compensando in parte il ridotto potere calorifico: ciò consente rapporti di compressione elevati, migliorando l'efficienza e la performance del motore (tant'è che è spesso impiegato come carburante nelle gare automobilistiche), anche se la sua minore densità energetica si traduce in un maggior consumo di carburante (+50%). Questo vantaggio è sfruttabile con motori turbo-sovralimentati, mentre con i classici aspirati si ha un decadimento delle prestazioni perché agli alti regimi si percepisce un calo di potenza (come avviene con motori aspirati a GPL e soprattutto a Metano). Il Bioetanolo presenta caratteristiche fisico-

chimiche simili alla Benzina e questo permette un suo utilizzo nelle miscele in percentuali fino al 20% (senza modificare il motore) o anche un utilizzo puro nel caso di motori Flex (motore in grado di utilizzare indifferentemente Benzina, Bioetanolo o una miscela dei due).



Fig.75 - Immagini di simboli identificativi su veicoli Flex fuel.

In particolare contiene rilevanti quantità di ossigeno (oltre i 30%) e questo comporta problemi alla sonda lambda di un motore a ciclo Otto tradizionale, che si trova ad operare al di fuori dei parametri di funzionamento e non è in grado di riportare la dosatura sullo stechiometrico. Risulta perciò fondamentale utilizzare nei veicoli FFV sonde lambda ad ampio campo, che consentono l'uso di miscele ad alto contenuto di Etanolo, mentre nel caso di sonde tradizionali si ha il 10% come limite di Etanolo in miscela. Per contro l'uso di Etanolo a concentrazioni troppo alte da inoltre problemi nelle partenze "a freddo"; è per questo che vengono sempre usate miscele di Benzina e Bioetanolo in opportune concentrazioni, a seconda delle zone climatiche di utilizzo del combustibile:

es.

USA miscela E85 (85% bioetanolo e 15% benzina)

Brasile miscela E95 (95% bioetanolo e 5% benzina)



Fig.76 - Pompa di etanolo di un distributore di carburante in nordamerica.

Per quanto riguarda il discorso emissioni, il Bioetanolo si trova in netto vantaggio rispetto alle benzine tradizionali: infatti sebbene le emissioni di carbonio provenienti da un veicolo alimentato a Bioetanolo siano equivalenti a quelle causate dalla Benzina, nel caso del Bioetanolo si tratta di carbonio assorbito durante la crescita di piante, che dunque - a differenza dei carburanti di origine fossile - non va ad aumentare l'effetto serra. Infatti la CO_2 rilasciata durante la combustione è quella sottratta all'atmosfera durante la crescita della materia prima vegetale. In realtà il ciclo non è completamente chiuso perché viene consumata energia, e quindi emessa CO_2 , nel processo di trasformazione e nelle fasi di trasporto, ma il bilancio ambientale risulta nettamente positivo. Infine, i veicoli alimentati a Bioetanolo emettono meno ossidi di azoto SO_x (ridotti del 70%), poiché l'alcool brucia a una temperatura inferiore rispetto alla Benzina, riducono le emissioni di idrocarburi aromatici complessi come il benzene del 50% rispetto alla Benzina e anche le emissioni di particolato e di NO_x risultano inferiori. Per non parlare del fatto che il bassissimo, se non nullo, contenuto di zolfo del bioetanolo azzerava le emissioni di anidride solforosa (SO_2) e migliora l'efficienza delle marmitte catalitiche. Unico lato negativo è l'emissione di sostanze quali la formaldeide, che sono maggiori rispetto alla Benzina. Il Bioetanolo inoltre è biodegradabile, meno esplosivo e più facile da estinguere se incendiato rispetto a Benzina e Gasolio.

Come si detto si fa ricorso a Rtanolo da biomassa perché può essere prodotto localmente, riducendo la dipendenza energetica dai paesi in cui sono concentrate le riserve di combustibili fossili, e a partire da diverse materie prime, aumentando la sicurezza dell'approvvigionamento energetico e favorendo l'occupazione agricola. Questo è uno dei motivi della sua diffusione in paesi con grandi estensione agricole (USA e Brasile) o totalmente privi di riserve di idrocarburi come la Svezia, la

quale grazie ad un programma che prevede anche un uso massiccio di Bioetanolo per i trasporti, vorrebbe diventare il primo paese al mondo indipendente dal petrolio entro il 2020.

Esistono degli svantaggi all'utilizzo di questo combustibile? Tecnicamente no, diciamo che per usare miscele E85/E95 bisogna modificare i normali motori a Benzina, ma a parte questo nulla di rilevante sul piano tecnico.



Fig.77 - Tipico impianto per la produzione di bioetanolo.

Biodiesel

Il Biodiesel è un biocombustibile liquido, trasparente e di colore ambrato, ottenuto da fonti rinnovabili quali oli vegetali, grassi animali e oli alimentari esausti analogo al gasolio derivato dal petrolio. Le colture atte alla produzione di questo prodotto sono in genere soia, girasole e colza.

Le specifiche internazionali standard per il Biodiesel sono fissate nella norma ISO 14214. Gli Stati Uniti fanno riferimento inoltre alla specifica ASTM D 6751. La Germania ad una apposita specifica DIN che identifica tre tipi di Biodiesel:

- RME (esteri metilici dell'olio di colza - DIN E 51606)
- PME (esteri metilici di soli oli vegetali - DIN E 51606)
- FME (esteri metilici di grassi vegetali e animali - DIN V 51606)



Fig.78 - Campione di biodiesel derivato da coltura.

Contrariamente a quanto si crede comunemente, il Biodiesel non è un olio vegetale puro e semplice, come ad esempio l'olio di colza, bensì il risultato di un processo chimico (transesterificazione con metanolo) a partire da questi o altri componenti biologici. Tale trasformazione si rende necessaria perché l'uso del semplice olio all'interno dei motori Diesel comporterebbe la formazione di residui all'interno del cilindro e l'emissione di significative quantità di particolato (poiché tali oli hanno molecole molto complesse e ramificate). Inoltre questi oli sono molto viscosi cosa non desiderabile per un carburante. Il processo di transesterificazione dei lipidi viene usato per convertire l'olio base nell'estere desiderato e per rimuovere gli acidi grassi liberi. Dopo tale procedimento, diversamente dal semplice olio vegetale, il Biodiesel possiede proprietà di combustione e viscosità simili al Gasolio ricavato dal petrolio e può sostituirlo nella maggior parte dei suoi impieghi. Il processo produttivo più diffuso impiega Metanolo per produrre esteri metilici; tuttavia può essere usato anche l'Etanolo, ottenendo così un Biodiesel composto da esteri etilici. Come sottoprodotto, dal processo di transesterificazione si ottiene il glicerolo, utilizzabile in campo cosmetico.

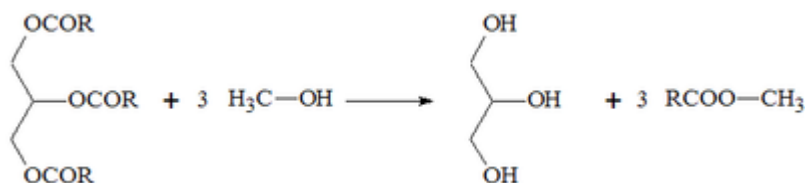


Fig.79 - Reazione di trans-esterificazione di un grasso con metanolo; R è una catena lineare generalmente lunga da 16 a 22 atomi di carbonio la cui esatta struttura dipende dalla specie vegetale o animale. Il primo prodotto indicato è il glicerolo, il secondo è il generico estere metilico che costituisce il biodiesel.



Fig.80 - Ciclo di produzione del biodiesel.

Gli oli base più usati sono quelli di origine agricola, in particolare da coltivazione dedicata: per avere una fonte veramente rinnovabile di olio, dovrebbero essere considerate coltivazioni apposite. Le piante utilizzano la fotosintesi per convertire parte dell'energia del sole in energia chimica. Parte di questa energia chimica viene immagazzinata nel Biodiesel e rilasciata quando bruciata. Ne risulta che le piante potrebbero fornire una fonte sostenibile per la produzione di Biodiesel. Ecco una stima della produzione media di alcune piante (m^3/km^2):

- Soia: da 40 a 50
- Senape: 130

- Colza: da 100 a 140
- Olio di Palma: 610

Il Biodiesel che si ottiene ha le seguenti peculiarità:

- Emissioni nulle di CO₂ in quanto immettono in atmosfera una quantità di anidride carbonica pari a quella immagazzinata dalla pianta nel proprio ciclo di vita. Pertanto il bilancio è complessivamente pari a zero. L'European Biodiesel Board stima che l'utilizzo di 1 kg di Biodiesel comporti la riduzione di 3 kg di CO₂ in atmosfera;
- è solubile nel Gasolio tradizionale;
- agisce come detergente del circuito di alimentazione viste le sue proprietà solventi;
- è aggressivo nei confronti di alcune materie plastiche usate nelle linee di alimentazione tradizionali che vanno quindi modificate;
- è incompatibile con alcuni metalli come bronzo, ottone, rame, ecc. che vanno quindi sostituiti con acciaio o alluminio per non dare origine a sedimenti che intaserebbero il filtro del Gasolio;
- contiene elevate quantità di ossigeno, perciò si hanno meno idrocarburi incombusti (-20%) e meno particolato ma aumentano gli NO_x a causa delle più elevate temperature di combustione;
- ha un potere calorifico minore rispetto al gasolio tradizionale (32,6 MJ/litro contro i 36,6 MJ/litro), comportando una minore autonomia del medesimo veicolo;
- non contiene zolfo;
- ha un numero di cetano più elevato rispetto a quello del Gasolio;
- punto di infiammabilità più alto rispetto al Gasolio e quindi limitato pericolo di autocombustione durante il trasporto e lo stoccaggio;
- ha un moltiplicatore energetico pari a 2,5-3 che lo rende quindi una fonte energetica parzialmente rinnovabile, ma che richiede comunque un'elevata quantità di energia fossile per la sua produzione (per il Bioetanolo il moltiplicatore è ancor più basso);
- è facilmente degradabile sia nel suolo che nell'acqua.

In qualsiasi motore Diesel può essere utilizzato Biodiesel puro (BD100 o B100), anche se più comunemente viene utilizzato gasolio con concentrazioni inferiori di biodiesel. Usato come additivo al Gasolio, ne migliora il potere lubrificante. In alcune zone è richiesto l'uso di Gasolio a bassissimo contenuto di zolfo, che riduce la naturale viscosità e lubrificazione del combustibile poiché sono stati rimossi lo zolfo e certe altre sostanze.

Per far sì che scorra propriamente nei motori sono richiesti degli additivi, e il Biodiesel è una popolare alternativa. Concentrazioni fino al 2% (BD2 o B2) si sono mostrate in grado di restituire la lubrificazione. I maggiori produttori di Biodiesel hanno effettuato numerosi test utilizzando varie percentuali di miscelazione con Gasolio, a partire dal 5% passando per il 20 ed il 30% fino ad arrivare al Biodiesel puro. Le prove effettuate hanno evidenziato che le miscele con Gasolio, sino al 30% in volume (B30), possono essere utilizzate senza alcuna modifica al motore, con una performance del motore analoga all'alimentazione a Gasolio convenzionale e senza differenze apprezzabili nei consumi. Non si riscontrano variazioni di durata del motore ed usure anomale, così come non sono necessarie variazioni alle normali pratiche manutentive.

Ciò che suscita dubbi ormai da qualche tempo è l'opportunità di destinare campi agricoli alla coltura per combustibili anziché ad uso alimentare, con un dispendio significativo di risorse quali acqua e energia per produrre tali coltivazioni, con il rischio concreto di innalzare i prezzi dei generi alimentari prodotti con materie prime quali mais, canna da zucchero, ecc. Sono quindi allo studio e in avanzato stato di sperimentazione biocarburanti di "seconda generazione" (quelli da coltura ad uso alimentare sono di prima generazione) ottenuti con altre tecniche, come ad esempio la lavorazione di materiale lignocellulosico (attraverso la tecnica della pirolisi), la coltivazione del miscanto o la coltivazione delle alghe. La pirolisi, in particolare, consente di trasformare la biomassa raccolta direttamente sul sito in uno speciale olio (bio-olio) che viene successivamente inviato presso un impianto centralizzato per la sintesi dei carburanti veri e propri, abbattendo notevolmente le spese di trasporto.

Scendiamo più nel dettaglio delle molte tecniche di produzione di biocarburanti di seconda generazione. Questi possono essere classificati come:

- bioidrogeno prodotto da steam reforming;
- biodiesel FT (Fischer-Tropsch);
- bioetanolo da biomasse lignocellulosiche;
- biometanolo;
- gas naturale di sintesi.

Il bioidrogeno si ottiene convertendo la biomassa in bio-olio con pirolisi veloce e quindi il bio-olio è impiegato per produrre idrogeno attraverso steam reforming. La pirolisi è un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto mediante l'applicazione di calore e in completa assenza di un agente ossidante (normalmente ossigeno); il materiale subisce la scissione dei legami chimici originari con formazione di molecole più semplici.

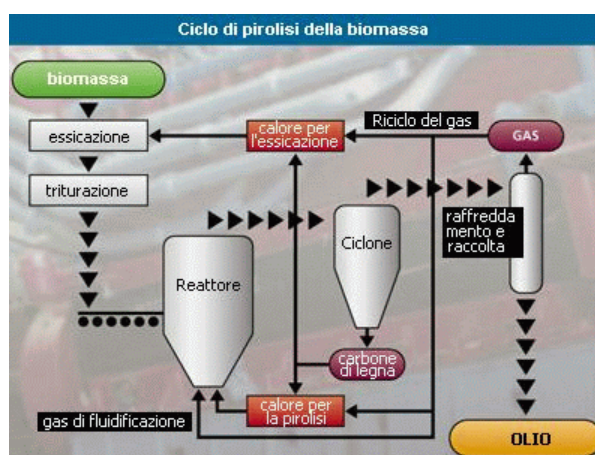


Fig.81 - Ciclo di pirolisi della biomassa.

Lo steam reforming è il processo con cui si produce idrogeno estraendolo dal gas naturale (o da frazioni leggere di petrolio), il Metano reagisce con il vapore acqueo in un convertitore catalitico (generalmente nichel) alla temperatura di 800 ° C. Questo processo libera atomi di idrogeno e ha come sottoprodotto anidride carbonica. Le rese di bioidrogeno che può essere prodotto da biomassa attualmente sono abbastanza basse, pari a 16-18% sul peso secco.

La sintesi Fischer-Tropsch produce idrocarburi alifatici a catena singola (C_xH_y) a partire da un gas di sintesi derivato da gassificazione e principalmente contenente CO ed H. Oltre agli idrocarburi alifatici sono presenti nel diesel FTS anche idrocarburi ramificati, idrocarburi insaturi ed alcool primari, in minore quantità.

La gassificazione è un processo chimico che permette di convertire materiale ricco in carbonio, quale il carbone, il petrolio, o le biomasse, in monossido di carbonio, idrogeno e altri composti gassosi (*syngas*).

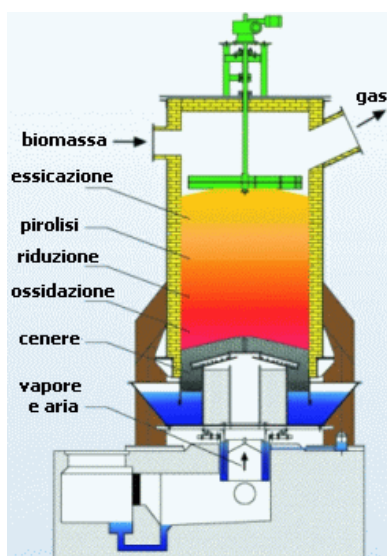


Fig.82 - Schema di un gassificatore alimentato a biomassa.

Il processo di degradazione termica avviene a temperature elevate (superiori a 700-800°C), in presenza di una percentuale sotto-stechiometrica di un agente ossidante: tipicamente aria (ossigeno) o vapore. Per quanto riguarda il Bioetanolo di seconda generazione, questo è prodotto da biomasse legnocellulosiche, separando i componenti fermentabili della parete cellulare (emicellulose e cellulose) dalla lignina e idrolizzandoli per ottenere zuccheri semplici. Le seguenti fasi di fermentazione, distillazione e raffinazione ricalcano quelle del processo convenzionale di produzione di Bioetanolo.

Il Bioetanolo è prodotto idrogenando gli ossidi di carbonio presenti nel gas di sintesi, derivato da gassificazione o pirolisi, in reattori a letto fisso con catalizzatore (Cu/Zn/Al) pellettizzato. Le reazioni sono esotermiche e danno una diminuzione netta del volume molare. Perciò l'equilibrio è favorito da una elevata pressione e ridotte temperature. Il gas naturale di sintesi può essere prodotto secondo tre diverse strategie, che possono essere sia biologiche che termochimiche.

La via biologica prevede l'upgrading di biogas prodotto dalla digestione anaerobica, le vie termochimiche prevedono la gassificazione della biomassa in acqua allo stato supercritico, la coproduzione di gas naturale di sintesi da processo Fischer-Tropsch, e la gassificazione della biomassa con meta nazione in controcorrente. Se la digestione anaerobica e la gassificazione supercritica sono processi applicati per la conversione di biomassa umida (70-95% in peso di acqua), il processo di gassificazione e metanazione sono applicati per la conversione di biomasse secche (10-15% in umidità).

I biocarburanti di prima generazione al momento attuale sono i più convenienti. L'entrata nel mercato dei prodotti alternativi alla Benzina di prima generazione, anche se forzata, favorirebbe la riduzione dei costi dell'intera catena di produzione del Bioetanolo nel lungo periodo. L'introduzione del Diesel FT di seconda generazione può incontrare barriere importanti causate dai notevoli costi iniziali, ciò può comportare che i sostituti del diesel di prima generazione dominino incontrastati per lungo tempo. Ciò nonostante i biocarburanti di seconda generazione hanno un forte potenziale di riduzione dei costi, in quanto sono innovativi e più evoluti, però la loro diffusione sarà molto dipendente dalla velocità con cui si riuscirà ad abbatte i costi specifici.

Esistono inoltre ipotesi futuribili come biocarburanti di terza generazione (sfruttano piante geneticamente modificate per avere quantitativi di lignina superiore onde migliorare il rendimento di conversione) e di quarta generazione (produzione di metano tramite batteri in grado di assorbire la CO₂), ma ovviamente siamo nel campo delle ipotesi più estreme.

3.2- HYBRID VEHICLES : MOTORE TERMICO ABBINATO A MOTORE ELETTRICI

Da sempre si è data particolare attenzione in ambito scientifico ancor prima che industriale allo studio di veicoli che potessero utilizzare dei motori differenti da quelli tradizionalmente utilizzati. Sin dagli albori della motorizzazione su quattro ruote dell'umanità, accanto ai prototipi di Motori Otto o Diesel, venivano ad esempio presentate e realizzate carrozze con motori elettrici.

Se infatti fu dotato di motore elettrico il primo veicolo in grado di sfondare il muro dei 100 km/h nel lontanissimo 1899, nel giro di pochi decenni furono i motori ad accensione comandata ed a accensione per compressione, grazie a vari fattori fra cui sicuramente vanno annoverati l'affidabilità e l'autonomia, a diventare protagonisti del mondo dell'auto, relegando gli altri motori a prototipi ed esperimenti.

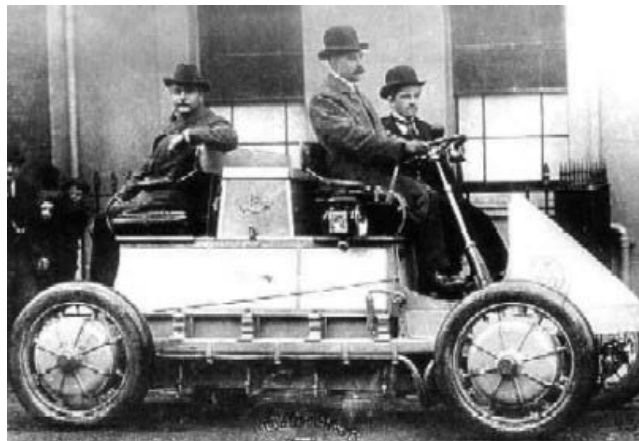


Fig.83 - L'auto ibrida di Ferdinand Porsche – 1898.

Appurato che nella stragrande maggioranza dei casi i veicoli elettrici non comportano una reale riduzione di emissioni di CO₂, a causa del fatto che gran parte dell'energia elettrica è prodotta in centrali termoelettriche che bruciano combustibili fossili, a parte paesi come la Francia, la scarsa autonomia e la bassa densità energetica delle batterie rispetto ai combustibili liquidi hanno finora reso impossibile a tali veicoli di essere competitivi nel mercato dell'automobile.

Negli ultimi anni sta prendendo sempre più piede, invece, l'adozione di una scelta intermedia: i cosiddetti veicoli ibridi. Tale classe di veicoli, che montano insieme sia un motore termico che uno elettrico, a fronte di complessità, peso e costi maggiori, garantisce una riduzione dei consumi e di emissioni che in alcuni casi, in base agli schemi adottati, può superare il 30-40%. Anche in questo caso, come spesso accade, l'idea di partenza è tutt'altro che innovativa, essendo stato presentato un

prototipo di veicolo ibrido già nel lontano 1898 da Ferdinand Porsche ed essendo state vendute auto simili nei primi anni del 1900.

Negli ultimi anni, a fronte di una presenza nel mondo dell'industria dell'automobile ancora minima c'è stato grande interesse da parte della comunità scientifica su questo tipo di veicoli individuati non a torto come il giusto compromesso nel breve periodo per ottenere delle automobili che possano da una parte rispettare le normative vigenti in termini di emissioni inquinanti e circolare anche nelle ZTL cittadine chiuse ai veicoli inquinanti, dall'altra fornire quel giusto mix di prestazioni, autonomia, affidabilità e costi richiesti dal cliente medio che si appresta ad acquistare un'automobile.

Un veicolo ibrido, più propriamente veicolo a propulsione ibrida, è un veicolo dotato di due sistemi di propulsione, ad esempio motore elettrico con motore termico, l'accoppiata più diffusa. I due propulsori sono adatti a coesistere in quanto hanno caratteristiche complementari. Il motore a combustione interna trasforma l'energia chimica del combustibile (di notevole densità energetica e facilmente approvvigionabile dalla rete di rifornimento) con una efficienza accettabile, in particolare in alcuni punti di funzionamento. Il motore elettrico invece converte con una maggiore efficienza e versatilità un'energia disponibile a bordo in minori quantità. Ogni macchina elettrica in sé è in grado di lavorare in trazione e generazione (nonché nei due sensi di marcia) e quindi ogni veicolo ibrido cerca di sfruttare nei rallentamenti la capacità di "frenare" con il motore elettrico, generando energia altrimenti dissipata nei freni. L'energia elettrica si può immagazzinare con l'utilizzo di vari dispositivi che possono essere utilizzati anche in contemporanea.

- Batterie: hanno densità energetica inferiore a quella del carburante, possono essere dimensionate per accumulare la massima energia, per scambiare la massima potenza o con un compromesso fra i due estremi. Le batterie funzionano con processi elettrochimici distribuiti al loro interno e non è banale controllare tutte le condizioni, ad esempio di temperatura, per limitare quanto possibile il decadimento di elettrodi ed elettroliti.
- Supercondensatori: rispetto alle batterie, hanno minore densità energetica ma possono cedere e ricevere maggiori potenze. Sono basati su un processo fisico, maggiormente controllabile.
- Volani ad azionamento elettrico: l'energia è immagazzinata come energia cinetica di un volano messo in rotazione da una macchina elettrica, è un processo del tutto meccanico e presenta problemi di controllo ancora differenti dai precedenti.

A seconda del grado di ibridazione (potenza del propulsore elettrico rispetto alla potenza totale installata) e della capacità del sistema di propulsione ibrido di immagazzinare energia elettrica si definiscono informalmente alcuni livelli di ibridazione:

- ibridazione piena (*full hybrid*), allorché il sistema elettrico è, ad es., in grado da solo di far avanzare il veicolo su un ciclo di guida normalizzato, pur prescindendo dall'autonomia delle batterie
- ibridazione leggera (*mild hybrid*), allorché il modo di funzionamento puramente elettrico non è in grado di seguire per intero un ciclo di guida normalizzato
- ibridazione minima (*minimal hybrid*), normalmente confusa con la propulsione tradizionale munita di sistema start e stop,

caratterizzati da una decrescente percorrenza in modalità elettrica pura e da un decrescente grado di ibridazione. I veicoli con funzione *stop and start* vengono anche impropriamente chiamati "micro hybrids", ma questa funzione, tipica anche di molti veicoli ibridi, è ottenuta con componenti tradizionali e non certo con un diverso sistema propulsivo. Questa tecnologia è largamente usata su veicoli tradizionali con motore termico, quindi non è una prerogativa esclusiva dei veicoli ibridi.

Esistono due schemi costruttivi principali per l'integrazione di un motore termico ed una macchina elettrica: *ibrido serie* e *ibrido parallelo*. La combinazione dei due dà origine all'*ibrido misto*.

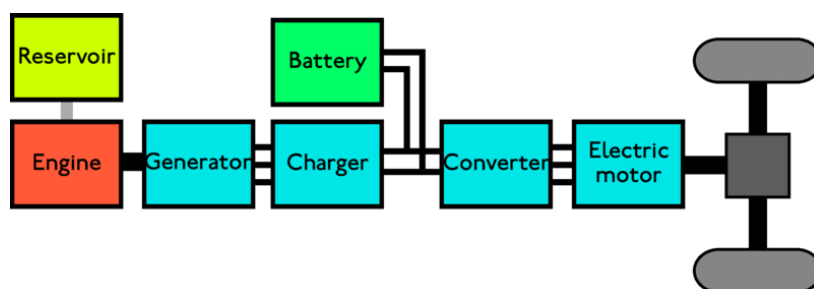
Ibrido serie

Fig.84 - Schema di un ibrido serie.

Questa tecnologia è molto simile a quella utilizzata nelle locomotive diesel-elettrici. In questa tipologia il motore termico non è collegato alle ruote, esso ha il compito di generare la corrente per alimentare il motore elettrico che la trasforma in moto, mentre l'energia superflua viene utilizzata per ricaricare le batterie. Nei momenti in cui viene richiesta una grande quantità di energia, essa viene attinta sia dal motore termico che dalle batterie. Poiché i motori sono in grado di operare su di una grande vastità di regimi di rotazione, questa struttura permette di rimuovere o ridurre la necessità di una trasmissione complessa. L'efficienza dei motori a combustione interna cambia al variare del numero di giri, nei sistemi *ibrido serie* i giri del motore termico vengono impostati per ottenere sempre la massima efficienza non dovendo subire né accelerazioni né decelerazioni. Data questa condizione e per compensare l'ulteriore trasformazione energetica, si può usare un motore termico (generatore) che abbia una fascia di sfruttamento/funzionamento molto stretta rispetto ai regimi totali e che per questo abbia un rendimento più elevato dei motori termici classici, per lo meno in quella fascia di regimi. In alcuni prototipi sono installati piccoli motori elettrici per ogni ruota. Il notevole vantaggio di questa configurazione è di poter controllare la potenza erogata per ogni ruota. Uno scopo possibile potrebbero essere di semplificare il controllo della trazione o inserire/disattivare la trazione integrale.

Il maggiore svantaggio degli *ibridi serie* consiste nella seria riduzione di efficienza rispetto ai motori solo termici in condizioni di elevata e costante velocità (come fare i 130 km/h in autostrada). Questo è causato dal fatto che nella conversione termico-elettrico-moto parte dell'energia viene persa mentre non accadrebbe con una trasmissione diretta.

Questo inconveniente non è presente negli *ibrido parallelo*. Gli *ibridi serie* sono i più efficienti per i veicoli che necessitano di continue frenate e ripartenze come le auto ad uso urbano, autobus e taxi.



Fig.85 - Opel Ampera, un esempio di ibrido serie.

Molti modelli di *ibridi serie* hanno in dotazione un pulsante per spegnere il motore termico. La funzione viene utilizzata specialmente per la circolazione nelle zone a traffico limitato. L'autonomia è limitata alla carica delle batterie, il motore termico, comunque, può essere riattivato con la pressione del medesimo pulsante. Il motore termico viene inoltre spento automaticamente durante le soste.

Ibrido parallelo

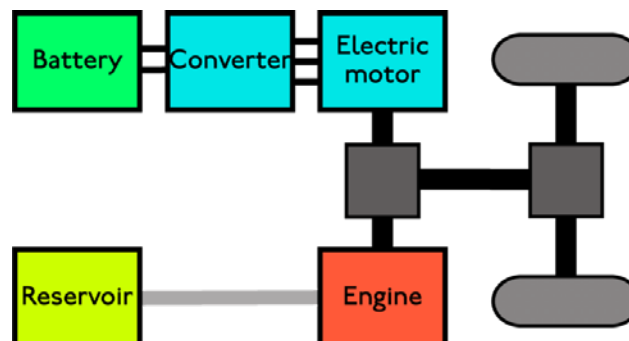


Fig.86 - Schema di un ibrido parallelo.

Tale architettura è tra le più usate nelle auto ibride. È caratterizzata da un nodo meccanico di accoppiamento della potenza, per cui entrambi i motori (l'elettrico ed il termico) forniscono coppia alle ruote. Il motore termico può inoltre essere utilizzato per ricaricare le batterie in caso di necessità. La realizzazione costruttiva del nodo meccanico e la sua posizione nell'ambito del sistema di propulsione servono a distinguere ibridi paralleli pre-trasmissione (motore elettrico a monte del cambio), post-trasmissione (motore elettrico a valle del cambio) e post-ruote (i due assali hanno due motorizzazioni meccanicamente indipendenti, l'accoppiamento è dunque costituito dalla strada). Gli *ibridi parallelo* possono ulteriormente essere classificati a seconda del bilanciamento dei due motori nel fornire potenza motrice. Nella maggior parte dei casi, ad esempio, il motore a combustione interna è la parte dominante e il motore elettrico ha la semplice funzione di fornire una maggiore potenza nei momenti di necessità (principalmente in partenza, in accelerazione, ed alla velocità massima). La maggior parte dei progetti combinano un grande generatore elettrico e un motore in una singola unità, spesso situata tra il motore a combustione interna e la trasmissione, nel posto del volano, rimpiazzando sia il motorino di avviamento che l'alternatore. Solitamente il cambio è automatico.

Il vantaggio sta nell'eliminazione delle marce basse (quelle che consumano più carburante) e del consumo a ruote ferme o a passo d'uomo. Inoltre permette cilindrate più basse in quanto alla massima velocità il motore termico può essere supportato da quello elettrico (anche se solo per qualche chilometro). Questo ne fa dei veicoli adatti ai ritmi cittadini piuttosto che alle lunghe percorrenze autostradali.

Dall'analisi di quanto sopra scritto e dalle valutazioni deducibili sia dalla letteratura che dall'analisi dei comportamenti dei veicoli ibridi già disponibili per la messa su strada, appaiono evidenti le differenze fra le due diverse schematizzazioni dell'impianto. Se sicuramente gli ibridi serie risultano essere maggiormente flessibili e senza organi di trasmissione, gli ibridi parallelo sono quelli ad essere al momento più adatti alla circolazione urbana ed extraurbana, anche in condizioni di elevata potenza per lunghi tratti. In entrambe le ipotesi esiste la possibilità di funzionare in sola alimentazione elettrica: a differenza però dell'ibrido serie, nel caso dell'ibrido parallelo l'autonomia è ridotta ed i rendimenti peggiori.

Ibrido misto

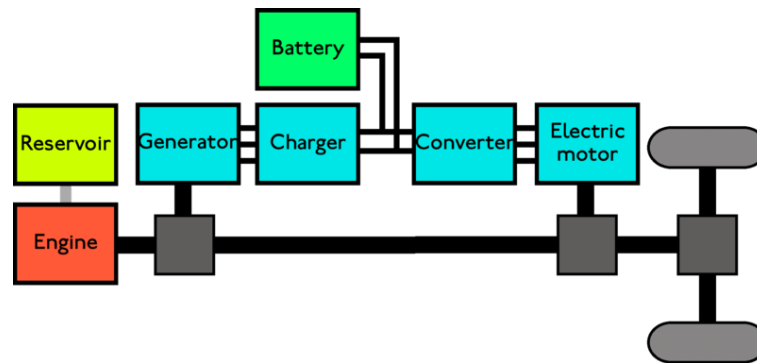


Fig.87 - Schema di un ibrido misto.

Gli *ibridi misti* sono caratterizzati da un nodo meccanico, come negli ibridi paralleli, e da un nodo elettrico, come negli ibridi serie. Come questi ultimi, presentano due macchine elettriche. La modalità costruttiva per realizzare tale doppio accoppiamento può variare. Un esempio relativamente semplice è dato dall'architettura della Toyota Prius, che realizza l'accoppiamento meccanico tra il motore termico, le due macchine elettriche e l'albero di trasmissione finale attraverso la combinazione di un rotismo epicicloidale ed un riduttore.



Fig.88 - Immagine della Toyota Prius.

I costi dei veicoli ibridi sono in linea con le vetture di fascia medio-alta. Per quanto riguarda i rendimenti, gli incrementi di efficienza sono interessanti.

Va sottolineato che al momento i veicoli prodotti in serie sono degli ibridi “misti” in quanto presentano peculiarità dell’ibrido serie, come il doppio motore elettrico e il nodo elettrico, sia dell’ibrido parallelo, come il nodo meccanico per collegare motore termico a elettrico. La Toyota Prius ad esempio, che realizza l'accoppiamento meccanico tra il motore termico, le due macchine elettriche e l'albero di trasmissione finale attraverso la combinazione di un rotismo epicicloidale ed un riduttore, ne è un esempio.



Fig.89 - Motore della Toyota Prius.

Oltre che ai necessari sistemi di controllo il cui scopo sia quello di garantire in qualsiasi condizione di funzionamento le migliori prestazioni possibili per entrambi i motori, buona parte dell’attenzione della comunità scientifica internazionale è rivolta allo studio di sistemi per aumentare l’autonomia del veicolo in condizioni di funzionamento puramente elettrico.

Allo stato attuale, per quanto riguarda gli ibridi parallelo e i misti, l’utilizzo del motore elettrico è limitato a fornire surplus di carico in particolari condizioni, come in accelerazione o a pieno carico oppure a funzionare per pochi chilometri in condizioni puro elettrico all’interno di zone a traffico limitato chiuse ai veicoli che emettono sostanze inquinanti. Ottimizzare il sistema di accumulo dell’energia elettrica, individuando pacchi di batterie che siano al contempo a maggiore densità energetica (che quindi abbiano maggiore capacità a parità di peso) e che si scarichino più lentamente deve essere l’obiettivo principale degli studi futuri.

In tal senso va evidenziato che l’attenzione della comunità scientifica internazionale è rivolta soprattutto sulle batterie. Fra queste risultano particolarmente indicate le batterie agli ioni di litio (Li-ion), in quanto sono accumulatori potenti e leggeri, anche se relativamente costosi. All’anodo vi sono atomi di litio immersi in uno strato di grafite. Al catodo dei Sali litio (LiMn_2O_4).

L'elettrolita è una soluzione di perclorato di litio ed etilencarbonato, la differenza di potenziale ai poli è di 3.7 V. A differenza delle batterie di precedente sviluppo è assente l'effetto memoria ed è elevata l'energia specifica. Sotto certi aspetti migliori ma più costosi sono gli accumulatori basati sui polimeri di litio. Essi necessitano di un sistema di controllo elemento per elemento e l'elettrolita non è in un solvente organico ma in un composto polimerico solido (poliacrilonitrile).

Sono le batterie meno pericolose in quanto non risultano essere infiammabili ed hanno una differenza di potenziale di 4 V e energia specifica maggiore rispetto alle batterie "Li-ion". Un grande pregio, soprattutto per quanto riguarda le applicazioni in questa sede riportate, riguardano gli ingombri. A differenza delle Li-ion, che sono contenute in minuscoli contenitori rigidi di metallo, queste hanno una struttura a fogli flessibili che permette un impacchettamento più denso con una maggiore densità energetica e potenze specifiche elevate. Sempre basati sugli accumulatori Li-ion, si segnalano infine le batterie del tipo Litio-Ossidi di ferro-fosfato, che possono contare su buone prestazioni elettrochimiche, alta capacità specifica e un numero di cicli vita prossimo ai 2000. Fra le altre tipologie di batterie utilizzabili, sono di sicuro interesse le cosiddette "**ZEBRA**" (acronimo per *Zero Emission Battery Research Activities*). Tali batterie, al Nichel-cloruro di sodio (Ni-NaCl), hanno il difetto di dover lavorare a temperature superiori ai 245°C, il che riduce l'efficienza, ma il pregio di avere prestazioni elevate ed una densità energetica elevata. Al momento sono ancora oggetto di studio soprattutto perché la durata è davvero minima: si auto scaricano in meno di 10 giorni.

3.3- Electric Vehicles : veicoli totalmente elettrici

Forse potrà sembrare una stranezza ma in realtà l'auto elettrica pura a batteria (BEV) che tanto si decanta oggi giorno come un'innovazione, una speranza per il futuro fu il primo tipo di automobile ad essere inventata, sperimentata e commercializzata. Tra il 1832 ed il 1839 l'imprenditore scozzese Robert Anderson inventò la prima carrozza elettrica, nella sua forma più cruda. Il professore Sibrandus Stratingh di Groningen, in Olanda, progettò una piccola auto elettrica, costruita dal suo assistente Christopher Becker nel 1835. Il miglioramento delle batterie, dovuto ai francesi Gaston Plante nel 1865 e Camille Faure nel 1881, consentì il fiorire dei veicoli elettrici. Francia e Gran Bretagna furono le prime nazioni testimoni dello sviluppo del mercato delle auto elettriche. Pochi anni prima del 1900, prima della preponderanza del potente ma inquinante motore a combustione interna, le auto elettriche detenevano molti record di velocità e di distanze percorse con una carica. Tra i più notevoli di questi record è stato l'infrangere la barriera dei 100 km/h di velocità, raggiunta il 29 aprile del 1899 da Camille Jenatzy nel suo veicolo elettrico 'a forma di razzo', *La Jamais Contente* che raggiunse la velocità massima di 105,88 km/h. I veicoli elettrici a batteria (BEV), prodotti dalle ditte Anthony Electric, Baker Electric, Detroit Electric ed altri, nel corso dei primi anni del XX secolo, per un certo tempo vendettero di più rispetto ai veicoli a benzina. A causa dei limiti tecnologici delle batterie, e della mancanza di una qualsiasi tecnologia di controllo della carica e della trazione (a transistor o a valvola termoionica), la velocità massima di questi primi veicoli elettrici era limitata a circa 32 km/h. In seguito questi veicoli vennero venduti con successo come town car (veicoli di quartiere o di paese) a clienti delle classi agiate, e venivano spesso commercializzati come veicoli appropriati al sesso femminile, a causa della loro operatività semplice, pulita e poco rumorosa, che non necessitava di frequenti rabbocchi dell'acqua del radiatore, dell'olio o sostituzioni delle candele o fermi mensili o annuali in officine specializzate come per il grafitaggio e la pulizia motore.



Fig.90 - Thomas Edison ed un'auto elettrica nel 1913.

Dopo questa breve parentesi, sappiamo che la storia dell'automobile prese un'altra strada mantenuta con successo fino ad oggi.

Ma vediamo ora un'interessante confronto tra auto elettrica e auto con motore termico.

Costi operativi

Se consideriamo il costo puro dell'energia elettrica, pur più alto in Italia che nella media dei paesi UE, i veicoli elettrici hanno dei costi operativi, considerando solo il costo dell'energia, che variano tra 1 e 2 € per 100 chilometri, mentre i veicoli tradizionali a benzina hanno costi operativi maggiori da circa 4 a 6 volte tanto, mentre con i moderni turbodiesel si arriva a 3 volte tanto. Il costo principale del possesso dei veicoli elettrici a batteria moderni dipende principalmente dal costo delle batterie, il tipo e la capacità di esse è fondamentale nel determinare molti fattori come l'autonomia di viaggio, la velocità massima, il tempo di vita utile della batteria ed il tempo di ricarica; esistono alcuni svantaggi e vantaggi dei vari tipi, probabilmente non esiste un tipo ideale per chiunque, ma alcuni sono più adatti per alcuni utilizzi.

E' ovvio che per un uso cittadino o quasi l'auto elettrica è molto indicata, mentre per un uso su lunghi tratti per ora l'autonomia esprimibile è limitata e ben più bassa di quella di un veicolo tradizionale.

Come per tutti i dispositivi elettrici ed elettronici, anche i veicoli elettrici a batteria hanno il vantaggio di poter essere smantellati facilmente e riciclati per la maggior parte dei componenti dopo, ad esempio, incidenti stradali. A differenza dei componenti dei motori a benzina, che tendono a incendiarsi (specie quando i tubi rotti dell'iniezione soffiavano benzina sulla marmitta catalitica o sul turbocompressore rovente), i componenti delle celle a batteria tendono a mantenersi integri e funzionanti per poter essere recuperati e riutilizzati. Dal momento che (eccetto alcuni accumulatori di tipo litio-ione) non hanno materiali infiammabili, possono essere considerati veicoli molto più sicuri in caso di incidente, e anche con molte parti riciclabili. Con il costo delle batterie che ora per la mancanza di una produzione di serie va dal 80 % del totale (di 50.000 euro per veicoli potenti, a lungo raggio con costose batterie NiMH) fino al 50% (di 16.000 euro per veicoli di uso cittadino con batterie nichel-cadmio, zinco-aria o al magnesio, ed autonomie inferiori ai 160 km) questo comporta minori costi percentuali di riparazione post-collisione, dal momento che sono per buona parte riciclabili. Un altro problema sarà che all'inizio della loro produzione le automobili elettriche costeranno circa il 50-100% in più rispetto a quelle a combustione interna (a causa delle batterie), ma, con il passare degli anni si ritiene che i costi diminuiranno. Un ulteriore problema è la bassa durata delle pile litio-polimero, attualmente le più utilizzate, che perdono circa il 15-20% della capacità massima ogni anno. Molto probabilmente le auto elettriche dovranno essere finanziate dallo stato con un'esenzione sull'IVA e contributi ottenuti dall'inasprimento delle tasse su auto normali come auto di lusso, SUV e super-sportive. Potrebbero godere di vantaggi nella circolazione, come parcheggi riservati (con colonnina di ricarica elettrica a prezzi politici), diritto a circolare sulle corsie per bus e taxi, libertà di accesso alle ZTL e immunità da ogni blocco del traffico. D'altra parte, inquinando di meno, danneggiano meno monumenti e polmoni dei cittadini e questo è un vantaggio reso alla collettività, da non sottovalutare. Molto probabilmente una quota delle nuove licenze di taxi verrà concessa obbligatoriamente a veicoli elettrici e/o ibridi.

Efficienza energetica ed emissioni

Le vetture elettriche di serie o convertite tipicamente consumano da 0,11 a 0,23 kWh/km. Considerando un consumo di 5 litri di benzina per 100 km, una vettura a combustione interna consuma circa 0,51 kWh/km. Si tenga poi presente che circa 1/3 del consumo della vettura elettrica è dovuto a dispersioni ed al basso rendimento nella ricarica delle batterie, e quindi non è impensabile un consumo chilometrico inferiore a 0,1 kWh in un futuro molto prossimo, consumo neppure ipotizzabile nelle vetture a combustione interna. Si ritiene tuttavia che i maggiori vantaggi in termini di efficienza dell'auto elettrica rispetto alle auto a combustione interna si avrebbero con l'uso urbano del mezzo (uniti a sistemi di recupero dell'energia cinetica dissipata in frenata, del tipo KERS) laddove i motori a combustione perdono significativamente in efficienza nelle frequenti fasi di accelerazione e nelle soste a motore acceso, ed è per questo che soluzioni "ibride", altamente flessibili in base alla tipologia di traffico, appaiano le più praticabili ed effettivamente attualmente le più diffuse nel mercato dell'auto elettrica. Altri sistemi di generazione di energia elettrica possono dare risultati ancora più eclatanti: accumulatori ricaricati da celle fotovoltaiche, generatori eolici o simili fonti hanno un consumo primario pari a zero, e l'energia elettrica di origine nucleare potrebbe essere considerata anch'essa a costo primario nullo (anche se andrebbe analizzato il costo del materiale fissile con la sua estrazione, in quanto non rinnovabile).

Ovviamente un BEV non emette direttamente CO₂, particolato, o altri tipi di emissioni nocive: le emissioni saranno quelle indirette, tipiche del ciclo di vita dell'auto (dalla produzione fino allo smaltimento) e all'approvvigionamento di energia elettrica per la ricarica. Infatti molti fattori devono essere considerati quando si compara l'impatto totale sull'ambiente. Il tipo di confronto più esauriente è quello dell'analisi dalla "*catena di montaggio alla discarica*" oppure l'analisi di tutto il *tempo di vita*. Questa analisi è così esaurientemente complessiva che considera ogni tipo di consumo energetico, includendo i consumi (ed emissioni) implicati dalla produzione originale (ed anche della componentistica) e le fonti di carburante e tutti i consumi (e le emissioni) durante la vita utile del veicolo includendo l'inquinamento durante la produzione delle batterie (ad esempio l'estrazione del cadmio comporta un elevato inquinamento da metalli pesanti) e la sua deposizione in discarica. I vari tipi e l'entità dell'inquinamento varia enormemente tra i vari tipi di batteria, cosa che rende ancora più difficile fare dei confronti. Ad esempio, è difficile stabilire se siano peggiori

gli effetti ambientali dell'inquinamento da nichel e da cadmio prodotti dall'estrazione mineraria, dalla fabbricazione della batteria, dalla scarica con successiva ossidazione, rottura, infiltrazione e dilavamento di una batteria Ni-Cd malamente scaricata; oppure se siano peggiori e meno duraturi i danni all'ambiente causati dall'emissione di idrocarburi e dalla raffinazione del petrolio. Sono necessarie accurate statistiche su ogni tipo di combustibile fossile e di accumulatore in modo di poter giudicare gli apporti e le fuoriuscite di inquinanti per giudicare equamente l'impatto ambientale totale. Ma la situazione si è risolta proibendo questo tipo di batterie anche perché sono oramai tecnologicamente sorpassate (ormai sono usate nelle auto elettriche le ioni di litio).

Rispetto al tempo di vita, un'altra importante differenza tra i veicoli elettrici e quelli a combustione interna consiste nell'utilizzo di consistenti batterie di accumulatori. I moderni accumulatori hanno dimostrato di poter superare in durata gli stessi veicoli elettrici su cui sono installate. Ad esempio gli accumulatori provati da Toyota hanno mostrato solo un minimo calo di risultati dopo aver percorso 240.000 chilometri. Certamente nell'utilizzo reale i dati mostrano risultati peggiori, tipicamente gli elementi al litio perdono di efficienza per circa 20-40 % all'anno; così se si fanno 240.000 chilometri su una pista di test si possono confermare i dati rilevati da Toyota ma se, in un utilizzo reale, si percorrono all'anno 10.000 chilometri, la batteria di accumulatori andrà sostituita dopo 30.000 chilometri con una spesa di circa 20.000 Euro con un costo pari a 0,67 €/km, ma trattandosi di una tecnologia recente i futuri progressi porteranno sicuramente ad batterie che vivono più del veicolo. I veicoli BEV, non essendo dotati di motore che brucia combustibile liquido e dei conseguenti apparati necessari al suo funzionamento, sono enormemente più affidabili e richiedono una manutenzione minima. Sebbene i veicoli BEV siano poco diffusi, essi possono trarre vantaggio dagli avanzamenti tecnologici che si stanno realizzando in altri mercati come quello dei telefoni cellulari, dei laptop, dei carrelli elevatori e dei veicoli elettrici ibridi. Le innovazioni nella tecnologia delle batterie elettriche che si sviluppa negli altri mercati possono essere utilizzate al fine di rendere i veicoli BEV più pratici e diffusi. Altro piccolo fattore da non sottovalutare è quello legato alla resistenza aerodinamica (C_x), che ha una grande importanza nel determinare l'efficienza energetica, particolarmente alle alte velocità già partendo dai 40 km/h e le vetture elettriche abbisognando di un minor raffreddamento hanno pertanto feritoie sulla carrozzeria di minor o nullo impatto con l'aria. Impatto che poi abbisogna di dispositivi aerodinamici vari (es.: alettoni o splitter per mantenere la vettura attaccata al terreno alle alte velocità) che aumentano il consumo di energia

a causa della resistenza aerodinamica che provocano. Bisogna inoltre tenere conto del fatto che il motore elettrico è dotato di prestazioni superiori alle velocità variabili, condizione di utilizzo tipica di qualunque veicolo e non consuma nei casi di fermo/stop.

Il motore elettrico ha inoltre un ultimo grande vantaggio sul motore a combustione interna: è silenzioso. Si tratta di una caratteristica non di poco conto, perché insieme al inquinamento dell'aria quello acustico è un motivo di disagio notevole nei centri urbani. Questa silenziosità può però dare dei problemi perché i pedoni e ciclisti possono non accorgersi del sopraggiungere di un veicolo elettrico.

Prestazioni in accelerazione

Molte delle vetture elettriche di oggi sono capaci di prestazioni in accelerazione che superano quelle dei veicoli a benzina della stessa potenza. La Tesla Roadster, una sportiva biposto attualmente commercializzata dalla californiana Tesla Motors e dotata di un motore elettrico asincrono a tre fasi con trasmissione monomarcia, accelera da 0 a 100 km/h in 3,7 secondi: una rapidità superiore a quella di una Ferrari 575M Maranello!



Fig.91 - Immagine della Tesla roadster.

I veicoli elettrici possono utilizzare una configurazione diretta motore-ruota che aumenta l'efficienza nell'erogazione della potenza. Il fatto che possono avere molteplici motori collegati direttamente alle ruote permette a ciascuna ruota di essere sia propulsiva che frenante, cosa che aumenta la trazione. Quando non sono dotate di un asse, di un differenziale, oppure della trasmissione, i veicoli elettrici godono di una minore inerzia rotazionale del treno direzionale ma anche di un minor peso e di componenti che consumano energia nel loro funzionamento. Un sistema senza ingranaggi, o con un solo ingranaggio in alcuni veicoli elettrici elimina la necessità di un cambio a marce, dando all'auto un'accelerazione e frenata più dolce. Si consideri inoltre che i motori elettrici, con i moderni sistemi di alimentazione, possono lavorare a potenza o a coppia costanti; i motori a combustione interna hanno una propria curva caratteristica, seguendo la quale i regimi di coppia e potenza massime si hanno in zone molto limitate della velocità di rotazione, in genere verso i $2/3$ della velocità massima per la coppia e $4/5$ per la potenza. In sostanza nelle normali auto elettriche a batteria che si cominciano a vedere e saranno in commercio, le velocità massime sono inferiori a quelle delle omologhe con motore termico come pure l'autonomia (da ricordare che quando si è prossimi alla "riserva" le prestazioni del veicolo calano molto), mentre sono spesso superiori in termini di coppia ed accelerazione (questo perché il motore elettrico permette di avere subito disponibile la massima potenza allo spunto).

Batterie

Le Batterie ricaricabili utilizzate nei veicoli elettrici includono la pila zinco-aria, l'accumulatore piombo-acido ("inondate" e VRLA), il NiCd, il tipo a NiMH, le litio-ione, le Li-ion polimero. Tuttavia le maggiori speranze sono rivolte alla seconda possibilità: sullo slancio dato dal successo dell'utilizzo delle *batterie al litio* nei più comuni dispositivi elettronici (in primis i telefoni cellulari) la ricerca sta avanzando rapidamente anche in altri possibili campi applicativi, tra i quali quello che a noi interessa della propulsione di autovetture.

Se da un lato devono comunque essere ancora risolte alcune problematiche relative a costi e sicurezza, dovute alla necessità di utilizzare grandi quantità di elementi contemporaneamente, le batterie al litio presentano indubbi vantaggi:

- leggerezza;
- alta densità e moduli sottili facili da posizionare e maneggiare;
- eccellenti performance anche in presenza di basse temperature;
- cicli di vita più lunghi;
- basso impatto ambientale;
- bassa resistenza interna;
- bassissima autoscarica;
- affidabilità;
- non infiammabilità.

Tutto ciò, unitamente al sempre maggiore utilizzo di nanotecnologie, sta avvicinando le prestazioni generali dei veicoli equipaggiati con batterie al litio a quelle dei veicoli tradizionali, rendendo plausibile uno scenario in cui, se le auto elettriche dovessero finalmente riuscire a configurarsi come un oggetto di massa, lo faranno grazie a sistemi di accumulazione di questo tipo.



Fig.92 - Batteria agli ioni di litio (Li-ion).

Esiste tuttavia un'alternativa alle batterie al litio, si chiama "*batteria al sale*" (convenzionalmente denominata *Zebra*, acronimo di Zero emission battery research activity) ed è già stata adottata da qualche costruttore di vetture elettriche, anche se gli approcci sembrano ancora piuttosto prudenti.



Fig.93 - Immagine di una batteria ZEBRA.

Attualmente le batterie al sale vengono prodotte da tra aziende al mondo: il gigante General Electric, la giapponese NGK (che però si distingue per l'utilizzo di una tecnologia un po' diversa, quella che prevede l'uso del sodio-zolfo) e la FZ SoNick di Stabio (Svizzera), partecipata sia dall'Italiana Fiamm, nota ai più per i suoi accumulatori d'avviamento, sia dalla MES-DEA: è stata proprio quest'ultima a rilevare, nel 1999, il brevetto di DaimlerChrysler per una batteria al cloruro di sodio-nickel (il nome FZ SoNick deriva proprio dalle iniziali delle due sostanze, "So" per il sodio e "Nick" per il nickel) e a industrializzarlo. (Attenzione: quando si parla di sale, non ci riferiamo a qualche esotico e costoso composto chimico, ma al semplice cloruro di sodio, cioè il comunissimo sale da cucina)

Quali sono le prerogative, i vantaggi e gli svantaggi di questo tipo di batterie?

Innanzitutto, come appena detto, per la loro realizzazione servono del semplice cloruro di sodio e del nickel, due sostanze che (soprattutto la prima), a differenza del litio, i cui giacimenti sono concentrati perlopiù in Bolivia e Cina, sono disponibili in abbondanza ovunque. Quindi, aspetto di estrema importanza e forse oggi un po' sottovalutato, la produzione delle Zebra non è legata alle forniture di un materiale strategico come il litio, oggetto sia delle brame dell'industria, sia dei potenziali capricci di qualche governante sudamericano o del diktat di una superpotenza. Il ciclo di funzionamento di una batteria Zebra prevede una temperatura di esercizio di circa 270 C° che deve essere sempre mantenuta il più possibile intorno a questo valore, sia durante la scarica dovuta all'utilizzo, sia durante le operazione di ricarica. Ciò è uno svantaggio, poiché comporta che una parte dell'energia prelevata dalla rete elettrica per la ricarica della batteria deve essere impiegata per il suo riscaldamento, anche se il procedimento è automatico perché vi provvede l'elettronica di controllo.

Ne consegue che una Zebra non utilizzata e non ricaricata mediante la rete si esaurisce prima di una Li-ion proprio perché consuma energia per auto-riscaldarsi. Tuttavia, proprio l'elevata temperatura di esercizio rende insensibili le batterie al sale a quella esterna, che costituisce invece una limitazione delle Li-ion, il cui funzionamento risente degli elevati sbalzi termici.

Anche il problema del surriscaldamento delle batterie (che influisce sulla sicurezza di un'auto elettrica e che per quanto riguarda le batterie Li-ion esiste anche se non se ne parla molto), per le batterie al sale è pressoché inesistente, poiché una Zebra funziona già a una temperatura ottimale elevata che non viene mai superata. In ogni caso, il suo isolamento fa sì che, al tatto, l'involucro esterno d'acciaio che ospita le celle non superi i 30 C° circa. A livello di sistema (ossia, tenendo conto di tutti i componenti del pacco-batteria, elettronica compresa), l'energia specifica di una Zebra è di circa 120 Wh/kg contro gli 80-100 Wh di una batteria Li-ion, quindi a parità di peso, la prima consente un'autonomia del 10-20% superiore. La FZ SoNick dichiara che le sue batterie sopportano agevolmente anche oltre 1.500 cicli di carica-scarica (equivalenti a circa 10 anni di normale impiego), mentre quelle al litio hanno un limite intrinseco proprio nella durata, che non dipende tanto dai cicli, quanto da un tempo fisso non legato all'utilizzo. Vero tallone d'Achille di questa tecnologia è la durata in termine di carica: tendono ad auto scaricarsi in poco meno che 15 giorni: in questo senso si sta lavorando per migliorare le prestazioni.

Quanto al paragone sui costi, le batterie al litio "entry level", prodotte più che altro in Cina, hanno un prezzo industriale di circa 400 euro/kWh, quelle di qualità superiore dei produttori coreani si collocano intorno agli 800 euro/kWh e le migliori europee toccano anche i 1.200 euro kWh. Per contro, il costo di quelle al sale si aggira sui 600 euro/kWh.

Un aspetto da non sottovalutare è quello dello smaltimento delle batterie a fine vita. Per quanto riguarda quelle Li-ion, di questo argomento si parla pochissimo, poiché oggi la comunicazione tende a trattare praticamente solo gli aspetti del costo d'acquisto, dell'autonomia e dei tempi di ricarica. Non sembra che lo smaltimento di queste batterie debba presentare grandi problemi, tranne per il fatto che il litio è velenoso e va trattato con una certa precauzione. In ogni caso, le batterie al litio si possono rigenerare e comunque il metallo che contengono è recuperabile e perfettamente riutilizzabile per costruire altre batterie. Ancora meno problemi dovrebbe dare lo smaltimento di quelle al sale, che è ovviamente del tutto biodegradabile, pur considerando che l'altra sostanza

presente in quantità rilevanti, il nickel, è nocivo alla salute come lo è il litio, e altrettanto vale per il rame, presente però in quantità bassissime.

In Italia e negli USA sono già stati testati veicoli elettrici alimentati con pile *zinco-aria*, molto leggere, che sotto molti punti di vista (autonomia, ecologia, economia e sicurezza in caso d'incendio) promettono molti vantaggi rispetto a vetture BEV con altri tipi di batteria. Come difetto queste vetture non possono recuperare l'energia di frenata (circa il 15%) e le batterie non possono essere ricaricate da pannelli solari o da un propulsore secondario, che le renda auto ibride.

Le autovetture che montano le pile zinco-aria, dal punto di vista ambientale, sono estremamente vantaggiose in quanto le pile non contengono metalli pesanti che, alla fine del loro ciclo utile, debbano essere smaltiti con particolare attenzione ad evitare perdite ed inquinamento della falda freatica, dal momento che causano intossicazioni, anemie e tumori. Le batterie zinco-aria non possono essere ricaricate, ma devono essere sottoposte ad un processo elettrochimico in un impianto (industria o stazione di servizio), dove possono essere facilmente e velocemente caricate mediante metodi metallurgici che usano come fonte energetica tipicamente il carbone. Un grande vantaggio è, che in certe condizioni atmosferiche (alta temperatura ed ambiente asciutto), con nuove pile a lastre di zinco metallico una vettura può percorrere fino a 1.600 km. Un veicolo a batterie zinco-aria ha dei costi di esercizio più convenienti (ed i costi sono piuttosto stabili se l'energia viene prodotta con energie rinnovabili) rispetto ai normali veicoli a combustione interna in quanto non necessita di benzina o altri idrocarburi e la vettura ha dei motori poco ingombranti (che possono essere sistemati tra le ruote). Le celle di combustibile (fatte di zinco) sono fatte di materiali riciclabili oltre che ricaricabili e dunque esiste un risparmio anche in termini di materiali strutturali del veicolo.

La diffusione di veicoli elettrici a pile $Zn-O_e$ porterebbe a vantaggi per i loro possessori (stabilità dei prezzi, impossibilità di subire ricatti di OPEC, petrolieri, autotrasportatori, ecc.) e vantaggi per la collettività, le emissioni sono zero (non si produce neanche vapore d'acqua, anche se queste macchine consumano ossigeno ed azoto); inoltre le batterie esaurite si possono riciclare e ricaricare infinitamente, senza creare una massa di pesanti metalli inquinanti (come avviene per il piombo o il cadmio). Secondo alcuni studiosi, in viaggi a lunga distanza (300-1.200 km) queste leggere batterie verranno caricate nel bagagliaio, o in appositi vani, in automobili elettriche con batterie ricaricabili

più convenzionali (al litio, al nichel-cadmio o altri tipi), ed in questo modo avranno la possibilità di estendere la loro autonomia, fino a superare quella delle automobili diesel.

Le batterie sono tipicamente il componente più costoso dei BEV. Sebbene il costo di fabbricazione della batteria sia elevato, l'aumento della loro produzione porterà ad un enorme abbassamento dei costi nel momento in cui la produzione dei BEV avesse le stesse dimensioni della attuale produzione dei veicoli a combustione interna. Le nuove tecnologie di produzione delle batterie, competitive in termine di costo con i motori a combustione interna, consentiranno un importante abbassamento dei costi nel momento in cui decadranno i relativi brevetti.

Ricarica e approvvigionamento elettricità

Le batterie delle vetture elettriche devono essere ricaricate periodicamente (vedi anche *Sostituzione delle batterie*, più sotto). Le BEV solitamente vengono caricate dalla rete elettrica. In questo caso l'energia è generata da una varietà di risorse come il carbone, l'energia idroelettrica, l'olio combustibile, il gas naturale, altre fonti rinnovabili o, infine, nei paesi in cui è previsto l'uso, l'energia nucleare. Le batterie possono essere ricaricate mentre il veicolo viene guidato grazie al KERS e sono anche state sperimentate alcune fonti di energia ausiliarie, come la cella fotovoltaica sul tetto della vettura.

Il tempo di ricarica viene determinato principalmente dalla corrente trasmissibile da parte della connessione alla rete elettrica. La potenza normalmente disponibile in una presa di corrente domestica va da 1.5 kW (negli USA, Canada, Giappone, e paesi con tensione 110 V) fino a 3-6 kW (in paesi con corrente a 240 V). In Italia è abbastanza comune il contratto 6 kW di connessione alla rete, ma si potrebbero evidentemente utilizzare correnti più alte. La velocità della ricarica dipende naturalmente dalle soluzioni tecnologiche adottate sia a bordo del veicolo che dalle stazioni di ricarica. Inizialmente i tempi di ricarica sono dell'ordine di 6-8 ore in ambito domestico, ma naturalmente l'evoluzione tecnologica è rapida, sia a bordo dell'auto che per le stazioni di ricarica. Già oggi una colonnina pubblica apposita di ricarica è in grado di ricaricare una batteria da zero a cento in circa un'ora e quindi lecito ritenere che in breve tempo gli utenti avranno a disposizione sistemi di ricarica sempre più rapidi e capaci di ricaricare le vetture in tempi compatibili con le

esigenze dei clienti. La soluzione più semplice e più ovvia è ricaricare il veicolo quando è fermo nel posteggio, visto che mediamente una giornata lavorativa è di 8 ore.



Fig.94 - Pensilina parcheggio a copertura fotovoltaica per la ricarica di auto elettriche (Enea).

Una alternativa alla ricarica (ed ai suoi lunghi tempi) è quella di sostituire rapidamente le batterie di accumulatori scarichi con altre già cariche. Queste batterie modulari (spesso alloggiare in un doppio fondo sotto l'abitacolo, tra le ruote, oppure sotto il bagagliaio) possono scorrere ed essere rapidamente sostituite dal personale della stazione di servizio oppure da sistemi robotizzati.



Fig.95 - Operazione di sostituzione automatica delle batterie.

Queste batterie scariche modulari potrebbero essere sostituite con altre cariche (forse prevedendo il pagamento di un deposito iniziale) in stazioni di servizio, rivendite di auto, grandi magazzini oppure parcheggi. Con una dimensione standard (pari a quella di una valigetta d'aereo), comode maniglie, un peso ridotto a 20-40kg e rotelline, il cambio di uno o più moduli (inserendoli in fessure di ricarica a nastro trasportatore) è il più veloce (nessun tempo di ricarica): pochi secondi. Ma il costo totale di tale operazione si rivela molto antieconomico rispetto alla più semplice ricarica.

A seconda del tipo di batterie ricevute, si procederà a ricaricarle in modi diversi, gli accumulatori NiMH, Li-ion e Li-pol possono essere ricaricati immediatamente; le batterie NiCd, ora non più usate, devono essere prima scaricate allo 0% e poi ricaricate, per impedire l'effetto memoria. La pila zinco-aria (che non può essere ricaricata in modo semplice), deve essere portata in un centro industriale (più o meno grande, forse in futuro portatile) e "rigenerata" con un procedimento elettrochimico.

3.4- Hydrogen Vehicles : veicoli a idrogeno

Di norma sarebbe più corretto fare una differenziazione in base al modo di utilizzo dell'idrogeno su tali veicoli:

- ✓ **veicoli a combustione diretta**
- ✓ **veicoli fuel cell**

I veicoli a idrogeno a combustione diretta utilizzano l'idrogeno per alimentare il motore. L'idrogeno viene stoccato in speciali bombole a bordo del veicolo in forma liquida o in forma gassosa. I veicoli fuel cell si basano, invece, su una diversa tecnologia di sfruttamento dell'idrogeno. In quest'ultimo caso l'idrogeno è utilizzato per produrre energia elettrica tramite le celle a combustibile ed alimentare il motore elettrico del veicolo.

Di norma quindi questi ultimi potrebbero far parte della grande famiglia dei BEV, dove la batteria è la fuel cell: Dunque in generale sarebbe corretto definirlo come "veicolo energetico".

Allo stato elementare esiste sotto forma di molecola biatomica, H_2 , che a pressione atmosferica e a temperatura ambiente (298 K) è un gas incolore, inodore, altamente infiammabile. L'idrogeno è l'elemento più leggero e più abbondante di tutto l'universo osservabile. Sulla Terra è solo l'1% dei gas presenti, però ce n'è in abbondanza nell'acqua (11,19%) e in tutti i composti organici (come i combustibili fossili e il gas naturale) e organismi viventi. L'idrogeno forma composti con la maggior parte degli elementi, spesso anche per sintesi diretta. Le stelle sono principalmente composte di idrogeno nello stato di plasma di cui rappresenta il combustibile delle reazioni termonucleari, mentre sulla Terra è scarsamente presente allo stato libero e molecolare e deve quindi essere prodotto per i suoi vari usi. In particolare questo elemento è usato nella produzione di ammoniaca, nell'idrogenazione degli oli vegetali, in aeronautica (in passato nei dirigibili), come combustibile alternativo e, di recente, come riserva di energia nelle pile a combustibile. Inoltre è occluso in alcune rocce, come il granito.

L'idrogeno gassoso è altamente infiammabile e brucia in aria a concentrazioni dal 4 al 75% (parti di idrogeno su 100 parti d'aria) e in atmosfera di cloro dal 5 al 95%. Le miscele di idrogeno detonano molto facilmente a seguito di semplici scintille o, se in alta concentrazione di reagenti, anche solo per mezzo della luce solare in quanto il gas reagisce violentemente e spontaneamente con qualsiasi sostanza ossidante.

Produzione industriale

Il fatto che l'idrogeno sia l'elemento più abbondante dell'universo potrebbe far pensare che sia estremamente facile produrlo, ad esempio estraendolo dall'acqua. Se questo è vero in linea teorica, nella pratica attualmente il modo più economico per produrre questo elemento consiste nell'utilizzo di petrolio o di altri combustibili fossili. Infatti, circa il 97% dell'idrogeno prodotto è ottenuto dai combustibili fossili, mentre soltanto un 3% si ottiene tramite l'elettrolisi dell'acqua. Perché?

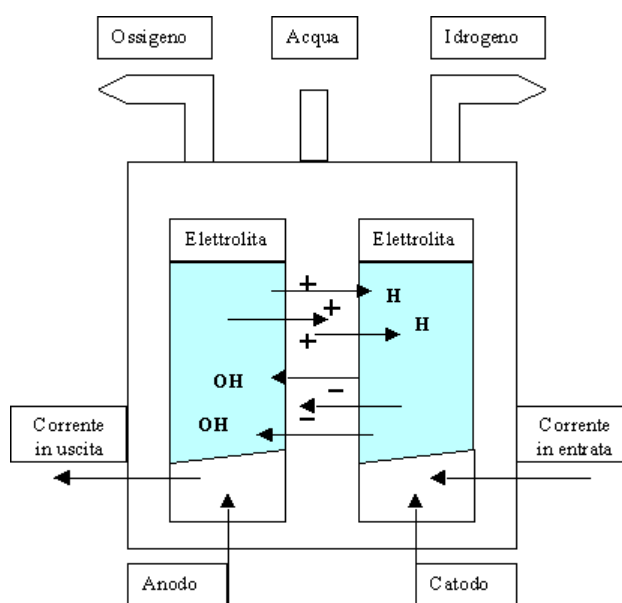


Fig.96 - Schema semplificato per spiegare l'elettrolisi dell'acqua.

L'elettrolisi dell'acqua è un metodo semplice per produrre idrogeno, però la quantità di gas ottenuta con questo processo ha richiesto più energia di quanta possa fornire: questo spiega tutto, definendone l'ineconomicità di tale processo a livello industriale. Il processo si basa su una corrente a basso voltaggio che attraversa l'acqua, forma ossigeno gassoso all'anodo ed idrogeno gassoso al catodo. Generalmente quando si produce idrogeno si impiega un catodo di platino o di un altro metallo inerte. Al contrario, se l'idrogeno si consuma *in situ*, è necessaria la presenza di ossigeno perché si produca la combustione ed entrambi gli elettrodi (anodo e catodo) dovranno essere di un metallo inerte (l'impiego di un metallo non inerte, per esempio il ferro, produrrà l'ossidazione del metallo stesso e diminuirà la quantità di ossigeno che si sviluppa). La massima efficienza teorica (elettricità impiegata contro il valore energetico dell'idrogeno prodotto) è tra l'80% ed il 94%.

Questo processo, sfruttando combustibili fossili, porta all'emissione di elevate quantità di CO₂, le quali finiscono per aumentare il bilancio termico della terra e l'effetto serra.

L'idrogeno può essere ottenuto con molti metodi, però i più economici sono rappresentati dall'estrazione a partire dagli idrocarburi, utilizzando un processo di *Reforming* da gas naturale, ad esempio.

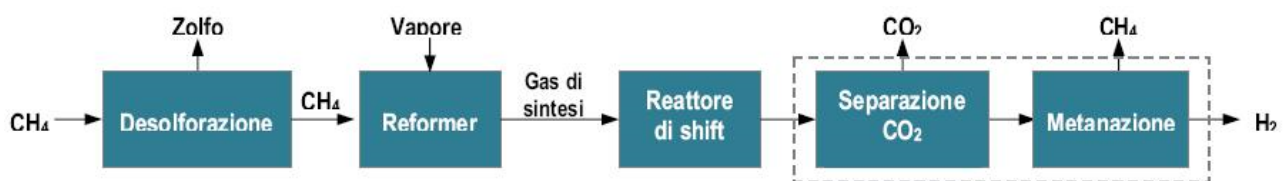
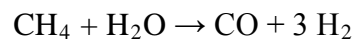


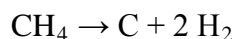
Diagramma di flusso semplificato di un impianto per la produzione di idrogeno per reforming del metano

Questo processo consiste nella reazione tra il metano ed il vapore acqueo per produrre monossido di carbonio e idrogeno, ad una temperatura dai 700 °C ai 1.100 °C.



La reazione è favorita a basse pressioni, tuttavia si fa avvenire a pressioni elevate (20 atm) visto che l'H₂ così ottenuto è il prodotto più commercializzabile. Il mix di prodotto è noto come *gas di sintesi* (*Syngas*) perché è spesso utilizzato direttamente per la produzione di metanolo ed altri composti correlati. A parte il metano, possono essere utilizzati altri idrocarburi per ottenere il *Syngas* con diverse proporzioni dei componenti prodotti.

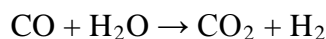
Una delle complicazioni che si incontrano con questa tecnologia altamente ottimizzata è la formazione di coke o carbonio:



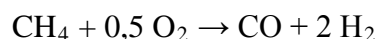
Per evitarlo, il vapore si riforma in genere utilizzando un eccesso di H₂O.

In questo processo può essere ottenuto ulteriormente idrogeno a partire dal monossido di carbonio, mediante una reazione di spiazzamento dell'acqua gassosa, specialmente con un catalizzatore in ossido di ferro.

Questa reazione è impiegata industrialmente come fonte di biossido di carbonio:

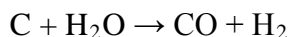


Altri metodi importanti per la produzione di H_2 includono l'ossidazione parziale degli idrocarburi:

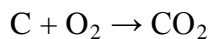


L'idrogeno è anche ottenuto in quantità significative come sottoprodotto della maggior parte dei processi petrolchimici di *cracking*. L'elettrolisi della salamoia per ottenere cloro genera anche idrogeno come sottoprodotto (il che vuol dire che in questo caso l'idrogeno è uno "scarto" pregiato).

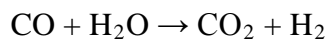
Un'altra via industriale per produrre idrogeno è la *gassificazione* del carbone, che prevede il trattamento del carbone con vapore acqueo (*processo del gas d'acqua*):



Tale reazione può servire come preludio della reazione di spiazzamento durante il reforming del gas naturale. La reazione è endotermica, ossia richiede calore per compiersi; il calore viene fornito miscelando al vapore acqueo una frazione di ossigeno in modo che avvenga contestualmente anche la reazione esotermica (che genera calore) di ossidazione:



L'ossido di carbonio prodotto nel primo stadio viene successivamente trattato con altro vapore acqueo a 400-500 °C su catalizzatore a base di ossidi di ferro e di cromo:



La miscela gassosa ottenuta viene quindi purificata per distillazione frazionata.

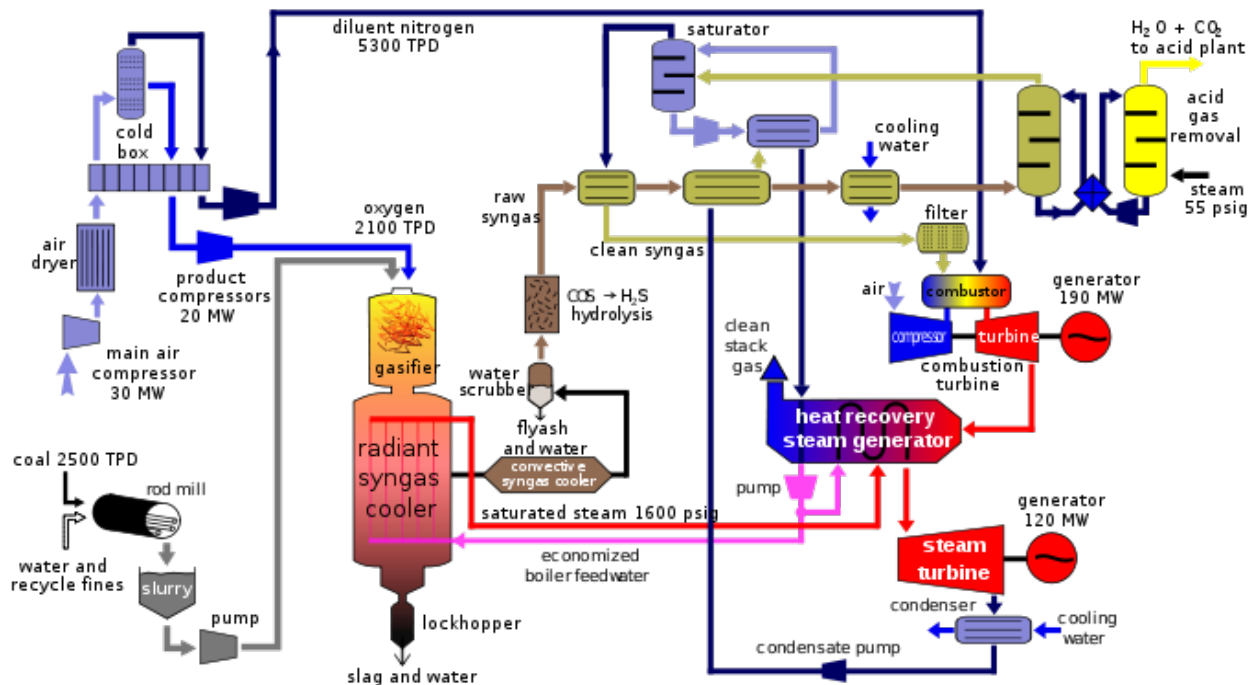


Fig.97 - Schema di un impianto per la gassificazione IGCC (integrated gasification combined cycle).

La Gassificazione del carbone/biomassa vengono primariamente fatti per ottenere un gas più pulito da usare nei tradizionali Turbogas per la produzione di energia elettrica, ma con la produzione combinata anche d'idrogeno c'è un notevole abbattimento dei costi di produzione dell'energia, quindi è una possibilità che va ampiamente esplorata.

Una via alternativa è la produzione biologica di idrogeno (detto in questo caso "*bioidrogeno*") che sfrutta processi legati a microrganismi come batteri rossi, cianobatteri e microalghe. Questi microrganismi sono capaci, nelle opportune condizioni, di sfruttare una via metabolica anaerobica che porta alla produzione di idrogeno a partire da fonti diverse, grazie all'azione catalizzatrice di enzimi che contengono ferro o nichel, chiamati idrogenasi. Un problema piuttosto importante per la applicabilità futura dei processi sono i tassi di produzione di idrogeno, finora molto bassi: questo renderebbe l'applicabilità su larga scala economicamente sfavorevole.

Esiste anche la possibilità, date le alte temperatura operative sviluppate, la possibilità di produrre idrogeno da fonte nucleare, eliminando il problema delle emissioni in atmosfera derivanti dalla combustione di combustibili fossili: si tratta di un utilizzo interessante per i nuovi reattori di 4 generazione attualmente in fase di progettazione. Studi sono compiuti per produrlo da fonti rinnovabili, in particolare su produzione d'idrogeno da impianti termodinamici.

Attualmente esistono due utilizzi principali per l'idrogeno:

- circa la metà viene utilizzato (combinandolo con l'azoto, componente del 80% dell'atmosfera) per produrre ammoniaca (NH_3) tramite il processo Haber, che può essere primariamente usato direttamente o indirettamente come fertilizzante in agricoltura.
- l'altra metà dell'idrogeno attualmente prodotto viene usata per convertire le fonti pesanti di petrolio in frazioni più leggere ed adatte per essere impiegate come carburante (questo processo è noto come *hydrocracking*).

Essendo in crescita sia la popolazione mondiale che l'agricoltura intensiva che l'alimentazione, la domanda per un impiego massiccio dell'ammoniaca è crescente. Nella presente analisi c'è interesse il suo utilizzo come combustibile "pregiato" per autotrazione. Come abbiamo visto però la produzione d'idrogeno ai fini di "vettore energetico", ha qualche limitazione..

Il problema vero, sollevato da più parti, è a monte: l'idrogeno atomico e molecolare è assai scarso in natura ovvero l'elemento in sé si trova combinato assieme ad altri elementi in vari composti sulla crosta terrestre; esso dunque non è una fonte primaria di energia come lo sono gas naturale, petrolio e carbone, in quanto deve essere prodotto artificialmente spendendo energia a partire da fonti energetiche primarie. Esso sarebbe quindi impiegabile unicamente come *vettore energetico* cioè come mezzo per immagazzinare e trasportare l'energia disponibile ove occorra, mentre il ciclo di produzione/utilizzo sarebbe comunque inefficiente dal punto di vista termodinamico poiché la sua produzione richiederebbe in genere un'energia maggiore di quella che poi si renderebbe disponibile attraverso la sua 'combustione'. La molecola d'acqua è infatti più stabile e quindi meno energetica dell'ossigeno e dell'idrogeno separati e segue la legge secondo la quale i processi "naturali" portano un sistema da un'energia più alta ad una più bassa tramite una trasformazione.

Per le leggi della termodinamica l'estrazione di idrogeno dall'acqua non può avvenire dunque come reazione inversa a costo zero, cioè senza spendere lavoro. Qualsiasi metodo di estrazione comporta quindi un costo che è pari all'energia liberata successivamente dalla combustione dell'idrogeno se a tal fine si utilizza l'esatto processo inverso, ed in realtà in tal caso anche maggiore perché non esiste alcuna macchina con rendimento pari al 100% durante il processo di estrazione. In altri termini la produzione di idrogeno attraverso il metodo più semplice, ovvero l'elettrolisi dell'acqua e il successivo utilizzo dell'idrogeno nella reazione inversa con l'ossigeno nelle pile a combustibile, non solo non porta ad alcun guadagno energetico, ma anzi, per quanto detto sopra, il guadagno netto energetico sarebbe negativo cioè ci sarebbe una perdita dovuta alle dissipazioni in calore. L'unico modo di usare in maniera efficiente l'idrogeno come fonte di energia sarebbe ottenerlo come bioidrogeno a spese di alghe e batteri. Attualmente l'idrogeno elementare ottenuto da fonti solari, biologiche o elettriche ha un costo di produzione, in termini energetici, molto più elevato di quello della sua combustione per ottenere energia. L'idrogeno può essere ottenuto con un guadagno netto di energia a partire da fonti fossili, come il Metano (le reazioni di sintesi sono infatti diverse da quelle di combustione), però si tratta di fonti energetiche non rinnovabili cioè destinate comunque ad esaurirsi nel tempo ed in più con emissioni dirette di CO₂ quindi non pulita. Infine i costi per la realizzazione delle infrastrutture necessarie per effettuare una completa conversione ad un'economia dell'idrogeno *sarebbero sostanzialmente elevati*.

Utilizzo dell'idrogeno come combustibile per autotrazione

Si parla molto dell'idrogeno come possibile fonte di energia per l'autotrazione. L'uso del H₂ avrebbe il vantaggio di utilizzare le fonti fossili per ottenere direttamente il gas (a partire dal metano, per esempio). L'H₂ usato poi come combustibile nei mezzi di trasporto, reagendo con l'ossigeno, produrrebbe come unico prodotto di scarto l'acqua, eliminando completamente le emissioni di CO₂ ed i problemi climatico-ambientali ad esse associate. Utilizzato come combustibile presenta diversi vantaggi.

- Brucia all'aria quando la sua concentrazione è compresa tra il 4 ed il 75% del suo volume, mentre il gas naturale brucia a concentrazioni comprese tra il 5,4 ed il 15%.
- La temperatura di combustione spontanea è di 585 °C, mentre quella del gas naturale è di 540 °C.

- Il gas naturale esplose a concentrazioni comprese tra il 6.3 ed il 14%, mentre l'idrogeno richiede concentrazioni dal 13 al 64%.

Questo quindi comporta minori problematiche in termini innesco accidentale. L'unico svantaggio sarebbe nella densità di energia dell'idrogeno liquido o gassoso (a pressione utilizzabile) che è significativamente inferiore rispetto ai tradizionali combustibili e quindi necessita di essere compresso a pressioni più elevate in fase di stoccaggio. L'idrogeno ha infatti una bassa densità (pari a $0,0708 \text{ g/cm}^3$ a -253 °C). Questo significa che è necessario un serbatoio abbastanza capiente per immagazzinarlo, anche impiegando energia addizionale per comprimerlo, cosa che comporta problemi di sicurezza per l'alta pressione del gas. Nei prototipi di automobili ad idrogeno vengono usate pressioni dell'ordine degli 800 bar; per confronto si consideri che nelle automobili a metano sono usati circa 200 bar. Il grosso e pesante serbatoio ridurrebbe l'efficienza del veicolo per via del maggiore peso da trasportare. Dal momento che è una molecola piccola ed energetica, l'idrogeno diatomico tende a diffondere attraverso ogni materiale di rivestimento che venga utilizzato per il suo contenimento, portando all'imbibizione di idrogeno dello stesso materiale, oppure indebolendo il suo contenitore. Questo viene chiamato *il problema dell'immagazzinamento o stoccaggio*. Stante l'attuale sviluppo tecnologico, l'idrogeno può essere effettivamente utilizzato a fini energetici come combustibile nei motori a combustione interna utilizzati su alcuni prototipi di auto, i problema però sono vari

- Distribuzione e stoccaggio difficoltosi, costosi e in una certa misura pericolosi.
- Rendimenti inferiori in termini di autonomia del veicolo (causa peso serbatoi altamente pressurizzati)
- Costi altissimi del veicolo modificato.

Le case automobilistiche hanno investito soprattutto sulla tecnologia fuel cell. Fa eccezione soltanto la casa tedesca BMW che ha avviato la progettazione e di automobili a combustione diretta di idrogeno, ad esempio dotate di un motore a idrogeno monovalente caratterizzato da una geometria tipica dei motori Diesel abbinata a un sistema ad iniezione diretta progressiva di acqua ad alta pressione. Secondo i tecnici che hanno partecipato al progetto, il motore a idrogeno BMW raggiunge una efficienza pari al 42% dei migliori Turbodiesel.

Dal punto di vista tecnico, l'unità si basa sulla concezione di una testata per il funzionamento a idrogeno basata su un motore BMW Diesel di normale produzione, capace di sostenere nella camera di combustione l'iniezione diretta dell'idrogeno a pressioni che raggiungono valori elevatissimi, anche di 300 bar, attuata mediante iniettori ad alta pressione. Dai risultati ottenuti nei test al banco si è notato che la soluzione ideale è costituita da una combinazione dei sistemi di accensione a scintilla e di combustione Diesel con accensione in superficie attraverso una candele a incandescenza e della relativa combustione stratificata.



Fig.98 - Prototipo di BMW "Hydrogen 7" .

In realtà pare che BMW abbia deciso di sospendere i tests sulla sua piccola flotta di "Hydrogen 7", ufficialmente perché ormai i dati in suo possesso sono sufficienti, ma in realtà pare sia dovuto al successo dei veicoli elettrici e delle difficoltà di realizzazione di stazioni di rifornimento di idrogeno.

Le pile a combustibile, attualmente in via di sviluppo, sono un modo alternativo per ottenere energia sotto forma di elettricità dall'ossidazione dell'idrogeno senza passare dalla combustione diretta ottenendo una maggiore efficienza in un futuro in cui la produzione di idrogeno potrebbe avvenire da fonti rinnovabili e non più combustibili fossili.

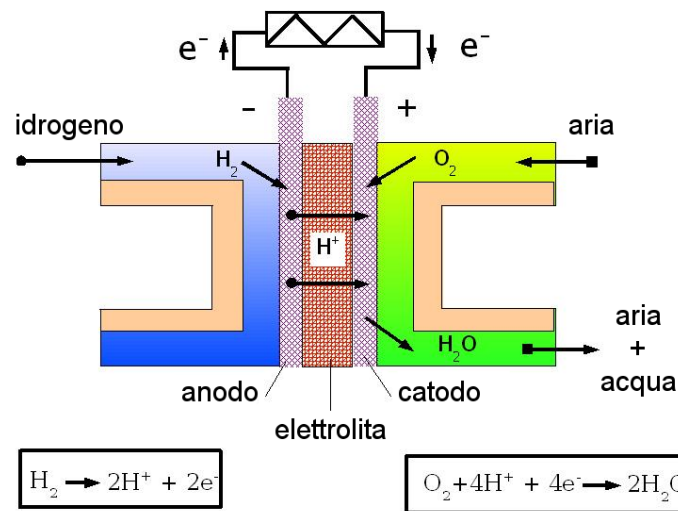


Fig.99 - Schema di funzionamento di una FC.

La pila a combustibile (o *fuel cell FC*) è un dispositivo in grado di utilizzare idrogeno producendo energia elettrica con una buona efficienza, ma con prototipi ancora costosi ed ingombranti. La realizzazione di una fuel cell richiede infatti metalli della serie chimica del platino (estremamente costoso) mentre gli altri materiali provati fino ad ora hanno dimostrato una vita utile troppo breve. Dal momento che la diffusione dell'utilizzo dell'idrogeno come una fonte portatile di energia ha senso soltanto se impiegato in pile a combustibile (la semplice combustione con l'ossigeno atmosferico in motori a combustione interna produce inquinanti come i NO_x, rumore, ed ha una minor resa energetica in termini di efficienza), le persone che auspicano una economia all'idrogeno sperano che i progressi nelle nanotecnologie e nella produzione in serie ridurrà questi problemi in modo di rendere queste pile efficaci in rapporto al loro costo. Infatti fino ad adesso le difficoltà tecnologiche sono enormi.

E' stato lapidario il premio Nobel per la fisica (1976) Burton Richter in merito alle prospettive di sviluppo dell'idrogeno: interrogato sulle problematiche degli stessi, il nobel si è soffermato su tre aspetti fondamentali

- 1) l'idrogeno allo stato attuale della ricerca è troppo costoso da produrre e per produrlo si spende più energia di quella che si ricava. (il veicolo elettrico è anch'esso costoso ma assai

più efficiente, basti pensare che per far raggiungere le 70 miglia orarie ad un mezzo elettrico servono 10,8 W, per una Prius ne servono circa 16,8 , per un veicolo fuel cell ne servono 31);

- 2) le membrane delle celle a combustibile allo stato attuale non hanno la durata richiesta;

- 3) per produrre le celle a combustibile serve platino e l'attuale produzione mondiale non sarebbe sufficiente per produrne abbastanza per equipaggiare 10 milioni di veicoli, che sono una bazzecola rispetto alla domanda mondiale di autoveicoli. Al contrario invece è stato dimostrato che le riserve mondiali di litio situate per due terzi in Bolivia sono ampiamente sufficienti per produrre tutti i veicoli che il mondo vorrà richiedere e che le possibilità di estrazione del litio hanno ampi margini di crescita visto che per ora si estraggono solo dai laghi salati laddove la concentrazione è maggiore. Inoltre con il riciclaggio delle batterie al litio si riesce a recuperare oltre il 66% del litio già utilizzato quindi non esiste un problema di "carenza di litio".

Da questa analisi sono state escluse le ben risapute difficoltà dell'idrogeno legate a pericolosità, trasportabilità, costi e dispendio di energia per mantenerlo allo stato liquido e difficoltà di distribuzione e stoccaggio.

Conclusioni

Da quanto esposto nei capitoli precedenti si possono trarre le seguenti conclusioni:

1. GPL e Metano presentano caratteristiche tecniche (alto potere calorifico, ottima resistenza alla detonazione, ecc..) che li rendono particolarmente interessanti come combustibili da utilizzare nei motori destinati all'autotrasporto.
2. I problemi di produzione, trasporto, stoccaggio e distribuzione dei due combustibili limitano ancora la loro diffusione (soprattutto del Metano, solo parzialmente risolvibili con il LNG), che è invece sempre più favorita dai progressi tecnici nella realizzazione dei relativi impianti di alimentazione, ormai in grado di permettere ai motori di fornire prestazioni del tutto simili a quelle ottenute con i combustibili tradizionali. GPL e Metano nella rete distributiva al cliente scontano una legislazione troppo farraginoso rispetto a quella vigente in Europa, limitandone fortemente la diffusione sul territorio: si auspicano quindi modifiche che portino le regolamentazioni italiane ai livelli internazionali. Grosse restrizioni sono purtroppo persistenti anche nel self-service GPL/Metano e nell'utilizzo di Metano abitativo per uso autotrazione. Sono inoltre allo studio tecnologie produttive che svincolino l'approvvigionamento di Metano dalle grandi linee di trasporto ad alta pressione, investendo sul Biometano, ad esempio.
3. L'aiuto offerto dai due combustibili nel contenere l'impatto sull'ambiente dei relativi mezzi di trasporto, è sintetizzabile con il fatto che essi riducono sia le emissioni di benzene (tipiche dei veicoli a Benzina) sia di particolato (tipiche dei veicoli a Gasolio), tanto da potersi definire ad emissione zero di PM e benzene. Nei loro gas di scarico sono inoltre assenti i prodotti di ossidazione dello zolfo e gli IPA (idrocarburi policiclici aromatici), che sono sospetti cancerogeni. E' quindi consigliabile continuare il rinnovamento delle flotte di autobus cittadini con alimentazione a Metano e nel contempo favorire con incentivi le modifiche di autoveicoli privati a Benzina, tali da renderli BiFuel.

4. L'analisi tecnico-economica della scelta del GPL o del Metano come combustibile in autotrazione - presi alcuni esempi e con le dovute ipotesi iniziali - ha permesso di concludere che in un arco di chilometraggio annuo fino a 25.000 km/anno, il Metano risulta conveniente per alti chilometraggi (> 15.000 km/anno), mentre per bassi chilometraggi (< 5.000 km/anno) lo è la Benzina. Il Gasolio si ritaglia un intervallo medio di chilometraggio annuo (5.000 - 15.000 km/anno) in cui conviene rispetto agli altri 2 combustibili.

5. Per quanto riguarda le soluzioni alternative (uso di: biocombustibili, idrogeno, elettrico ed ibrido), cui attualmente si lavora per risolvere il problema del contenimento del consumo di energia e dell'impatto dei mezzi di trasporto sull'ambiente, si è trovato che:

I **biocombustibili** di prima generazione sono molto interessanti come mezzo per diversificare le fonti di approvvigionamento dell'energia, ma rischiano di ridurre l'estensione dei terreni utilizzabili per la produzione agricola, provocando un aumento del prezzo dei generi alimentari: per superare tale grosso limite, si stanno studiando biocombustibili di seconda generazione, provenienti da colture erbacee e lignee (con alte % di cellulosa e lignina). Inoltre, pur avendo emissioni di inquinanti molto inferiori alle benzine/gasoli tradizionali, sussistono forti dubbi sulle emissioni di composti aldeidici che hanno effetti mutagenici a livello di DNA.

L'**idrogeno** potrebbe risultare conveniente solo come "vettore energetico" cioè come mezzo per immagazzinare e trasportare l'energia (prodotta per altra via) nel luogo in cui occorra utilizzarla, mentre lo è molto meno come combustibile vero e proprio: si è sperimentato da qualche tempo l'idrometano (miscela di H₂ e CH₄), come combustibile di transizione ma senza grosso entusiasmo.

L'**elettrico puro** è probabilmente il futuro dell'autotrazione, ma molti passi in avanti devono essere compiuti per :

- aumentare la vita utile e la densità energetica d'immagazzinamento delle batterie onde aumentare l'autonomia del veicolo alimentato e ridurre i costi di produzione delle stesse;
- predisporre un'efficiente rete di ricarica dei veicoli elettrici, contemplando anche il forte aumento di richiesta di energia elettrica in risposta all'utilizzo massiccio di veicoli elettrici.
- Produrre l'energia elettrica necessaria ai veicoli elettrici tramite fonte rinnovabile o a basse emissioni (nucleare, impianti tradizionali coal/gas con CCS).

L'**ibrido** costituisce una soluzione energeticamente molto interessante in quanto permette di ridurre consumi dei tradizionali motori alimentati a Benzina/Gasolio, ma tuttora risulta costosa e non competitiva con i veicoli BiFuel a Metano/GPL disponibili sul mercato automobilistico.

Bibliografia

- ✓ Andrea Bartolazzi , “*Le energie rinnovabili*” , 2009 , Biblioteca Tecnica Hoepli
- ✓ Giancarlo Ferrari , “*Motori a combustione interna*” , 2008 , Il Capitello
- ✓ Ilario Robusto , “*Combustibili alternativi. Caratteristiche, tecnologie, criteri di scelta e prospettive*”, Landireno Corporate University
- ✓ G. Groppi: *Lezioni di Processi Chimici per l'energia e l'ambiente*
- ✓ P.Silva: *Appunti lezioni di Energie Rinnovabili*
- ✓ P.Chiesa: *Appunti lezioni di Sistemi Energetici Avanzati, Biocombustibili e cattura CO₂*
- ✓ Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, Supervisione Ivo Allegrini, Coordinamento scientifico Lorenzo Bertuccio, Gruppo di lavoro Antonio Parenti, Anna Maria Atzori, Giuseppe Giannone: “*Benefici Ambientali del GPL per autotrazione: Analisi tecnica di politiche integrate*”
- ✓ Ministero dello Sviluppo Economico : Seminario AIEE del 9 Marzo 2010 “*Il settore energetico nel 2009: situazioni e tendenze*” La domanda e l'offerta di gas naturale in Italia nel 2009 , Dipartimento per l'Energia , Direzione generale per la sicurezza dell'approvvigionamento e le infrastrutture energetiche
- ✓ Ministero dello Sviluppo Economico : “*Prezzi del GN per uso domestico/industriale 2009*”
- ✓ Ministero dello Sviluppo Economico , Dipartimento per l'Energia, Direzione generale per la sicurezza dell'approvvigionamento e le infrastrutture energetiche : “*BEN - Bilancio Energetico Nazionale 2009*”
- ✓ Ministero delle attività Produttive , Direzione Direzione Generale Energia e Risorse Minerarie, “*Scenario tendenziale dei consumi e del fabbisogno al 2020*” , 2005

- ✓ ENI , “*World Oil and Gas Review*” , 2010
- ✓ Department of Energy, Alternative fuels & advanced Vehicles data center:
<http://www.afdc.energy.gov>
- ✓ Regione Lombardia , Direzione Generale Commercio, Turismo e Servizi , “*Trend di crescita della rete metano, Giugno 2011*”
- ✓ Regione Lombardia , Direzione Generale Commercio, Turismo e Servizi , “*Programma di sviluppo del Biometano in Lombardia nella IX Legislatura*” 2010
- ✓ Progetto Bionet, COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO - CTI Energia e Ambiente
“*Manuale sui Biocarburanti per Autotrazione*” 2006-2008
- ✓ Landi Renzo, documentazione tecnica cartacea, sito : <http://www.landit.it>
- ✓ Sipatech srl , azienda trattamento biomasse per produzione di biocombustibili,
documentazione cartacea, sito: <http://www.sipatech.com/>
- ✓ Enciclopedia degli Idrocarburi , ENI Treccani
- ✓ Unione Europea , Settore Energia “*EU strategy for biofuels*”
- ✓ Unione Europea , Regolamenti Internazionali ECE n°67/01 , 110 , 115
- ✓ La *Rivista dei Combustibili* edita da S.S.C. (Stazione Sperimentale per i Combustibili)
- ✓ International Energy Agency I.E.A. , “*Natural Gas Market Review 2009 - Gas in a World of Uncertainties*”
- ✓ “*Strumenti Tecnologici per la Riduzione delle Emissioni da autoveicoli* ” , C.Buratti , E.Moretti

Sitografia

- ✓ Bionet, Sito realizzato dal COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO - CTI Energia e Ambiente nell'ambito del progetto “ *Bio-Nett : Developing local supply chain networks for linking Bio-fuel producers with public sector users*”
- ✓ Progetto Comunitario BIOGASMAX : <http://www.biogasmax.eu/>
- ✓ Landi Renzo SpA : <http://www.landit.it>
- ✓ BRC Group : <http://www.brc.it/>
- ✓ ICOM Italia : <http://www.icomitalia.it/>
- ✓ EcoMotori : <http://ecomotori.net>
- ✓ Metanoauto : <http://www.metanoauto.com/>
- ✓ Omniauto : <http://www.omniauto.it/>
- ✓ Quattroruote : <http://www.quattroruote.it/>
- ✓ Trendmotori : <http://www.trendmotori.com>