



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

TESI DI LAUREA

**VEICOLI AD ARIA COMPRESSA: TECNOLOGIA E
POTENZIALITÀ PER UNA NUOVA MOBILITÀ SOSTENIBILE**

Relatore: Chiar.mo Prof. Ing. Luca Della Lucia

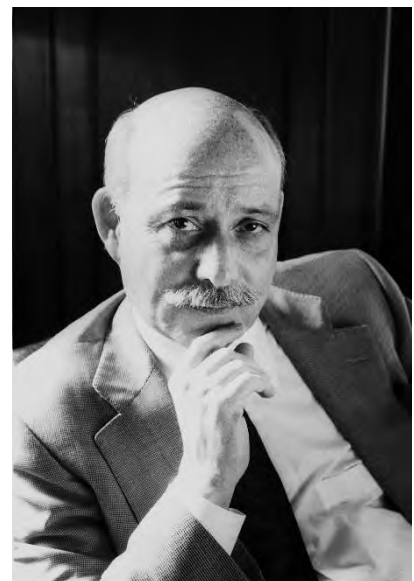
Laureando: Matteo Faccin

matr. 1014178

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

“Conservare nel modo migliore possibile la dotazione limitata di risorse che ci è stata lasciata e rispettare nel modo migliore il ritmo naturale che governa il processo del divenire significa esprimere il nostro amore supremo per ogni forma di vita che seguirà. Essere consapevoli di questa duplice responsabilità costituisce il primo stadio da un sistema di colonizzazione a un sistema eco-compatibile.”

JEREMY RIFKIN



RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione della tesi. In particolar modo il mio relatore, il Prof. Luca della Lucia, per i preziosi insegnamenti durante il corso di studi e per aver stimolato la mia curiosità nell'ambito dei sistemi di trasporto.

Vorrei ringraziare l'Ing. Gianluca Zanovello per avermi dato la possibilità di conoscere il mondo dell'aria compressa e per tutti gli insegnamenti giornalieri che mi riserva.

Un grande ringraziamento all'amico Andrea Tiloca per la complicità e la presenza durante tutto il mio percorso di studi.

Un sentito ringraziamento ai miei amici più cari che hanno reso più piacevoli questi anni universitari e mi sono stati di supporto quando ne ho avuto di bisogno.

Un grande grazie ai miei parenti e nonni che mi hanno sostenuto con il loro affetto.

Ma soprattutto desidero ringraziare i miei genitori, mia sorella e la mia splendida ragazza che hanno sempre creduto in me, mi sono stati vicini e mi hanno sostenuto anche nei momenti più difficili.

A te che da lassù mi proteggi
e che oggi saresti fiero “del tuo capo”.

Sommario:

1	INTRODUZIONE	1
2	IL PROBLEMA DELLA SOSTENIBILITÀ DEL TRASPORTO	3
2.1	ENERGIA SOSTENIBILE	3
2.2	INQUINAMENTO ATMOSFERICO E POLVERI SOTTILI	7
2.3	TRAFFICO IN ITALIA	9
2.4	CRISI E “CAMBIO MODALE”	12
3	LA MOBILITÀ SOSTENIBILE: UNA SVOLTA ALL’ATTUALE MODO DI TRASPORTO	15
3.1	LA MOBILITÀ SOSTANIBILE	15
3.2	AUTOMOBILI CON ALIMENTAZIONE ALTERNATIVA	18
3.2.1	AUTO ELETTRICA.....	18
3.2.2	IONI DI LITIO	20
3.2.3	LE PILE A COMBUSTIBILE E L’IDROGENO	21
3.2.4	LA SFIDA DELLE FUEL CELL	22
3.2.5	AUTO ENERGIA SOLARE	24
3.2.6	LE AUTOMOBILI IBRIDE.....	25
3.3	DIFFUSIONE VEICOLI ALTERNATIVI A LIVELLO EUROPEO	26
3.4	DIFFUSIONE VEICOLI ALTERNATIVI A LIVELLO ITALIANO.....	29
4	GENERALITÀ E STORIA DELL’ARIA COMPRESSA	32
4.1	L’ARIA COMPRESSA E LA LOCOMOZIONE	37
4.2	PRODUZIONE DELL’ARIA COMPRESSA.....	42
4.2.1	COMPRESSORI A PISTONI	46
4.2.2	COMPRESSORI A MEMBRANA.....	47
4.2.3	COMPRESSORI A PALETTE	48
4.2.4	COMPRESSORE A LOBI (ROOTS)	49

4.3	COMPRESSORE A VITE ELICOIDALE.....	50
4.4	TRATTAMENTO DELL'ARIA COMPRESSA.....	51
4.5	STOCCAGGIO DELL'ARIA COMPRESSA	57
5	AUTOMOBILI AD ARIA COMPRESSA.....	62
5.1	TERRY MILLER	65
5.2	DA EOLO AD AIRPOD: LE INVENZIONI DI GUY NEGRE	66
5.2.1	AIRPOD	68
5.3	LA TECNOLOGIA DELL'AUTO AD ARIA COMPRESSA SVILUPPATA DA MDI.....	73
5.3.1	IL MOTORE.....	73
5.3.2	LE BOMBOLE PER LO STOCCAGGIO DELL'ARIA	78
5.3.3	CARROZZERIA E SICUREZZA.....	80
5.3.4	PRESTAZIONI E GUIDABILITA'	82
5.3.5	SISTEMI DI RICARICA.....	83
5.4	AUTO AD ARIA COMPRESSA IN AUSTRALIA.....	85
5.5	IBRIDI AD ARIA COMPRESSA	89
6	RENDIMENTO DELLE AUTO AD ARIA COMPRESSA MDI.....	92
6.1.1	AUTO AD ARIA COMPRESSA MDI VS AUTO ELETTRICHE.....	98
7	CONCLUSIONI	104
	BIBLIOGRAFIA.....	107
	SITOGRAFIA.....	108

1 INTRODUZIONE

Con questo lavoro di tesi abbiamo voluto raccogliere elementi per indagare le nuove applicazioni di una vecchia tecnologia dalle notevoli potenzialità e prospettive nel campo della mobilità. Recenti acquisizioni, ricerche e sperimentazioni rilanciano l'antica tecnologia dell'aria compressa quale vettore energetico per la propulsione dei veicoli.

Si tratta di una tecnologia le cui applicazioni sembrano offrire nuove potenzialità in diversi ambiti soprattutto in considerazione dei requisiti di semplicità, economicità e rendimento energetico. Aspetti che la rendono addirittura concorrenziale rispetto alle tecnologie legate alla mobilità elettrica che non possono prescindere dall'onerosità tecnologica ed ambientale degli accumulatori: le batterie.

Nell'Unione europea, il settore dei trasporti riguarda un giro d'affari annuo di circa 1.000 miliardi di euro, pari ad oltre il 10% del prodotto interno lordo, e dà lavoro a più di dieci milioni di persone. Dal 1970 al 2000, il trasporto passeggeri – in termini di passeggeri/km – è cresciuto del 126%, quello delle merci – in termini di tonnellate/km – è cresciuto del 120%. Questa continua crescita non è però priva di conseguenze negative, che si manifestano in termini di impatti ambientali, economici e sociali. Soprattutto gli impatti ambientali stanno assumendo una rilevanza crescente a causa dei danni alla salute umana e all'ambiente. Si tratta di impatti che agiscono non solo a livello locale, ma anche a livello globale: nell'Unione europea, il settore dei trasporti è responsabile del 35% dei consumi energetici e del 21% delle emissioni di gas serra. Queste emissioni sono aumentate di circa il 25% dal 1990 e rischiano di compromettere il conseguimento degli obiettivi di sostenibilità globale fissati dagli accordi internazionali. Il costo ambientale dei trasporti è attualmente stimato all'1,1% del PIL dell'Unione europea.¹

Proprio perché gli impatti della mobilità producono effetti globali, le strategie per rendere sostenibile il sistema dei trasporti devono trovare un'efficace guida a livello sovra nazionale e una corretta soluzione a livello locale. L'interdipendenza tra globale e locale si fa tanto più

¹ Sitografia [19]

forte in quanto la problematica della mobilità si addensa in larga misura nei nodi urbani: le città sono i luoghi dove le interazioni spaziali si intensificano e, al contempo, sono i nodi della rete globale dell'insediamento umano. Il tema della mobilità sostenibile fa emergere in primo piano il tema del governo delle città e del percorso virtuoso che esse devono intraprendere per divenire sistemi localmente e globalmente più sostenibili. Nella definizione di questo percorso non si può evitare di fare riferimento alla strategia comune elaborata dell'Unione europea. La mobilità sostenibile è una delle tematiche sulle quali l'Unione europea è da tempo impegnata nella messa a punto di una strategia comune che chiama in causa i vari Paesi membri, i loro governi nazionali, regionali e locali. La strategia comune europea è ormai diventata il principale terreno per il trasferimento delle migliori pratiche, il luogo di incontro più importante per trasferire quell'innovazione e quel "saper fare", che sono indispensabili per affrontare le sfide della sostenibilità. La politica della mobilità è una delle più complesse tra quelle che competono agli enti locali e l'obiettivo della sua sostenibilità pone una delle sfide più ardue. Una mobilità più sostenibile richiede un impegno convinto ed innovativo della rete delle città e delle aree metropolitane europee nell'adottare politiche di sistema, che solo un comune impegno a livello europeo può fornire.

2 IL PROBLEMA DELLA SOSTENIBILITÀ DEL TRASPORTO

2.1 ENERGIA SOSTENIBILE

La Strategia Energetica Nazionale (SEN)² è il frutto di un ampio processo di consultazione pubblica, avviata a metà ottobre 2012 con l'approvazione in Consiglio dei ministri del documento di proposta e proseguita con il confronto fino a dicembre di tutte le istituzioni rilevanti e di oltre 100 tra associazioni di categoria, parti sociali e sindacali, associazioni ambientaliste e di consumatori, enti di ricerca e centri studi.

Rispetto al documento posto in consultazione a ottobre, sono stati recepiti numerosi contributi.

Tra i più rilevanti, si menzionano:

- maggiore esplicitazione delle strategie di lunghissimo periodo (fino al 2050), in coerenza con la Roadmap di decarbonizzazione europea, e delle scelte di fondo per la Ricerca e sviluppo;
- quantificazione dei costi e benefici economici della strategia per il Sistema, in particolare per i settori elettrico e gas;
- definizione più precisa delle Infrastrutture Strategiche gas, con particolare riferimento al dimensionamento di nuovi impianti di stoccaggio e di rigassificazione, con garanzia di copertura costi in tariffa, necessari per garantire l'allineamento strutturale dei prezzi gas a quelli UE e a far fronte alle accresciute esigenze di sicurezza delle forniture (in uno scenario geopolitico sempre più complesso);
- più precisa descrizione delle misure di accompagnamento alla cosiddetta "grid parity" delle Rinnovabili elettriche (segnatamente del Fotovoltaico), una volta terminato il sistema incentivante attuale;
- migliore definizione degli strumenti previsti per accelerare i miglioramenti nel campo dell'efficienza energetica (ad esempio, certificati bianchi, PA, standard obbligatori, certificazione);
- più chiara definizione dei possibili miglioramenti della governance del settore

² Benigno Melzi d'Eril, *Energia Sostenibile: quattro gli obiettivi, I quaderni dell'aria compressa. Mensile di prodotti, tecniche, applicazioni, trattamento e normative dell'aria compressa, EMME. Cl. Sas – Anno XVIII – n. 11/12 Novembre/Dicembre 2013;*

Le azioni proposte nella strategia energetica - che ha un doppio orizzonte temporale di riferimento: 2020 e 2050 - puntano a far sì che l'energia non rappresenti più, per il nostro Paese, un fattore economico di svantaggio competitivo e di appesantimento del bilancio familiare, tracciando un percorso che consenta, al contempo, di migliorare fortemente gli standard ambientali e di "decarbonizzazione" e di rafforzare la nostra sicurezza di approvvigionamento, grazie ai consistenti investimenti attesi nel settore.

La realizzazione della strategia proposta consentirà una evoluzione graduale ma significativa del sistema e il superamento degli obiettivi europei "20-20-20". Questi i risultati attesi al 2020, in ipotesi di crescita economica in linea con le ultime previsioni (ndr. marzo 2013) della Commissione Europea:

- significativa riduzione dei costi energetici e progressivo allineamento dei prezzi all'ingrosso ai livelli europei. In particolare, è possibile un risparmio di circa 9 miliardi di euro l'anno sulla bolletta nazionale di elettricità e gas (pari oggi a circa 70 miliardi). Questo è il risultato di circa 4-5 miliardi l'anno di costi addizionali rispetto al 2012 (legati a incentivi a rinnovabili/efficienza energetica e a nuove infrastrutture) e circa 13,5 miliardi l'anno di risparmi includendo sia una riduzione dei prezzi e degli oneri impropri che oggi pesano sui prezzi (a parità di quotazioni internazionali delle commodities), sia una riduzione dei volumi (rispetto a uno scenario di riferimento inerziale)
- superamento di tutti gli obiettivi ambientali europei al 2020. Questi includono la riduzione delle emissioni di gas serra del 21% rispetto al 2005 (obiettivo europeo: 18%), riduzione del 24% dei consumi primari rispetto all'andamento inerziale (obiettivo europeo: 20%) e raggiungimento del 19-20% di incidenza dell'energia rinnovabile sui consumi finali lordi (obiettivo europeo: 17%). In particolare, ci si attende che le rinnovabili diventino la prima fonte nel settore elettrico al pari del gas con un'incidenza del 35-38%;
- maggiore sicurezza, minore dipendenza di approvvigionamento e maggiore flessibilità del sistema. Si prevede una riduzione della fattura energetica estera di circa 14 miliardi di euro l'anno (rispetto ai 62 miliardi attuali, e meno 19 rispetto alle importazioni tendenziali 2020), con la riduzione dall'84 al 67% della

dipendenza dall'estero. Ciò equivale a circa 1% di Pil addizionale e, ai valori attuali, sufficiente a riportare in attivo la bilancia dei pagamenti, dopo molti anni di passivo;

- impatto positivo sulla crescita economica grazie ai circa 170-180 miliardi di euro di investimenti da qui al 2020, sia nella green e white economy (rinnovabili ed efficienza energetica), sia nei settori tradizionali (reti elettriche e gas, rigassificatori, stoccaggi, sviluppo idrocarburi). Si tratta di investimenti privati, solo in parte supportati da incentivi e con notevole impatto in termini di competitività e sostenibilità del sistema.

Per il raggiungimento di questi risultati, la strategia si articola in sette priorità con specifiche misure concrete a supporto avviate o in corso di definizione:

- promozione dell'efficienza energetica, strumento ideale per perseguire tutti gli obiettivi sopra menzionati e su cui il potenziale di miglioramento è ancora significativo;
- promozione di un mercato del gas competitivo, integrato con l'Europa e con prezzi ad essa allineati, e con l'opportunità di diventare il principale Hub sud-europeo;
- sviluppo sostenibile delle energie rinnovabili, per le quali intendiamo superare gli obiettivi europei ("20-20-20"), contenendo al contempo l'onere in bolletta;
- sviluppo di un mercato elettrico pienamente integrato con quello europeo, efficiente (con prezzi competitivi con l'Europa) e con la graduale integrazione della produzione rinnovabile;
- ristrutturazione del settore della raffinazione e della rete di distribuzione dei carburanti, verso un assetto più sostenibile e con livelli europei di competitività e qualità del servizio;
- sviluppo sostenibile della produzione nazionale di idrocarburi, con importanti benefici economici e di occupazione e nel rispetto dei più elevati standard internazionali in termini di sicurezza e tutela ambientale;
- modernizzazione del sistema di governance del settore, con l'obiettivo di rendere più efficaci ed efficienti i nostri processi decisionali.

In aggiunta a queste priorità, soprattutto in una ottica di più lungo periodo, il documento enfatizza l'importanza e propone azioni d'intervento per le attività di ricerca e sviluppo tecnologico, funzionali in particolare allo sviluppo dell'efficienza energetica, rinnovabili e all'uso sostenibile di combustibili fossili.

2.2 INQUINAMENTO ATMOSFERICO E POLVERI SOTTILI

L'*inquinamento atmosferico* è l'alterazione delle condizioni naturali dell'aria, dovuta alle emissioni dei gas di scarico di autoveicoli, caldaie, centrali elettriche, fabbriche, impianti di incenerimento. Le sostanze inquinanti più diffuse in atmosfera sono il biossido di zolfo (SO₂), gli ossidi di azoto (NO_x), il monossido di carbonio (CO), l'ozono, il benzene, gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA), le polveri (soprattutto il particolato di diametro inferiore a 10 milionesimi di metro, il Pm₁₀) e il piombo. Il problema dell'inquinamento atmosferico si concentra soprattutto nelle aree metropolitane, dove il traffico, gli impianti industriali e il riscaldamento degli edifici hanno effetti dannosi sulla qualità dell'aria e sulla salute degli abitanti.

Uno degli inquinanti più pericolosi per l'uomo e più diffusi nelle città è il Pm₁₀: uno studio realizzato dall'Organizzazione mondiale della sanità ha stimato che nei grandi centri italiani, a causa delle concentrazioni di particolato sottile superiori ai 20 µg/m³, muoiono oltre 8 mila persone ogni anno. E uno dei principali responsabili dell'inquinamento da Pm₁₀ è il traffico urbano: i trasporti stradali, infatti, producono più di un quarto del totale delle emissioni. E la metà circa degli ossidi di azoto, del monossido di carbonio e del benzene presenti nell'aria delle città. Per gli ossidi di zolfo, invece, la fonte primaria è il settore industriale, e soprattutto la produzione di energia, cui si devono i 3/4 del totale delle emissioni. Se il traffico urbano è il grande nemico dell'aria delle città, i maggiori responsabili sono soprattutto le automobili, che contribuiscono, sul totale emesso dal trasporto stradale, ad un terzo del Pm₁₀, al 40% circa degli NO_x, a due terzi del benzene e della CO₂.

Chiamati a dare un giudizio sull'intensità del traffico e sui livelli di inquinamento dell'aria nella propria zona di residenza, i cittadini italiani assegnano un voto medio, in scala da 1 a 10, superiore seppur di poco alla sufficienza: 6,01 per la valutazione sul traffico e 6,13 per quella sui livelli di inquinamento nell'area in cui si vive (rilevazioni dell'Osservatorio "Audimob" di Isfort)³.

³ ISFORT: *Limitare la circolazione delle auto? Per i cittadini si può fare*, Osservatorio Audimob, osservatori sui comportamenti di mobilità degli italiani, Istituto Superiore Formazione e ricerca per i trasporti, <http://www.isfort.it>, 2011

I giudizi di soddisfazione variano tuttavia molto in base alla dimensione urbana. Chi abita nei piccoli centri è decisamente più soddisfatto dei livelli di traffico e di inquinamento della sua area; in particolare tra i residenti nei piccolissimi comuni (meno di 5mila abitanti) i punteggi medi salgono a 7,21 per il giudizio sullo smog e a 6,99 per quello sul traffico. Viceversa, nelle città di maggiore ampiezza demografica (oltre 250mila abitanti) l'insoddisfazione si impenna: 5,46 è il voto medio sul traffico e 5,13 quello sui livelli di inquinamento.

Ancora più negative le valutazioni di chi risiede nelle più importanti aree metropolitane del Paese, dove la percezione dei problemi della congestione e dello smog assume ormai forme preoccupanti: le punte più critiche a Milano per la qualità dell'aria (4,07; va decisamente meglio la valutazione media dei romani pari a 5,63) e a Palermo per le condizioni del traffico (4,85; a Torino invece il punteggio medio meno negativo con 5,93).

In media i cittadini assegnano alle misure attivate dai propri organi di governo locale il voto di 5,36.

Anche in questo caso il giudizio si modifica in relazione all'ampiezza demografica delle città di residenza degli intervistati. Nei piccolissimi centri (sotto i 5mila abitanti) si registra la sufficienza (6,09), mentre al crescere delle dimensioni delle città e man mano che dal nord Italia ci si sposta verso il sud, l'apprezzamento per l'azione amministrativa sulla mobilità tende costantemente a diminuire. Se infatti in Piemonte il voto medio si attesta a 6,12 (5,57 considerando il solo capoluogo) nelle regioni meridionali non supera mai il tetto della sufficienza, con valori pari, ad esempio, a 4,6 in Sicilia (3,82 a Palermo) e a 4,34 in Campania (4,28 a Napoli).

2.3 TRAFFICO IN ITALIA

In Italia la caratterizzazione del traffico è influenzata dall'uso del mezzo proprio sia per gli spostamenti casa-lavoro sia per i spostamenti casa-studio. Questo comporta problemi di traffico e quindi il conseguente bisogno di realizzare nuove infrastrutture per sopperire ad una nuova richiesta di strutture viarie. A questo sono collegate una serie di conseguenze: occupazione del suolo, problemi di inquinamento atmosferico e acustico.

Ogni giorno in Italia, secondo i dati ISTAT, gli spostamenti quotidiani coinvolgono oltre trenta milioni di persone, di cui più di undici milioni sono gli individui che fanno il tragitto casa-studio (in questa categoria sono compresi dai bambini dell'asilo o, come si chiama adesso, scuola dell'infanzia ai studenti universitari), e altre venti milioni di lavoratori.⁴

La maggior parte delle persone (il 73,6 per cento degli studenti e l'87,7 per cento degli occupati) usa un mezzo di trasporto privato, in particolar modo l'automobile (il 41,4 per cento degli studenti e il 75,5 degli occupati).

Da questo resoconto ISTAT emerge che sono gli studenti coloro che usano di più il mezzo di trasporto pubblico (34,1 per cento), molto meno i lavoratori (10,3 per cento) e le analisi rivelano che le caratteristiche del fenomeno sono sostanzialmente stabili nel tempo.

La percentuale di persone che esce di casa per recarsi al luogo di lavoro o di studio viene stimata con i dati di questa indagine che rileva, con cadenza annuale, aspetti fondamentali della vita quotidiana e dei comportamenti delle famiglie e degli individui in Italia. L'indicatore riporta la percentuale di persone che dichiarano di uscire di casa per recarsi al lavoro, all'asilo, scuola o università per modalità di spostamento distintamente per studenti e occupati in riferimento a un giorno "tipo".

Altri dati interessanti per fare un quadro sulla situazione della mobilità italiana vengono forniti dall'ISFORT (Istituto Superiore Formazione e Ricerca per i Trasporti) nel "Rapporto congiunturale di fine anno", dell'osservatorio "Audimob" (osservatorio sui comportamenti di mobilità degli italiani) del 2011, che riporta i dati sulla ripartizione modale e l'andamento rispetto agli anni precedenti. Il rapporto mostra una diminuzione generale della domanda di mobilità rispetto all'anno precedente e definisce così una sorta di "crisi della mobilità".

⁴ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Una leva per la ripresa, 10° Rapporto sulla mobilità in Italia*, <http://www.isfortopmus.it>, Bologna, 2013;

Alcuni indicatori base della domanda di mobilità degli italiani, infatti, presentano valori tra i più bassi da quando sono iniziate le rilevazioni dell'Osservatorio "Audimob", mentre altri evidenziano una crisi che si alimenta all'interno di una spirale ribassista: minore crescita, minore occupazione, minore ricchezza, minori opportunità di godere del proprio tempo libero e, appunto, minore domanda di mobilità.

In questo contesto ad arretrare, come valore assoluto degli spostamenti, sono tutte le diverse modalità di trasporto, anche se non tutte con la stessa intensità. In particolare è molto accentuata la diminuzione degli spostamenti a piedi o in bici (-22,3%), che in valore assoluto vanno ad attestarsi a meno di 20 milioni, il livello più basso mai registrato da Audimob. Altrettanto rilevanti i segni negativi per gli spostamenti con i mezzi individuali: -15% per la moto e -12,2% per l'automobile (i 4,4 milioni di viaggi in moto e i 69,7 milioni di viaggi in auto sono ugualmente i livelli più bassi della serie storica Audimob). Quanto al trasporto pubblico, la contrazione degli spostamenti è più contenuta, ma tutt'altro che marginale (-7,9%). In termini di share modale ciò determina una crescita del trasporto collettivo, che nel 2011 raggiunge l'11,4% dal 10,7% del 2010, così come dell'auto (dal 64,3% al 65,6%), la stabilità delle due ruote motorizzate (4,2% sia nel 2010 che nel 2011) e la diminuzione del peso della mobilità a piedi (dal 20,8% al 18,8%). Nelle grandi città il trasporto pubblico, considerando i soli spostamenti motorizzati, segna un +3,7%, di spostamenti che spinge la quota modale del 2011 verso il tetto del 30% (28,4% per l'esattezza).

Anche le propensioni dichiarate all'uso futuro dei diversi mezzi di trasporto evidenziano nel complesso un atteggiamento di maggiore attesa e di ripiegamento da parte degli italiani. Nel 2011, così come nei precedenti due anni, cresce la percentuale di persone che dichiara di voler diminuire l'uso dell'automobile: nello specifico, dal 34,5% del 2009 si passa al 35,4% del 2010 e al 36,4% del 2011.⁵ Allo stesso tempo diminuisce la percentuale di chi pensa ad un incremento dell'utilizzo (dal 6,4% al 5,9%) determinando, quindi, un saldo pari a -30,4% (era -29,2%) in termini di propensione alla modifica dei comportamenti d'uso dell'auto. Dinamiche simili si osservano per le moto (da +9% a +4,6%, in termini di

⁵ ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Poca luce in fondo al tunnel come ripartire dopo la crisi, 11° Rapporto sulla mobilità in Italia*, <http://www.isfortprogetti.it>, Roma, 2014;

differenza tra aumentare e diminuire l'uso) e, a differenza di quanto riportato nel precedente rapporto congiunturale annuale, per il trasporto pubblico (da +38,1% a +36,2%), che mantiene tuttavia una percentuale di persone che indica l'idea di prendere più spesso l'autobus, il treno, ecc. largamente maggioritaria (40,2%).

Tra i più propensi alla riduzione dell'uso dell'auto si notano gli uomini (dal 39,8% del 2010 al 41,2% del 2011), coloro con un'età compresa tra 30 e 45 anni (dal 41,2% al 42,3%) e i lavoratori dipendenti (dal 42,9% al 44,6%). Queste stesse categorie sono anche quelle che ipotizzano nel 2011 un maggior uso del trasporto pubblico (rispettivamente 41,7%, 42,1% e 44,3%).

Considerando, infine, la distinzione del campione per caratteristiche territoriali, si nota che la propensione alla riduzione dell'uso dell'auto cresce in quasi tutte le aree del Paese, solo nel NordOvest sia ha una modesta contrazione dell'indicatore (il saldo arretra da -32,2% a -31,6%). Con riferimento al trasporto pubblico e alle dimensioni demografiche delle città si registra, invece, un'eccezione alle dinamiche medie generali: nelle città con una popolazione comprese 20mila e 50mila abitanti il saldo cresce dal +35,8% del 2010 al +36,5% del 2011.

In termini generali i diversi mezzi di trasporto registrano livelli medi di soddisfazione superiori nel 2011 rispetto al 2010, con voti mai inferiori alla sufficienza, proseguendo quindi sulla strada individuata nei precedenti studi congiunturali. Un'unica eccezione, gli autobus extraurbani che nel confronto temporale vedono il proprio gradimento diminuire (dal 6,82 del 2010 al 6,69 del 2011). Le bici e le moto continuano a godere di un livello di apprezzamento particolarmente elevato, il voto si attesta ben oltre l'8, così come le auto che nel 2011 riescono "sfondare" la soglia dell'otto attestandosi sull'8,19 (7,96 nel 2010). La maggiore crescita tra il 2010 e il 2011 è da attribuire appunto alle auto (+0,23) seguite dai treni a lunga percorrenza (+0,15 con un voto nel 2011 vicino al 7).

Nella distinzione del campione per elementi socio-anagrafici, emerge la crescita del livello di apprezzamento delle auto ovunque, con punte dello 0,35 in corrispondenza dei disoccupati; anche il voto ai mezzi pubblici di superficie urbani segna un incremento pari, ad esempio, allo 0,27 nel caso degli occupati in conto proprio (6,14 nel 2011).

Occorre, infine, segnalare la crescita dei livelli di soddisfazione per le diverse tipologie di mezzo nel Nord-Ovest (ad eccezione dell'autobus extraurbano), così come nelle città con più di 250mila abitanti, unico caso tuttavia dove il voto alla metropolitana non presenta un miglioramento (7,47 sia nel 2010 che nel 2011).

2.4 CRISI E “CAMBIO MODALE”

Come sono cambiate le scelte dei mezzi di trasporto da parte degli italiani nei tempi della crisi? Diversi segnali emersi da sondaggi, indagini strutturate, statistiche sull'acquisto e sull'uso delle auto o sulla diffusione delle biciclette, inchieste giornalistiche, segnali per di più amplificati e consolidati da un diffuso sentire comune, sembrano preparare il terreno ad una risposta non equivoca: gli italiani in tempi di crisi, con meno soldi in tasca e costretti ad organizzare la personale spending review dei propri consumi hanno lasciato l'auto in garage tutte le volte che hanno potuto e per spostarsi sono saliti di più sull'autobus o sul treno, oppure hanno riscoperto la mobilità efficacemente definita da qualcuno – in opposizione all'aggettivo “dolce” cui spesso si associa - come mobilità “muscolare”, ovvero hanno fatto più tragitti a piedi o in bicicletta.

E' questo uno scenario indotto dalla crisi più che da una consapevole modifica delle abitudini d'uso dei mezzi di trasporto, ma che contiene in se una formidabile opportunità di rimodellamento degli stili di mobilità nel nostro Paese. Un vero e proprio nuovo “format” si verrebbe a profilare, un format ad elevata capacità di risparmio di risorse economiche - la scelta dei mezzi vira con decisione al low cost , energetiche, ambientali. E con associati guadagni per i cittadini in termini di sicurezza - il rischio incidentalità resta elevato per pedoni e ciclisti, ma si abbatte drasticamente per chi sceglie un mezzo pubblico al posto dell'automobile o della moto, e di salute (meno inquinamento e più esercizio fisico).

A guardare la misura delle variazioni registrate nel quadro della mobilità degli italiani sembra che nel 2013 poco sia cambiato. Eppure, proprio le pieghe di modulazioni

apparentemente modeste delle serie storiche disegnano uno scenario potenzialmente nuovo per il trasporto dei passeggeri.⁶

Tre indicatori, sopra a tutti, lasciano presagire l'apertura di un nuovo ciclo.

In primo luogo, secondo le stime dell'Osservatorio "Audimob" di Isfort la domanda di mobilità ha invertito il trend negativo nel quale era sprofondata da ormai quattro anni ed ha messo un segno positivo: +2,8% di spostamenti, +9,6% di passeggeri*km. Un incremento non marginale, insufficiente tuttavia a recuperare i livelli pre-crisi. Ma di straordinaria importanza: si inverte una lunga fase recessiva, in un anno, il 2013, ancora in profondo rosso per l'economia italiana (-1,9% di PIL, -2,6% di consumi delle famiglie).

In secondo luogo, la mobilità sostenibile non intercetta questa linea di ripresa della domanda e anzi tende ad un pericoloso arretramento. Da un lato, i modi di trasporto senza motore, e in particolare la mobilità pedonale, subiscono un'ulteriore erosione della propria quota modale - in declino ormai da diversi anni -, scendendo al 17,1% del totale delle percorrenze; dall'altro lato il trasporto pubblico nel suo insieme registra nel 2013 una diminuzione dei passeggeri nell'ordine del -1,9% (circa mezzo milione in meno nel giorno medio feriale) e la sua quota modale riferita ai soli mezzi motorizzati scende al 13,6%, dal 14,3% del 2012, interrompendo una striscia positiva che proseguiva dal 2007 (con un'unica pausa nel 2009). Viceversa, l'automobile nel 2013 torna a guadagnare mercato, sia in valore assoluto (+4,1% di passeggeri), sia nella quota modale motorizzata (dall'82% del 2012 all'82,7% del 2013).

In terzo luogo, dal lato dell'offerta (i dati si fermano al 2012) continua la progressiva erosione della quantità di servizi di trasporto pubblico erogati (-2,8% nel 2012, -4,4% nel triennio 2010-2012) e, contestualmente, continua la riduzione dei passeggeri trasportati (-3,2% nel 2012, -4,5% nel triennio 2010-2012). L'indagine condotta su un sottocampione di aziende conferma che anche nel 2013 si è registrato un segno negativo nell'andamento dei passeggeri (attorno al -4%), confermando le stime di "Audimob".

⁶ ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Poca luce in fondo al tunnel come ripartire dopo la crisi, 11° Rapporto sulla mobilità in Italia*, <http://www.isfortprogetti.it>, Roma, 2014;

Per riassumere: i consumi di mobilità ripartono, il trasporto sostenibile riduce l'offerta di servizi, perde passeggeri e peggiora il "modal split".

Lo stesso trasporto pubblico risulta essere fermo. Questo dimostra l'assoluta necessità, da un punto di vista ambientale e di sicurezza, di politiche di investimento tese al rinnovo del parco autobus che possano rispondere alla domanda di servizi di trasporto pubblico efficiente e pulita, davvero concorrenziale all'uso del mezzo privato.

Il parco autobus italiano adibito al trasporto pubblico urbano ed extraurbano nel 2013 è caratterizzato per classi di emissione Pre Euro 0, Euro 0, Euro 1 (che rappresentano ancora il 12% del parco urbano e il 19% di quello extraurbano), Euro 2 (30% per urbano e 27% per extraurbano) ed Euro 3 (29% per entrambi i comparti), e una buona fetta del parco, a livello aggregato, ha alimentazione alternativa (28% dei veicoli urbani e 25% per quelli operanti nell'extraurbano).

Risulta confermata per il 2013 la prevalenza dei veicoli alimentati a gasolio (86,25%), il metano continua ad affermarsi come una reale alternativa ecologica ai tradizionali autobus diesel: il 10,95% degli autobus ecologici nelle aziende campione sono a metano.

I veicoli elettrici e la versione ibrida rappresentano, a livello generale, rispettivamente un 1,85% e un 0,46% del parco mezzi totale.

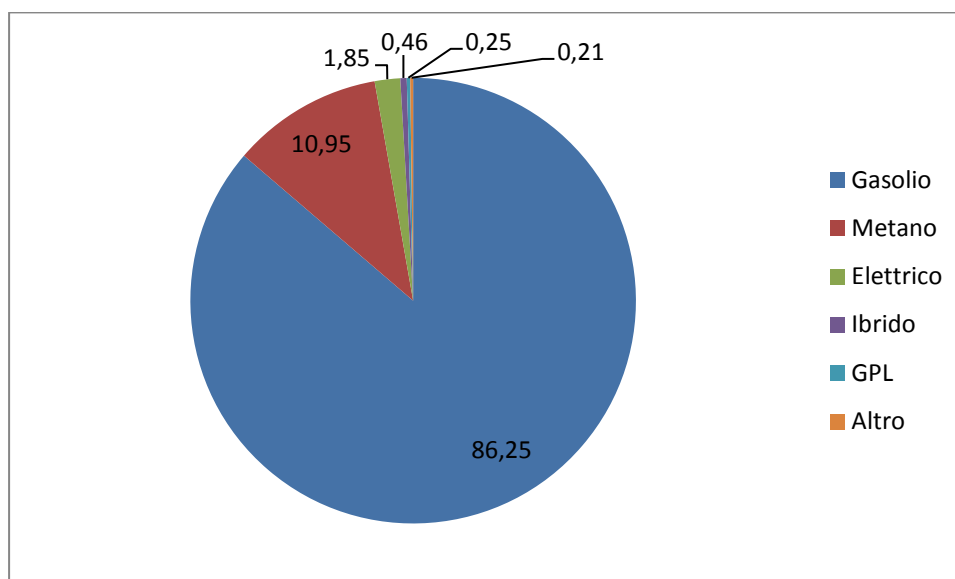


Figura 2-1 Panorama automobilistico italiano in relazione al vettore energetico utilizzato (fonte ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Poca luce in fondo al tunnel come ripartire dopo la crisi*, 11° Rapporto sulla mobilità in Italia, <http://www.isfortprogetti.it>, Roma, 2014)

3 LA MOBILITA' SOSTENIBILE: UNA SVOLTA ALL'ATTUALE MODO DI TRASPORTO

3.1 LA MOBILITÀ SOSTANIBILE

La **mobilità sostenibile** è un sistema di mobilità urbana in grado di conciliare il diritto alla mobilità con l'esigenza di ridurre l'inquinamento e le esternalità negative, quali le emissioni di gas serra, lo smog, l'inquinamento acustico, la congestione del traffico urbano e l'incidentalità. Queste esternalità hanno un costo sociale che grava su tutti. Possono essere rimosse soltanto con una adeguata regolamentazione mediante intervento pubblico. In Italia la mobilità sostenibile è stata introdotta con il Decreto Interministeriale Mobilità Sostenibile nelle Aree Urbane del 27/03/1998. La normativa non ha però raggiunto i risultati sperati. I problemi relativi alla mobilità sono stati spesso demandati alle amministrazioni locali, senza un vero e proprio piano di intervento a livello nazionale e sovranazionale.⁷

Attualmente gli interventi di mobilità sostenibile possono considerarsi ancora alla fase sperimentale. Elenchiamo i principali:

- **Trasporto pubblico locale.** E' la prima storica forma di mobilità sostenibile. Veicoli adibiti al trasporto di massa consentono di ridurre l'utilizzo dei mezzi privati. Il TPL è senz'altro il sistema di trasporto più sicuro, In genere lo Stato interviene a supporto di questo settore con azioni, investimenti, progetti e iniziative volte ad aumentarne l'attrattiva da parte degli utenti, attuali e potenziali.
- **Corsie preferenziali.** Queste corsie sono autorizzate soltanto ai mezzi pubblici (autobus, tax, mezzi di emergenza). Permettono di creare due forme di scorrimento, congestionata per i mezzi privati e scorrevole per quelli pubblici o di pubblico intervento.
- **Piste ciclabili.** In alcune città del Nord Europa sono la vera alternativa all'automobile. Le piste ciclabili sono situate a lato delle strade e riservate esclusivamente alle biciclette. Città come Amsterdam dimostrano come questa scelta sia praticabile e a

⁷ Sitografia [3]

basso costo. Non è però adatta ovunque, soltanto nelle città pianeggianti o con bassi dislivelli. In Italia è in aumento la costruzione di piste ciclabili che permettono un uso sempre più ampio delle biciclette, in modo da poter contribuire alla lotta contro l'inquinamento dell'aria. Legambiente ha provveduto anche ad elaborare una graduatoria dei comuni italiani che si sono distinti in questo senso e le città più virtuose in tema di piste ciclabili sono Reggio Emilia e Lodi, accompagnate da Modena, Mantova, Vercelli, Cremona, Forlì, Ravenna, Cuneo, Ferrara, Piacenza e Padova. Non mancano però a questo proposito i casi che fanno discutere. Nella città di Milano il 65% delle piste ciclabili non sono a norma di legge presentando, tra le inadeguatezze più palesi, segnali sbagliati, corsie interrotte o che finiscono nel traffico, marciapiedi da condividere con i pedoni.

- **Pedaggio urbano.** L'accesso a pagamento a strade o zone urbane. Trova la sua massima applicazione nel Road Pricing che estende il pagamento del ticket a tutte le automobili in entrata nella città. La London congestion charge è il pedaggio che devono pagare gli automobilisti per poter accedere nelle zone del centro di Londra designate come Congestion Charge Zone. Il provvedimento ha l'obiettivo di scoraggiare l'utilizzo dei mezzi privati, ridurre il traffico e ricavare fondi per investimenti nel trasporto pubblico. Il pedaggio fu introdotto, dall'allora sindaco Kenet Livingtone (soprannominato "Ken il rosso") il 17 febbraio 2003 nella parte centrale della città e venne esteso ulteriormente in alcune zone ad ovest del centro nel febbraio 2007.
- **Park pricing (o parcheggi a pagamento).** L'applicazione di ticket orari sui parcheggi tende ad aumentare il costo di utilizzo dell'automobile privata e facilita l'accesso al parcheggio per soste di breve periodo. In Italia sono conosciute come 'strisce blu'. Questa forma di intervento è adatta soprattutto nelle aree centrali della città. Crea invece malcontento nelle aree sub-urbane e periferiche.
- **Car sharing e Car pooling.** Questi servizi sono basati sul principio dell'auto privata per uso collettivo. Nel caso del Car Sharing l'automobile è noleggiata per poche ore presso le apposite società e riconsegnata al termine del suo utilizzo. Nel caso del Car Pooling l'automobile è di proprietà di un privato che la mette a disposizione per

compiere tragitti casa-lavoro insieme ad altre persone, spesso conoscenti o colleghi, con la stessa esigenza di orario e di percorso.

- **Mobility Manager.** E' una figura quasi mitologica. E' stata introdotta nel 1998 con la funzione di analizzare le esigenze di mobilità dei dipendenti delle aziende pubbliche e private, agevolare il car-pooling e sincronizzare gli orari lavorativi con quelli del trasporto pubblico. La figura del Mobility Manager è particolarmente importante perché consente di dare risposte di breve periodo ai problemi della congestione del traffico e delle sue conseguenze sulla salute. Il Mobility Manager, infatti, opera sul governo della domanda di trasporto, lavorando in particolare sugli spostamenti sistematici e sui comportamenti delle persone. Al contrario, l'ente locale, tradizionalmente, ha un ruolo più orientato all'offerta e alla pianificazione. I mobility manager partecipano a riunioni e incontri con le amministrazioni locali per migliorare la viabilità e il trasporto. La nomina di un mobility manager nelle aziende private è soltanto facoltativa e pertanto la norma è rimasta inattuata.
- **Blocco del Traffico.** Il momentaneo blocco del traffico urbano è una misura di emergenza per ridurre il traffico veicolare e le emissioni inquinanti. Non risolve il problema. L'intervento mira a vietare l'uso dell'automobile per far provare forme di mobilità alternative e più sostenibili (es. trasporto pubblico). Il blocco del traffico può essere parziale o totale. In caso di blocchi ripetuti nel tempo viene applicato sotto forma di blocco per 'targhe alterne' (pari o dispari) o per tipologia di veicolo (euro0, euro1, euro2, euro3, euro4).⁸

⁸ Maurizio Melis, "Eco & green car. Guida all'auto ecologica e sostenibile", Il Sole 24 Ore Libri, 2012.

3.2 AUTOMOBILI CON ALIMENTAZIONE ALTERNATIVA

Il futuro dell'auto si gioca tutto su due aspetti principali: l'efficienza energetica e la tecnologia per rendere più sicuro e piacevole l'esperienza d'uso del veicolo.

Con il tendenziale aumento dei costi derivati dall'uso dei combustibili fossili si stanno valutando nuove forme di energia capaci di spingere il veicolo, riproducendo le stesse performance (magari incrementandole) di cui dispongono i veicoli attuali.

3.2.1 AUTO ELETTRICA

Gli accumulatori con piombo e acido solforico non sono la soluzione più indicata; pesano troppo e per muovere una vettura occorrono pacchi da 10/20 unità e fanno sorgere tre ordini di problemi: l'autonomia, la ricarica e lo smaltimento. Le batterie sono molto inquinanti, vanno ricaricate frequentemente e sostituite ogni due anni. Occorre, infatti, che siano in grado di fornire energia per lungo tempo e attualmente l'autonomia è confinata in un paio di centinaia di chilometri. Decisamente troppo poco, senza considerare anche le prestazioni scarse a causa del peso della vettura e della limitata erogazione di corrente. Le batterie vanno dunque ricaricate con frequenza e si pone il macroproblema della produzione di energia necessaria: si può, da un lato, ricorrere alla rete domestica/industriale dove la corrente è prodotta da centrali a gas, a carbone, a olio combustibile, oppure nucleari (non in Italia) o idroelettriche. È possibile anche impiegare centrali non massive (eoliche e solari), magari sfruttare l'energia elettrica di origine fotovoltaica prodotta in loco grazie a pannelli posti sui tetti delle abitazioni. E in questo caso la ricerca si sta concentrando sull'incremento dell'efficienza delle celle. Lo smaltimento di batterie tradizionali è poi antiecológico: la vettura, è vero, non produce emissioni durante la marcia, ma il piombo e l'acido contenuti nelle sue batterie, che vanno sostituite tutte in breve tempo (18-24 mesi al massimo) comporta fenomeni di inquinamento.⁹

Esistono anche prototipi singolari che sono riusciti a destare curiosità nel panorama internazionale. Lo sanno bene i produttori californiani di **Tesla Motors**, che con la Tesla

⁹ Sitografia [27]

Roadster hanno creato un'auto con un'autonomia di 340 km, che accelera **da 0 a 100 km/h in 3,7 secondi**, superiore a quella di una Ferrari 575M Maranello e raggiunge i 201 km/h.

Non solo supercar, anche le marche di auto più abbordabili stanno cominciando a produrre qualcosa di serie alla portata di (quasi) tutti.

È l'esempio di **BMW** che con le sue **i3** e **i8** sta commercializzando un'automobile a batteria ricaricabile capace di avere un'autonomia di 130/160 chilometri, più adatta ai percorsi cittadini. Grazie ad una serie di tecnologie proprie è possibile una ricarica veloce in grado di caricare la batteria fino all'80% in meno di 30 minuti. Dotata di un motore da 125 kW/170 cv accelera da 0 a 60 km/h in meno di quattro secondi e raggiunge i 100 km/h in meno di otto secondi. Il prezzo è l'unica nota dolente di questo modello e si aggira sui 40.000 euro per la versione base.

Anche la **FIAT** con la **500 BEV** sta investendo con l'**elettrico**: dall'autonomia superiore ai 240 Km con una sola carica, sfrutta una migliore aerodinamica e il sistema di recupero dell'energia cinetica accumulata in frenata per mantenere bassi i consumi. Per "fare il pieno" occorrono quasi 10 ore e una normale presa elettrica ma scendono a 4 in caso di una ad alto voltaggio. La 500 elettrica ha una velocità massima di 145 km/h ed è in grado di "scattare" da 0 a 100 Km/h in 10 secondi.

Unica nota dolente anche in questo caso è il **prezzo** che sarà ben superiore a quello della versione benzina. La data di commercializzazione non è ancora disponibile e fa la sua comparsa da almeno 3 anni nelle varie fiere di auto USA, segno che non è semplice fare un modello di questo tipo contendo il prezzo.¹⁰

¹⁰ Sitografia [12]

3.2.2 IONI DI LITIO

I primi risultati sui prototipi sono incoraggianti. Utilizzando la tecnologia in uso per telefoni cellulari e notebook si ottiene elevata autonomia e peso contenuto. I costi sono ancora molto elevati, ma in discesa costante. Quasi tutte le case automobilistiche e i fornitori si trovano d'accordo: la tecnologia delle batterie agli ioni di litio rappresenta la scelta preferenziale per l'immagazzinamento dell'energia per i motori elettrici del futuro. Facendo un confronto con la tecnologia a nichel-metallo idruro, utilizzata finora, emerge che la tecnologia agli ioni di litio produce una densità di potenza maggiore. Inoltre, grazie all'alta tensione nominale, questa soluzione è caratterizzata anche da un'elevata densità energetica. Di conseguenza, la tecnologia agli ioni di litio permette all'auto di percorrere distanze notevolmente più lunghe e garantisce un peso ridotto. Tra i molteplici vantaggi di questo modello di batterie ricordiamo anche i cicli di durata e di vita maggiori e una velocità di scaricamento estremamente lenta, principali fattori che ne determinano la grande diffusione nel settore dell'elettronica di consumo, ampiamente integrate in miliardi di laptop, cellulari ed elettrodomestici.

Tuttavia, i vincoli per il loro impiego nei veicoli sono sempre più rigorosi: la batteria deve essere perfettamente operativa in ambienti caratterizzati da temperature sia artiche sia tropicali. Inoltre, se un'auto è coinvolta in un incidente, la batteria non deve costituire un'ulteriore fonte di pericolo. Di conseguenza, le attività di progettazione di SB LiMotive non puntano solo a incrementare la densità di energia e di potenza o a prolungare i cicli di durata e di vita, ma anche ad adattare la nuova tecnologia ai sempre più esigenti standard di sicurezza del settore.

Nissan LEAF è dotata di una batteria agli ioni di litio che garantisce ai veicoli elettrici performance e autonomia ottimali.¹¹

¹¹ Sitografia [12]

3.2.3 LE PILE A COMBUSTIBILE E L'IDROGENO

La ricerca scientifica si sta concentrando sull'evoluzione degli accumulatori: l'obiettivo è aumentare la capacità delle batterie utilizzando tecnologie mutate da quelle in degli accumulatori usati nei cellulari con sistemi basati su pile agli ioni di litio. In effetti, l'autonomia dei telefonini è aumentata a dismisura e le batterie sono più piccole che in passato, ma gran parte del merito è del progresso della microelettronica che ha permesso di costruire circuiti con un limitato assorbimento elettrico, perché in realtà la capacità degli accumulatori non è migliorata di molto, tant'è che alcuni protagonisti dell'elettronica di consumo stanno studiando pile a combustibile. Già, le celle a combustibile che sono indicate come il futuro dell'auto elettrica e l'elemento cardine di quella rivoluzione dell'idrogeno ora tanto di moda, ma dalle poco solide fondamenta economiche e di fattibilità industriale.

L'idrogeno può essere utilizzato in due modi. Bruciato dentro i cilindri di comuni propulsori a combustione interna, la strada preferita da Bmw, oppure sfruttato per alimentare celle a combustibile che producono l'energia elettrica in gran quantità per alimentare motori elettrici.¹²

¹² Sitografia [12]

3.2.4 LA SFIDA DELLE FUEL CELL

La ricerca tecnologica punta sulla riduzione degli ingombri, dei pesi e dei costi. I problemi, infatti, sono enormi e vertono principalmente sull'impiego dell'idrogeno, un gas che non esiste libero in natura ma va prodotto, scindendo molecole di acqua o ottenuto dagli idrocarburi. Per fare questo occorre spendere energia, e questo limita il rendimento complessivo, e altra energia va spesa per immagazzinarlo a pressioni elevatissime (oltre i 300 bar!) perché a pressione ambientale per conservare un chilo di idrogeno occorre un serbatoio grande come un'intera autobotte. La ricerca scommette da tempo su serbatoi-spugna ma i costi sono esorbitanti e la strategia sembra essere quella di andare per gradi, un passo alla volta, magari utilizzando la via intermedia della conversione di idrocarburi a bordo del veicolo.

Le vetture a fuel cell presentano molti vantaggi rispetto a veicoli con motore a ciclo otto o con propulsione elettrica e accumulatori. Qualora questi generatori elettrochimici siano alimentati direttamente da idrogeno si realizza uno Zev (Zero emission vehicle) o, se si usano gli altri schemi, un veicolo a emissioni quasi nulle (Near zero-emission vehicle - Nzev).

DaimlerChrysler, il costruttore che più di tutti crede alla sfida delle fuel cell, ha prima sviluppato la serie di prototipi Nekar, l'ultimo dei quali utilizzava generatori alimentati a metanolo. Un'altra strada per evitare l'uso diretto dell'idrogeno, insieme a quella di utilizzare un reformer alimentato da un comune idrocarburo, soluzione questa non troppo conveniente nel bilancio energetico complessivo. L'obiettivo di DaimlerChrysler e delle altre case automobilistiche (Fiat con la 600, Ford con Focus per esempio) è non fermarsi: continuare a progettare prototipi e arrivare vicini alla produzione di serie. Mercedes dopo le Nekar adesso ha costruito la Classe A F-Cell con idrogeno contenuto in un serbatoio a 350 bar. L'auto funziona, è efficiente, costa ancora uno sproposito ma è un passo avanti verso la produzione di serie e l'avvio delle vendite.

La configurazione con idrogeno a bordo è più semplice rispetto a quella che prevede la trasformazione, tuttavia vi sono problemi di costi, di distribuzione e di sicurezza. La ricerca è orientata a comprimere fino a 2-300 bar l'idrogeno in serbatoi speciali oppure a utilizzare idrogeno liquido (sistema che è però molto costoso) o, ancora, usare "spugne" di idruri metallici.

La seconda architettura - produzione di idrogeno a bordo con conversione di idrocarburi, anche benzina - pare essere una scelta più praticabile nel breve termine poiché i derivati del petrolio continuerebbero a mantenere un ruolo importante nell'autotrazione. La terza ipotesi, che richiede ancora affinamenti e ricerche, è l'utilizzo delle cosiddette Dmfc (celle a combustibile polimeriche a metanolo diretto) dove il combustibile non è idrogeno bensì metanolo. In questo modo si semplifica la struttura e si riducono i costi eliminando serbatoi e reformer.

Ad ogni modo le emissioni sono comunque molto più contenute rispetto ai propulsori tradizionali e i rendimenti più elevati benché i progressi sui diesel (common rail) e sull'iniezione diretta di benzina potrebbero rendere i "vecchi" motori ancora competitivi.¹³

¹³ Sitografia [12]

3.2.5 AUTO ENERGIA SOLARE

In generale i prototipi di auto solare sono stati costruiti con una forma aerodinamica tale da ridurre la resistenza all'aria, con l'involucro esterno costruito con plastiche speciali per assicurarne la leggerezza senza comprometterne la robustezza. La superficie dell'auto è ricoperta di pannelli solari ad alta efficienza. I pannelli fotovoltaici disposti sulla superficie dell'auto convertono l'energia solare in energia elettrica che viene accumulata in batterie di vario tipo, che a loro volta vanno ad alimentare il motore elettrico. Quest'ultimo trasformerà l'energia elettrica in lavoro meccanico trasmesso alle ruote.

In soluzioni avanzate, sull'auto viene disposto un triplo strato di pannelli, in modo che la luce, e quindi l'energia, che oltrepassa il primo strato di celle può essere raccolta dal secondo o addirittura dal terzo strato. Inoltre sull'auto sono presenti piccoli dispositivi che garantiscono le migliori prestazioni dalla batteria e dai pannelli solari anche quando l'auto è all'ombra o quando il cielo è nuvoloso. Un opportuno dispositivo elettronico viene collegato a un pc di bordo, che tiene conto sia dell'erogazione di potenza da parte delle celle solari (che naturalmente dipende dalle condizioni meteorologiche), sia dell'erogazione dovuta alle batterie. In seguito a questo bilancio, il voltaggio con il quale le batterie vengono caricate attraverso le celle solari viene modificato per ottimizzare il rendimento. Tali veicoli possono raggiungere una velocità di circa 150 km/h e il loro peso è dell'ordine di 300 chilogrammi.

3.2.6 LE AUTOMOBILI IBRIDE

Negli ultimi anni i motori, in particolare, hanno fatto passi da gigante, e a patto di non esagerare cioè la potenza specifica, come sta avvenendo ora, i turbodiesel con iniezione diretta ad accumulo di carburante (common rail e iniettore pompa) garantiscono prestazioni esuberante e bassi consumi. Ma si può fare di più con le vetture ibride, spinte cioè da gruppi motopropulsori che abbinano un motore elettrico con uno a combustione interna. Il primo per la marcia in città, il secondo quando si richiedono prestazioni più elevate come in autostrada, oppure tutte e due lavorano in tandem per offrire più spunto. Il risultato è una vettura dall'impatto ambientale minimale, concorrenziale, soprattutto se si utilizza un motore diesel con le celle a combustibile nel bilancio complessivo dal pozzo alle ruote, «*from well to wheel*».

La macchina ibrida non è un sogno del futuro, esiste già e si può comprare. Anche in Italia. Si chiama Toyota Prius e si basa su una tecnologia che ora Ford utilizza in licenza, contribuisce a sviluppare e ha montato su un fuoristrada Explorer in vendita negli Stati Uniti da qualche mese. Il successo di Prius e gli innegabili vantaggi della tecnica ibrida hanno spinto la connazionale Honda a introdurre la sua Insight anche in europa all'interno di un piano che coinvolge l'Italia e comporterà la vendita anche di versioni "hybrid" della popolare Jazz, mentre negli Usa è in vendita una versione ibrida della grossa berlina Accord. Anche i costruttori europei si sono accorti che l'ibrido è probabilmente un'architettura vincente e attualmente sostenibile: bassi consumi, impatto ambientale limitato e addirittura nullo durante la marcia completamente elettrica. Ed ecco che da Renault a Psa, fino a Mercedes, si moltiplicano iniziative e progetti per l'ibrido made in Europe.

Sembra che le energie alternative ai carburanti fossili ci siano, anche se le soluzioni sono ancora incerte, tutto dipenderà dal prezzo. Se si arriverà ad un punto di non ritorno con i carburanti tradizionali il mercato si rivolgerà sicuramente a queste nuove tecnologie, che diventando di riferimento faranno scattare la competizione e di conseguenza, l'abbassamento dei prezzi.¹⁴

¹⁴ Sitografia [27]

3.3 DIFFUSIONE VEICOLI ALTERNATIVI A LIVELLO EUROPEO

La diffusione dei veicoli ecologici, siano essi auto elettriche o ibride plug-in, è in costante aumento in tutto il mondo, anche se a velocità variabili. Anche se il tasso di crescita è molto alto a livello percentuale, quando il discorso si sposta sui numeri assoluti è chiaro che le cifre delle quali si parla sono molto lontane dalle vendite di veicoli a benzina o a diesel.

“EV Obsession”¹⁵ ha pubblicato alcune interessanti statistiche che riguardano proprio le vendite di auto elettriche "pure" e di ibride plug-in in Europa nel corso di tutto il 2013. Come si può vedere, stiamo parlando di valori nel range delle migliaia, quando non delle centinaia. Per facilitare la visualizzazione del grafico si sono eliminate le ultime tre nazioni della graduatoria, ossia Irlanda (58 auto elettriche vendute nel 2013), Islanda (53) e Finlandia (48).

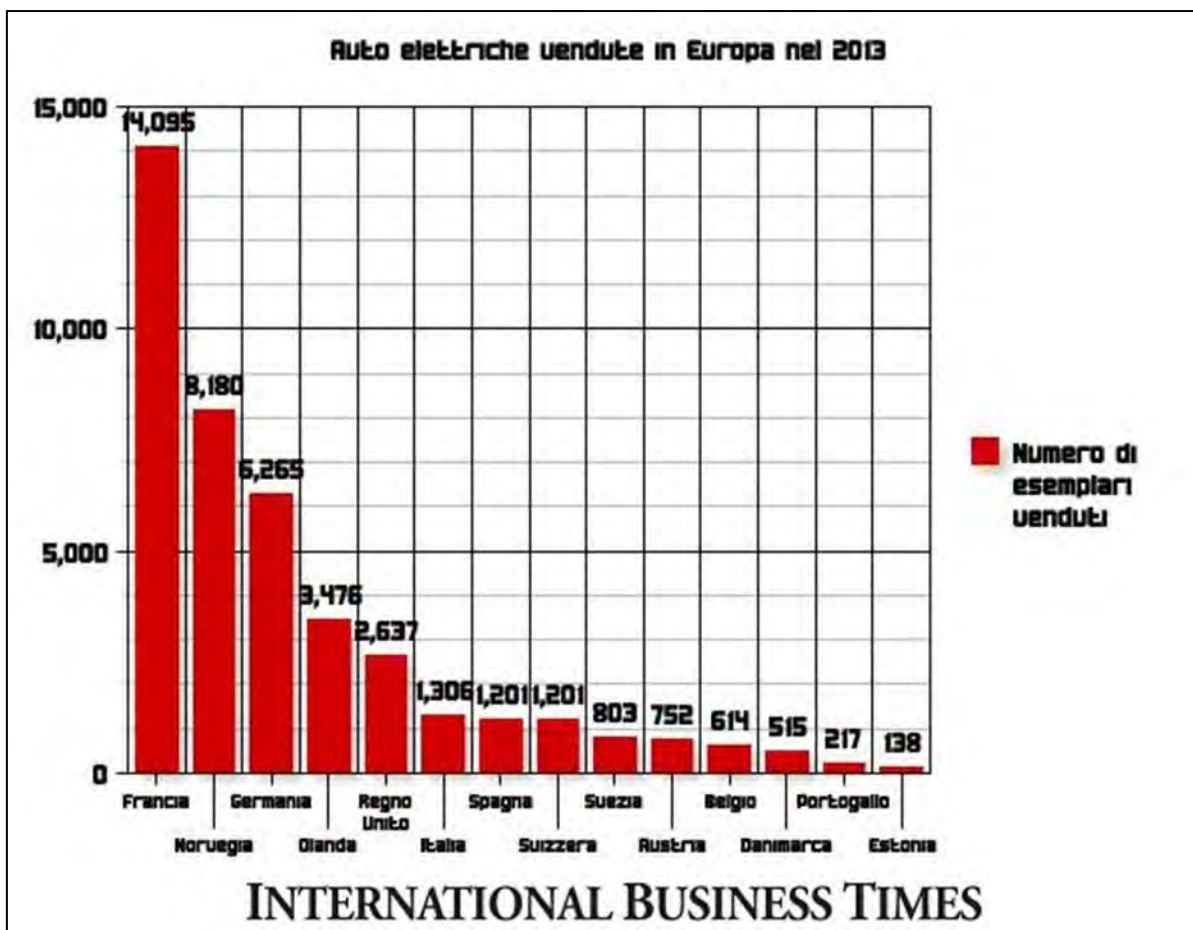


Figura 3-1 Auto elettriche vendute in Europa nel 2013 (Fonte EV Obsession)

¹⁵Zachary Shahan, Ranking European Countries On 2013 Electrified Car Sales, <http://evobsession.com/ranking-european-countries-2013-electrified-car-sales/>, 2014.

La Francia si conferma quindi come un mercato in fortissima crescita per il settore delle auto elettriche "pure", ed è l'unica nazione europea a superare (abbondantemente) la soglia dei 10.000 esemplari venduti. Decisamente notevole la prestazione della Norvegia, seconda in questa classifica, con le sue 8.180 auto elettriche vendute nel 2013: si tratta di un risultato da tenere in grande considerazione comparato al dato francese, se si pensa che tutta la Norvegia ha meno della metà degli abitanti della sola area metropolitana di Parigi. L'Italia si difende, con 1.306 esemplari venduti che ci pongono al 6° posto in Europa. Il grafico sottostante si riferisce invece alle vendite di auto ibride plug-in in Europa nel 2013, ed in questo caso è stato necessario eliminare l'Olanda, che con il suo eccezionale dato (19.673 auto ibride vendute nel 2013) avrebbe reso illeggibili le cifre relative alle altre nazioni. Questo è dovuto agli importanti incentivi offerti dal governo, che consentono ai proprietari di questi veicoli di avere **l'esenzione totale dal pagamento dell'iscrizione nel registro e del bollo di circolazione.**

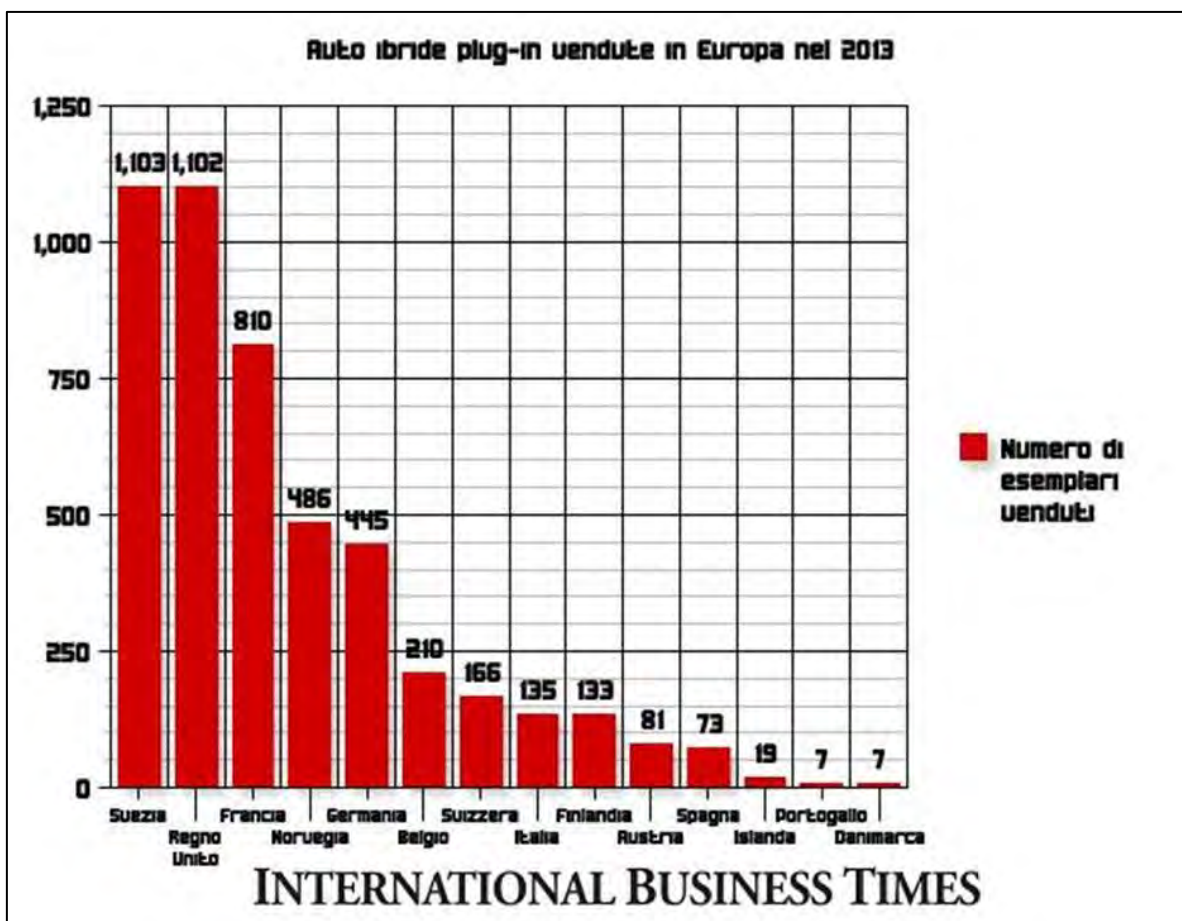


Figura 3-2 Auto ibride plug-in vendute in Europa nel 2013 (Fonte EV Obsession)

Anche in questo caso **la graduatoria è dominata dai paesi dell'Europa settentrionale**, con la Francia a rappresentare l'unica eccezione proveniente dall'area mediterranea. L'Italia si dimostra un mercato con una certa resistenza alle auto ibride plug-in, con appena 135 esemplari venduti in tutto il 2013.

Il "dominio" olandese nel campo delle ibride è assolutamente schiacciante. Basti pensare che gli esemplari venduti in tutti gli altri paesi presi in considerazione sono stati 4.777, ossia meno di un quarto delle vendite nei soli Paesi Bassi.

Questi grafici non tengono ovviamente in considerazione il dato degli abitanti di un paese, che se incrociato con quello delle vendite (veicoli venduti per abitante) darebbe una classifica ben diversa. **Gli stati scandinavi occuperebbero stabilmente i piani alti della graduatoria** insieme all'Olanda, e Francia, Germania e Regno Unito vedrebbero decisamente ridimensionati i loro dati di vendita.¹⁶

¹⁶ Sitografia [7]

3.4 DIFFUSIONE VEICOLI ALTERNATIVI A LIVELLO ITALIANO

Analizzando i dati del nostro paese troviamo che le immatricolazioni dei veicoli elettrici, infatti, sono al lumicino e registrano numeri e percentuali ridicole sul totale: nel 2012, se ne sono vendute appena 524, con una penetrazione dello 0,037% sull'immatricolato complessivo e anche nel 2013 le cose non sono andate meglio: nel periodo gennaio-maggio i risultati sono stati, rispettivamente, di 251 unità e dello 0,041%. Non che all'estero si possa gridare al miracolo, ma i nostri numeri fanno davvero riflettere se paragonati, per esempio, a quelli della Francia (dove nel 2012 sono stati immatricolati 6.067 esemplari di auto a batteria con una penetrazione dello 0,3%) oppure della Norvegia (3.883 unità) che, con un 2,8% sul totale, è il mercato con il più alto tasso di immatricolazioni di veicoli elettrici puri. Quanto alle infrastrutture di ricarica, poi, da noi la situazione è, se possibile, ancora peggiore: le colonnine installate in Italia risultano in tutto appena 458. Ma a preoccupare forse di più è la loro concentrazione (o meglio, rarità), visto che quasi la metà (precisamente 252) sono ubicate a Milano, Firenze e Roma (rispettivamente 48, 138 e 66), con intere regioni elettricamente "deserte". Una situazione ben diversa, insomma, a confronto con le quasi 4mila colonnine in esercizio in Paesi più piccoli del nostro come la Danimarca e l'Olanda, oppure alle oltre 2mila del Regno Unito e a quelle giapponesi, che sono 14mila, delle quali circa 4mila offrono già la modalità di ricarica rapida. In altre parole, il nostro ritardo è, su tutti i fronti, abissale. I motivi che stanno alla base dell'handicap italiano sono stati durante un interessante convegno organizzato dall'"Energy & Strategy Group" del Politecnico di Milano che ha presentato il 2° "Smart Grid Report", un voluminoso rapporto sullo stato delle soluzioni di storage e dell'auto elettrica in Italia. Uno dei principali motivi del nostro ritardo è, secondo il rapporto, la mancanza di incentivi adeguati all'acquisto delle auto a basse emissioni ed elettriche, finora dimostratisi insufficienti sia come quantità di fondi complessivamente a disposizione (40 milioni di euro per il 2013 e appena 35 per il 2014), sia come modalità di erogazione, visto che si è deciso di legare l'ottenimento del bonus, qualora l'acquirente del nuovo veicolo sia un'azienda, alla rottamazione di uno usato con più di 10 anni di vita. Che l'interesse dei potenziali acquirenti sia vivo e che siano proprio gli incentivi a essere insufficienti pare dimostrato dal fatto che la parte dei 40 milioni di euro destinata a bonus per l'acquisto di veicoli a batteria senza obbligo di rottamazione (solamente 1,5 milioni di euro in tutto) è andata esaurita

quasi subito: insomma, un certo numero di consumatori è disposto a sostenere il ruolo di "early adopters" nei confronti dell'auto elettrica e tale numero aumenterebbe sicuramente se le somme in gioco fossero complessivamente più consistenti. Un altro serio ostacolo sulla strada dell'auto elettrica è la lentezza nell'avvio dei programmi di realizzazione delle infrastrutture di ricarica previsti dal "Piano Nazionale Infrastrutturale" (legge 134 del 7 agosto 2012), con due dei cinque progetti pilota finora ammessi all'incentivazione pubblica praticamente fermi e gli altri tre che registrano percentuali di completamento molto basse rispetto a quelle previste. Su questo fronte, gli impedimenti sono legati alle difficoltà nel coinvolgimento delle amministrazioni comunali e nell'introduzione di veicoli elettrici nelle flotte-pilota, nonché allo scarso utilizzo delle (poche) colonnine di ricarica già installate da parte degli utenti. Le ottimistiche previsioni sulla diffusione dell'auto elettrica in Italia elaborate nel recente passato parlavano di 2-3,5 milioni di veicoli immatricolati e circolanti per il 2020. Per raggiungere tale valore, da oggi a quella data si rende necessario uno scenario di mercato in cui almeno il 50% delle vetture del segmento "A" ("piccole") e almeno il 20% di quella del segmento "B" ("utilitarie") vendute ogni anno, pari complessivamente a circa 300mila unità, sia a trazione elettrica, alle quali si dovrebbe aggiungere almeno un altro 25% dei veicoli complessivamente immatricolati dalle flotte aziendali (altre 70mila unità l'anno). Infine, sarebbe necessario che tutti i capoluoghi di provincia provvedessero a dotarsi di un servizio di car sharing elettrico basato su una flotta di 15mila veicoli. Come si vede, si tratta di numeri del tutto fantascientifici rispetto a quelli, assai crudi, che si registrano sul mercato oggi sul mercato dell'elettrico e agli scenari futuri ragionevolmente prevedibili. Tuttavia, risulterebbe altrettanto deludente e poco credibile anche una previsione "rivista" al ribasso, basata su una percentuale di immatricolazioni rispetto al mercato totale simile a quella della Norvegia (circa il 3%), ossia il Paese dove il mercato dell'auto elettrica è più florido. Se anche in Italia le immatricolazioni procedessero con un trend simile, si arriverebbe a circa 50mila veicoli l'anno (più facilmente, intorno ai 40mila), con un parco circolante di veicoli a batteria al 2020 stimabile dunque in non più di 350mila unità. Ossia, appena un misero 10-20% dei 2-3,5 milioni ipotizzati solo poco tempo fa. Come si vede, anche questo appare una previsione a dir poco irrealistica. E lo diventa ancora di più se si tiene conto che i risultati norvegesi di oggi si accompagnano, anzi, sono resi possibili grazie

a un rapporto veicoli elettrici circolanti/colonnine pubbliche di ricarica pari a circa 4:1. Assumendo tale valore come ragionevole anche per noi, se ne deduce che da qui al 2020 l'Italia dovrebbe installare sul suo territorio qualcosa come circa 100mila colonnine. Cioè, un miraggio praticamente irraggiungibile anche con il più audace e dispendioso piano di elettrificazione della rete stradale del quale, peraltro, non esiste alcuna traccia nei progetti governativi.¹⁷

¹⁷ Sitografia [15]

4 GENERALITÀ E STORIA DELL'ARIA COMPRESSA

L'aria compressa altro non è che la comune aria la quale, con l'ausilio di un compressore, viene portata a una pressione superiore a quella atmosferica e quindi ad una densità più elevata. L'aria secca è costituita principalmente da ossigeno e azoto. Nell'atmosfera è presente anche acqua, che si miscela con l'aria secca portandola a un determinato tenore di umidità, che dipende da temperatura e posizione geografica.

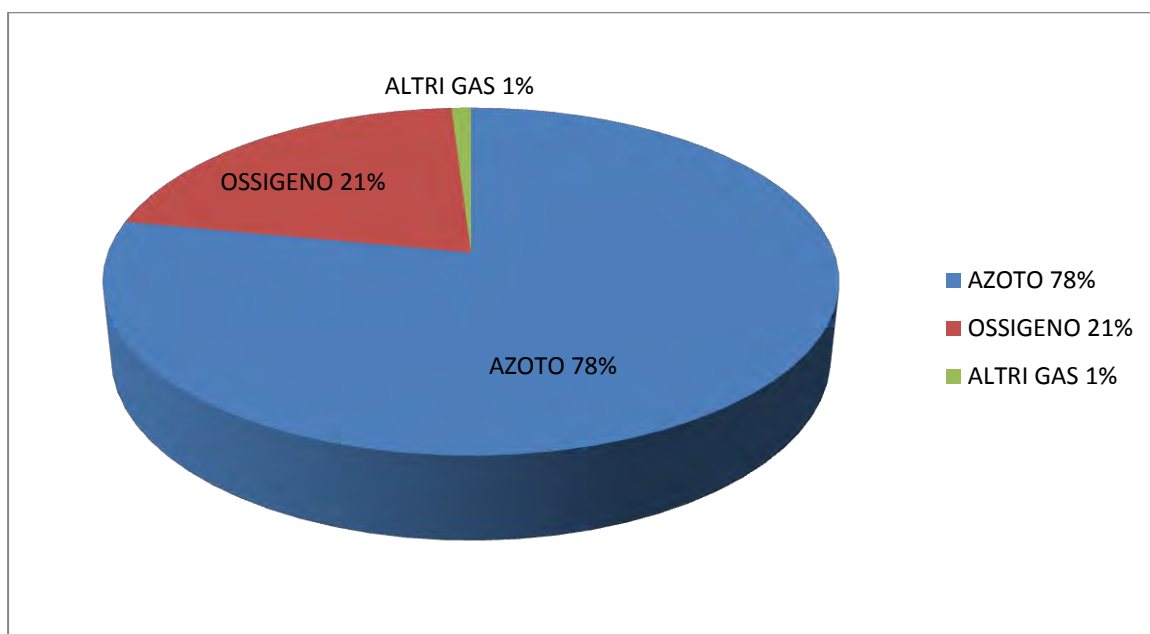


Figura 4-1 Composizione dell'aria

L'aria compressa è un mezzo che consente di immagazzinare grandi quantità di energia in modo sicuro e affidabile. Questa forma di energia è molto diffusa in quasi tutti i settori industriali di tutto il mondo. Circa il 90% delle aziende produttrici utilizza l'aria compressa nei propri processi di realizzazione.

In genere le altre forme di energia, ad esempio gas, acqua ed elettricità, sono fornite sul luogo di produzione da società di distribuzione esterne. Queste società devono soddisfare i requisiti di qualità ambientali e di sicurezza definiti da autorità, clienti e organizzazioni di settore. L'aria compressa in genere non viene fornita da società esterne, bensì prodotta sul

posto. Spetta quindi all'utente stesso soddisfare i requisiti di qualità e contenere il più possibile i costi di produzione.

L'aria compressa è un vettore di energia vantaggioso sotto molti punti di vista. È pulita, sicura, facile da immagazzinare e trasportare, oltre a essere adatta a numerose applicazioni industriali: per azionare avvitatori e utensili simili, per movimentare e sollevare oppure per pulire, spostare e raffreddare diversi materiali. Dopo la corrente elettrica, è oggi la fonte di energia più utilizzata nell'industria e nell'artigianato. Ma mentre si impara già da bambini ad usare la corrente elettrica, l'importanza, le possibilità e i vantaggi offerti dall'aria compressa continuano ad essere poco note.

Le modalità di utilizzazione dell'aria compressa si sono evolute di pari passo con le conoscenze dell'uomo nelle altre applicazioni tecniche. Il loro sviluppo nel corso della storia è avvenuto solo in quei settori in cui offriva vantaggi applicativi rispetto ad altre tecnologie spingendo gli uomini a riflettere sul perfezionamento delle tecniche già impiegate.

Molte applicazioni prendono spunto e possono essere derivate dall'alba dell'umanità. Il primo impiego dell'aria compressa, e il più naturale, è stato quello di soffiare su esche per accendere il fuoco. L'aria utilizzata veniva compressa nei polmoni i quali possono essere considerati un compressore naturale. Le capacità e le prestazioni di tale compressore sono stupefacenti: I polmoni umani sono in grado di trattare 100 l/min, pari a 6m³ di aria all'ora generando una pressione di 0.02-0.08 bar.

Nel corso della storia i polmoni umani si dimostrarono tuttavia insufficienti quando oltre 5000 anni fa l'uomo iniziò a fondere metalli come l'oro, il rame, lo stagno o il piombo. Quando più tardi si trattò di produrre metalli di alto valore come il ferro partendo dai suoi minerali, il perfezionamento della tecnologia dell'aria compressa diventò indispensabile. Per ottenere temperature nell'ordine dei 1000°C erano necessari sussidi più efficienti dei polmoni. Dapprima si utilizzò il vento in caduta da colline e dorsali montuose. Più tardi gli orafi egiziani e sumeri impiegarono una canna da soffio. L'aria veniva soffiata direttamente sulla brace e questo consentiva di aumentare la temperatura in maniera determinante.

Il primo compressore meccanico, sviluppato circa 2500 anni prima della nascita di Cristo fu il mantice azionato a mano e ben presto sostituito da quello azionato con i piedi. Lo

sviluppo risultò necessario quando la tecnologia delle leghe di rame e stagno per la produzione di bronzo si sviluppò diventando un metodo di produzione stabile. L'invenzione, osservabile su di una pittura murale presente in una tomba dell'antico Egitto, costituì la nascita dell'aria compressa nel senso moderno.



Figura 4-2 Mantice Egizio

Il primo utilizzo consapevole della forza insita

nell'aria ci è stato tramandato dal greco Ctesibio (circa 285-222 a.C.) quando costruì un organo pneumatico che utilizzava l'aria compressa per il lancio di proiettili dalla propria catapulta pneumatica. L'energia era immagazzinata spingendo pistoni a tenuta in due cilindri. Quando i pistoni, grazie a un meccanismo di sgancio, erano rilasciati, l'aria compressa forniva al proiettile una velocità che risultava competitiva con quella delle altre catapulte.

All'incirca nello stesso periodo Erone di Alessandria ideò invece uno dei più conosciuti sistemi ad aria compressa: esso utilizzava il fuoco dell'altare per generare aria compressa che permetteva di aprire l'imponente porta del tempio, come per magia. Il calore del fuoco riscaldava l'aria contenuta in un serbatoio pressurizzato riempito a metà con dell'acqua. L'aria riscaldata si espandeva aumentando la pressione all'interno del serbatoio. L'aria espansa richiedeva infatti più spazio e questo spingeva l'acqua fuori dal serbatoio pressurizzato, in una cisterna di raccolta. Con l'aumentare del peso la cisterna si abbassava, facendo aprire la porta.¹⁸

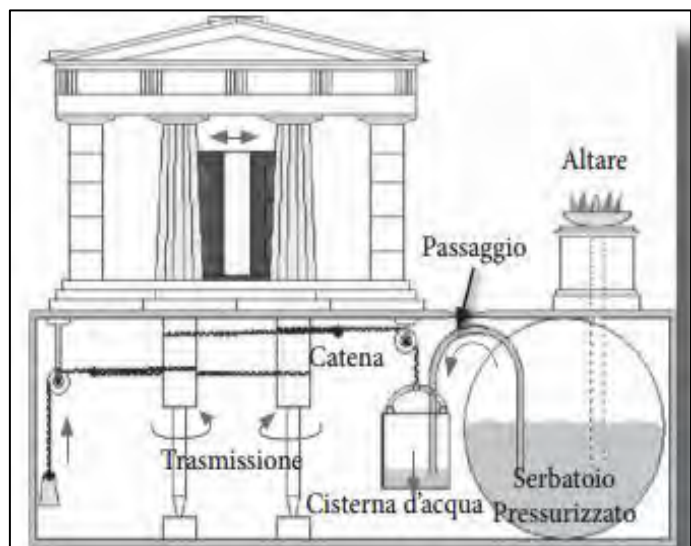


Figura 4-3 Meccanismo di apertura delle porte nel tempio di Erone.

¹⁸ Sitografia [8]

Solo nel 17° secolo un gruppo di eruditi iniziò ad occuparsi delle leggi che regolano il comportamento dell'aria compressa. Nel 1663 Blaise Pascal pubblicò i suoi studi sull'amplificazione della forza attraverso liquidi (idraulica) applicabili anche alla tecnologia dell'aria compressa. Consideriamo un cilindro munito di pistone al quale sia applicato un rubinetto. Se esso viene aperto mentre si esercita una forza sul pistone, si ha la fuoruscita di un getto di liquido; ciò accade indipendentemente dal punto in cui il rubinetto viene posto e dalla superficie di applicazione della forza.

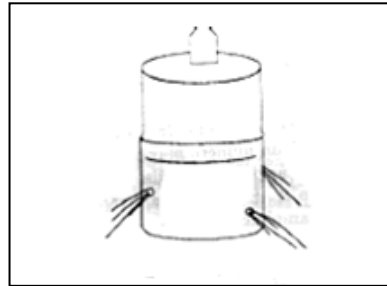


Figura 4-4 Principio di Pascal

Ciò implica un'importante proprietà dei fluidi (sia liquidi che gassosi) secondo la quale non esiste alcuna direzione privilegiata lungo la quale agisce la forza applicata, ma essa si trasmette in tutte le direzioni con la stessa intensità, qualunque sia la superficie a contatto con il fluido a cui è applicata.

Questo principio è noto sotto il nome di **Legge di Pascal** e trova una larga applicazione in tutte le macchine idrauliche o funzionanti a pressione. Basti ricordare il torchio idraulico, il cui principio di funzionamento può essere illustrato nel modo seguente.

Si consideri un sistema simile a quello rappresentato in figura 4-5.

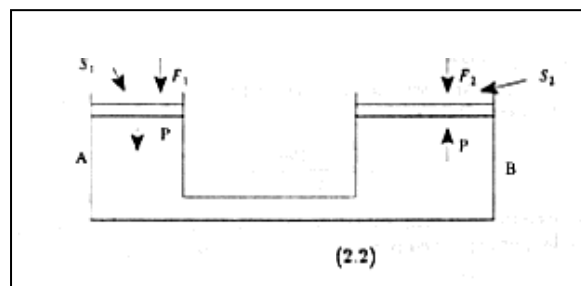


Figura 4-5 Torchio idraulico

Quando si esercita una forza F_1 sul cilindro A, si determina una pressione $P = F_1 / S_1$. Per il principio di Pascal, questa pressione si trasmette nel cilindro B, per cui occorre bilanciare la forza F_1 applicando sullo stantuffo di B una forza F_2 , tale che si abbia:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} = P \Rightarrow F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1 .$$

La forza F_1 si trasmette nel cilindro B con un valore pari alla forza F_2 , e poichè S_1 / S_2 è un numero maggiore di 1, nella parte B la forza assume un valore maggiore di quella originariamente esercitata sul pistone del cilindro A. Più è grande il rapporto fra S_2 e S_1 e più la forza F_1 risulterà amplificata.¹⁹

¹⁹ Ulrich Bierbaum, Gunther Freitag, "Compendio sull'aria compressa", Verlag Marie Leidorf GmbH, Bielefeld, 2002;

4.1 L'ARIA COMPRESSA E LA LOCOMOZIONE

L'idea di sviluppare un modo di trasporto alternativo utilizzando l'aria compressa prese piede a partire dalla metà del XIX secolo anche se poco si sa circa il primo veicolo ad aria compressa. Si dice che il primo veicolo ad aria compressa fu ideato da Bompas, un brevetto per locomotive presentato in Inghilterra nel 1828 ma non è chiaro se è stato effettivamente costruito.

Nel 1838 i francesi Andraud e Tessie di Motay realizzarono la prima vettura mossa da un motore pneumatico la quale fu condotta su una pista di prova a Chaillot, in Francia, il 9 luglio 1840. Anche se il car test è stato riportato come riuscito e di successo, la coppia non ha mai pensato ad un'ulteriore espansione del progetto.

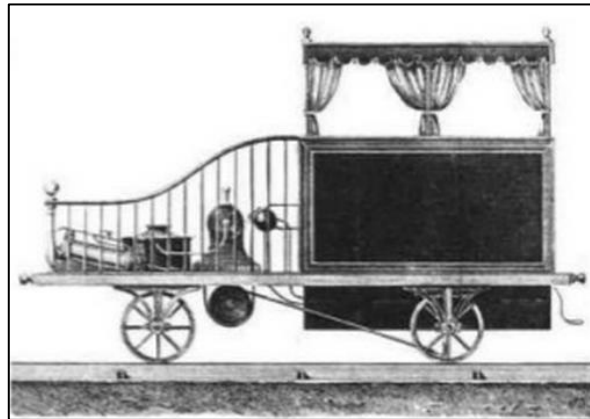


Figura 4-6 Automobile di Andraud e Tessie (1838)

Il "Parsey locomotive" ad aria compressa del 1847 fu il primo prototipo della serie per il trasporto su rotaia. Pensato dal Arthur Parsey la locomotiva è stata destinata per il lavoro miniera di carbone, ma ancora non è chiaro se è stata effettivamente costruita.

Il principio su cui si basava sfruttava il funzionamento a "ciclo chiuso" tra il movimento delle ruote sulla rotaia e l'immagazzinamento dell'aria compressa in un serbatoio che a sua volta restituiva energia per il movimento. Nel dettaglio, osservando la figura, un serbatoio di accumulo **(A)** era riempito di aria compressa in quantità compatibile con la sicurezza del tempo e alimentava la camera **(B)**, mantenuta in pressione dalla valvola di riduzione automatica **(C)**. Le tubazioni **(D)** alimentavano il motore **(E)** a doppio effetto. **(F)** è l'aria valvola di ricarica e **(G)** è la valvola di sicurezza.

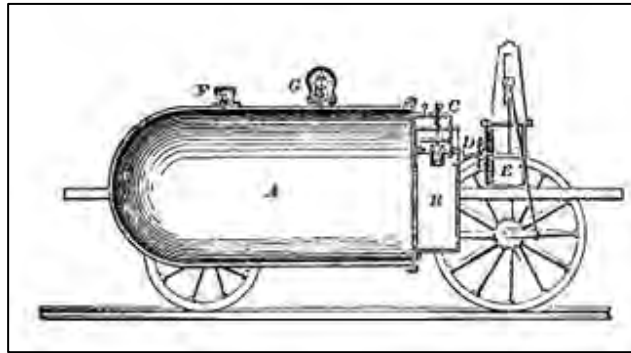


Figura 4-7 Parsey locomotive (1847)

La prima applicazione di successo del motore pneumatico nel trasporto fu il motore ad aria compressa detto "sistema Mekarski" nelle locomotive. L'innovativo motore Mekarski bilanciava il raffreddamento che accompagna l'espansione dell'aria scaldando l'aria in una piccola caldaia prima dell'uso. Tale operazione si rese necessaria quando il sistema di alimentazione ad aria compressa stava per venire abbandonato a causa dell'alto numero di incidenti provocati dal congelamento delle tubature dei freni.

Il Tramway della città di Nantes, in Francia, è ricordato per essere stato il primo ad usare i motori Mekarski per alimentare la loro flotta di locomotive. Ogni locomotiva sfruttava l'aria a 25 atmosfere (350 psi) prodotta da un motore bicilindrico che conduceva l'assale anteriore attraverso manovelle fissate a 90 gradi per evitare lo stallo al punto morto. L'aria compressa veniva stoccata in otto serbatoi con diametro di 30cm o 40cm, montati trasversalmente sotto il veicolo e divisi in due set, uno principale e una serie di riserva.

Il tram è entrato in funzione il 13 dicembre 1879, e continua a funzionare oggi, anche se i tram pneumatici sono stati sostituiti nel 1917 dai più efficienti e moderni tram elettrici.



Figura 4-8 Tram di Nantes (1879)

Fu sempre nell'ambito ferroviario che la tecnologia pneumatica trovò grande applicazione con l'invenzione nel 1869 del freno pneumatico ad aria compressa Westinghouse. Un compressore presente sulla locomotiva mandava vapore in pressione all'interno del serbatoio principale. Quest'ultimo era collegato con la condotta precedentemente menzionata tramite una valvola di controllo. Il macchinista, agendo su tale valvola, poteva comandare le manovre di frenatura e sfrenatura. Su ogni veicolo era presente una diramazione della condotta, collegata col cilindro freno, all'interno del quale scorreva il pistone che azionava i ceppi. Mediante l'apertura della valvola, il vapore in pressione fluiva verso il cilindro freno; il rilascio di quest'ultimo avveniva chiudendo la valvola e scaricando nell'atmosfera il vapore in pressione.²⁰

L'utensileria ad aria compressa, utilizzata per la prima volta con l'invenzione da parte dell'Ing. Giovanni Battista Piatti del martello perforatore ad aria compressa nella costruzione del traforo del Moncesinio nel 1857, rivoluzionò il modo di affrontare alcune lavorazioni. Era finalmente possibile lavorare in ambienti chiusi senza il pericolo di asfissia derivante dalla produzione di gas di scarico dovuti agli idrocarburi utilizzati. A partire dal 1861 si impiegarono infatti macchine perforatrici a percussione con azionamento pneumatico per l'avanzamento in galleria, alimentate da compressori situati sui due ingressi. Quando nel 1871 si completò il traforo, da entrambi i lati erano installati oltre 7000m di tubazioni per il trasporto dell'aria compressa. Per la prima volta fu dimostrata e resa nota ad un vasto pubblico la trasportabilità di energia e i suoi vantaggi. Da qui nacquero utensili pneumatici sempre più efficienti e versatili.

Ne è d'esempio, sempre in ambito minierario, la famosa "Autopala Montevecchio" che prende il nome dalle Miniere Montevecchio dove nacque come evoluzione di precedenti soluzioni per il carico e il trasporto del materiale di asportazione da dentro a fuori della miniera. Fu il successo prodotto dall'utilizzo dapprima di "Ercolino" (1951) autovagone su binario e successivamente di "U2U" autovagone gommato che sollecitarono lo studio di un automezzo completo in grado di auto caricarsi e di trasportare il materiale abbattuto. Nel 1954 nacque così, dalla progettazione di Lettiero Freni (responsabile dell'officina Montevecchio) la omonima autopala il cui brevetto è stato successivamente acquistato da

²⁰ Sitografia [24]

un famoso marchio americano che ne ha migliorato le specifiche e il design senza stravolgere tuttavia la tecnologia basata sulla produzione da parte di un elettrocompressore posto al di fuori del tunnel dell'aria compressa e il successivo invio tramite opportuno collettore alla macchina. Quest'ultima con la sola alimentazione ad aria riesce a compiere spostamenti in lungo e in largo nello spazio e ovviamente ad azionare la benna in dotazione. A prima vista, come visibile dall'immagine sottostante, ricorda una miniruspa con la caratteristica di non avere la cabina di guida. L'operatore infatti staziona su una pedana posta sulla fiancata del mezzo e, al momento del carico/scarico del materiale, aziona la pala tramite delle leve laterali.²¹

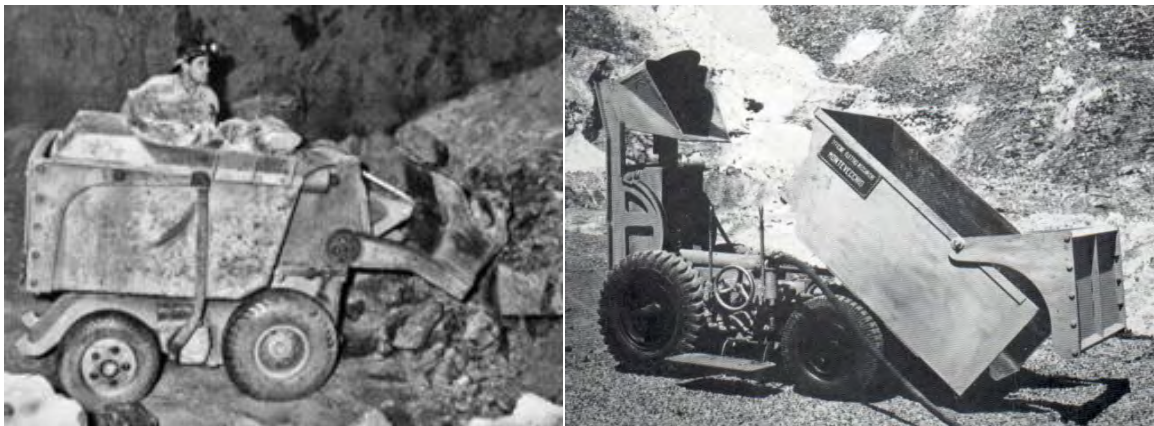


Figura 4-9 Autopala Montevécchio in azione nelle omonime miniere Montevécchio.

Tornando agli ultimi anni del 1800 e in particolare all'esperienza acquisita nell'uso di reti di tubazioni pneumatiche per la realizzazione del traforo, grazie al successivo sviluppo di compressori più potenti e affidabili, fu ben presto installata a Parigi la prima rete pneumatica nei canali di scarico. Nel 1888 fu messa in servizio con una potenza complessiva dei compressori pari a 1500kW. Nell'anno 1891 la potenza installata era già di 18000kW. La rete pneumatica parigina è unica fino ad oggi ed è ancora in funzione.

Dall'inizio del Ventesimo secolo i sistemi pneumatici sono stati usati anche per guidare e controllare macchinari per applicazioni industriali. In ambito agricolo e nel campo delle costruzioni i sistemi pneumatici sono usati nel funzionamento di martelli e trapani. La pneumatica è inoltre utilizzata nelle tecniche di trasporto, ad esempio per aspirare il grano

²¹ Sitografia [16]

nei mulini o per trasportare la farina. Persino in campo musicale vengono sfruttati sistemi pneumatici, come avviene non solo negli organi ma anche nelle pianole, i cui tasti sono controllati pneumaticamente. Infine si potrebbero osservare sistemi pneumatici anche nell'industria automobilistica, in quella tessile e in quella alimentare, nell'ambito dell'ingegneria elettrica e persino nella tecnologia spaziale, oltre che in molti altri ambiti con cui ogni giorno ci si confronta.

4.2 PRODUZIONE DELL'ARIA COMPRESSA

L'aria compressa è una fonte di energia fondamentale per tutte le industrie e le sue applicazioni sono innumerevoli ed insostituibili. Non esiste comparto produttivo, nei diversi settori, che non sia dotato di macchinari, attrezzature, utensili, sistemi, automatismi e componenti pneumatici che utilizzano l'aria compressa. Produzione, trattamento, filtrazione e distribuzione dell'aria compressa sono mercati in continua evoluzione, sensibili alle tecnologie innovative più avanzate. Le applicazioni sono molteplici sia nei settori civili che industriali ed è impossibile elencarle tutte.

Soffermandoci sul solo aspetto inerente la produzione di aria compressa, è d'obbligo descrivere ed approfondire come lavorino le macchine addette a tale compito: i compressori.

Prima di addentrarci nelle tipologie di compressori ci soffermiamo sulle loro caratteristiche pneumatiche e le grandezze che li contraddistinguono.

Pressione di aspirazione	Pa
Pressione di mandata	Pm
Portata all'aspirazione	Q (nm³/s)
Portata alla mandata	Qm (m³/s)
Rapporto di compressione	r = Pm/Pa (Pascal)

Il termine normal (n) esprime il volume di aria in condizioni normali, cioè quelle atmosferiche con temperatura a 20°C quindi nm³.

La potenza per comprimere un volume di aria alla pressione di mandata in una unità di tempo si ricava dalla formula:

$$N = Q \times Pa \times 3,5 \times (r^{2,85} - 1)$$

L'aumento del rapporto di compressione diminuisce il rendimento η che non deve essere inferiore a 0,7 con rapporto di compressione r inferiore a 5.

Il grafico che segue permette una rapida scelta della potenza applicata al compressore in funzione della portata volumetrica in aspirazione.²²

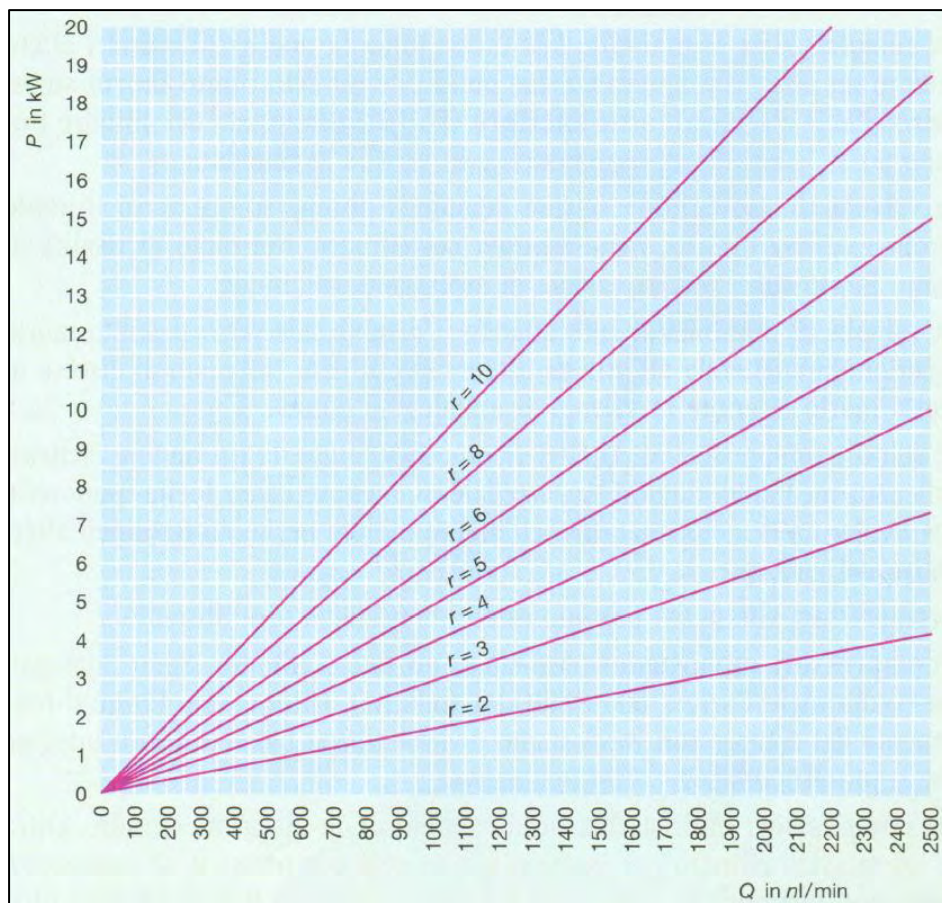


Figura 4-10 Grafico di scelta della potenza applicata al compressore in funzione della portata aspirata

Nel classificare le tipologie compressori è necessario effettuare una prima divisione delle macchine in base al modo in cui il fluido viene compresso. Si identificano dunque:

- **Compressori dinamici (o centrifughi)** in cui le giranti munite di pale accelerano il gas da comprimere e i dispositivi di deflessione fissi sulle pale trasformano l'energia cinetica in energia pneumatica. Tali macchine sono da preferire per grandi portate e basse pressioni di trasporto.
- **Compressori volumetrici** in cui la camera di compressione si chiude completamente dopo l'aspirazione dell'aria. Il volume diminuisce sotto l'azione di una forza e l'aria viene così compressa. Tali macchine sono da preferire per piccole portate ed alte pressioni di trasporto.

²² Sitografia [20]

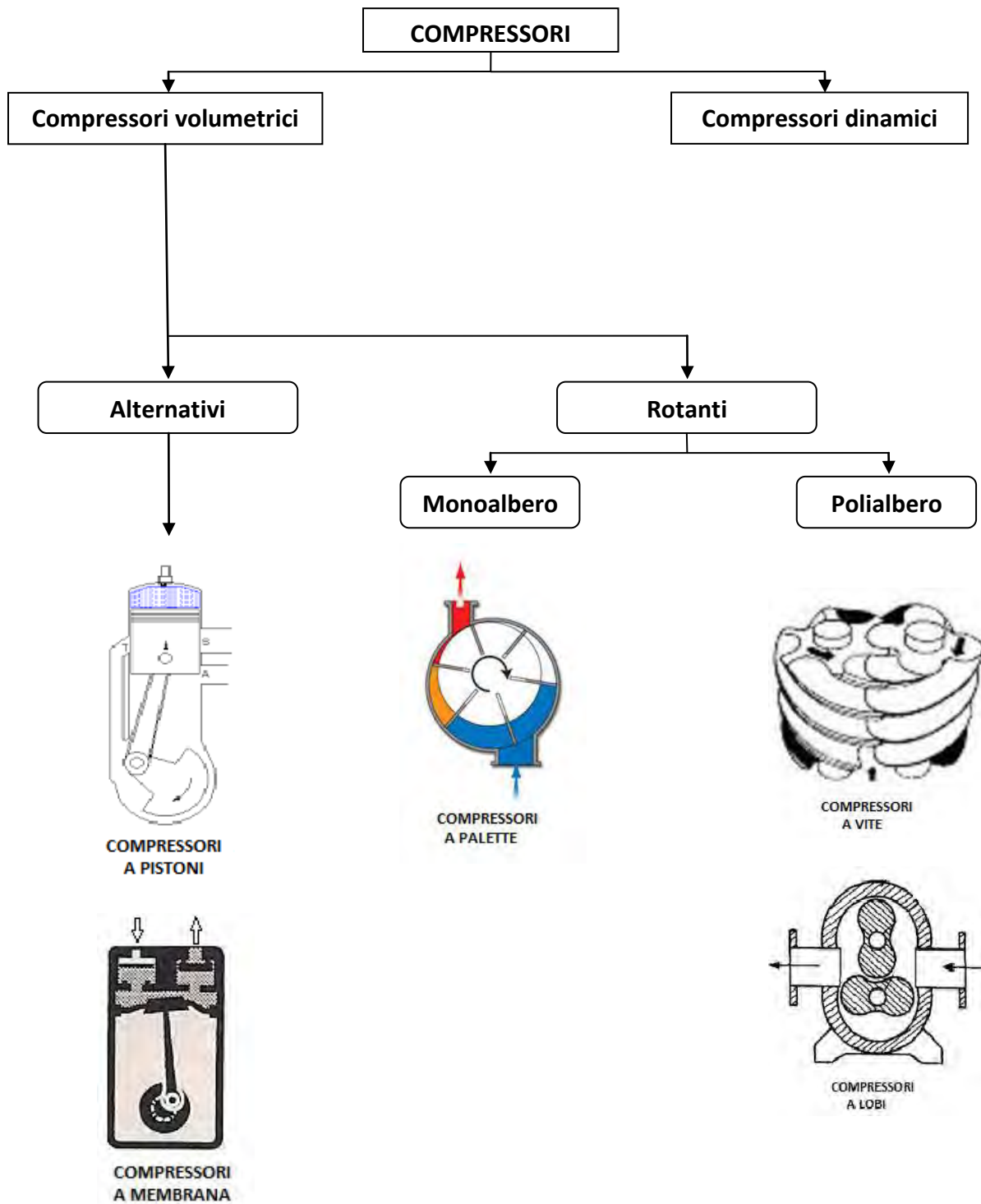


Figura 4-11 Uno schema riassuntivo delle varie tipologie di compressori

Nelle trasmissioni pneumatiche vengono solitamente impiegati i volumetrici che si dividono in **alternativi** e **rotanti** in base alla tecnica utilizzata per aumentare la pressione e densità dell'aria.

Ai compressori alternativi che sfruttano il lavoro svolto da un motore a movimento alternativo basato sul meccanismo biella-manovella per aumentare la pressione del gas, appartengono due categorie in base alla modalità di compressione: **compressori a pistone** e **compressori a membrana**.

Nella maggior parte delle applicazioni pneumatiche vengono usati i compressori a pistone mentre i secondi, cioè quelli a membrana, sono di scarsa importanza ed utilizzati solo in qualche semplice applicazione hobbistica.

Per quanto riguarda i compressori volumetrici rotativi questi si possono identificare a seconda che siano:

- dotati di un monoalbero come nel caso dei compressori **a palette** ed **a spirale**;
- dotati di un polialbero come nel caso dei compressori ad **ingranaggi o lobi** ed **a vite**.

4.2.1 COMPRESSORI A PISTONI

Rappresentano la tecnologia più semplice e più diffusa, sono costituiti da un pistone che scorre all'interno di un cilindro grazie ad un sistema biella-manovella. Quando il pistone scende la valvola di aspirazione si apre e quella di mandata si chiude permettendo all'aria di entrare nel cilindro; quando il pistone sale le valvole fanno movimento contrario permettendo all'aria di uscire.

Normalmente un compressore alternativo è formato da due cilindri che possono lavorare in parallelo oppure in serie.

I compressori avente i cilindri uguali si definiscono come compressori bicilindrici mono-stadio cioè, l'aria aspirata attraverso il filtro di aspirazione arriva in modo alternativo ai due cilindri che sempre in modo alternativo pompano l'aria compressa.

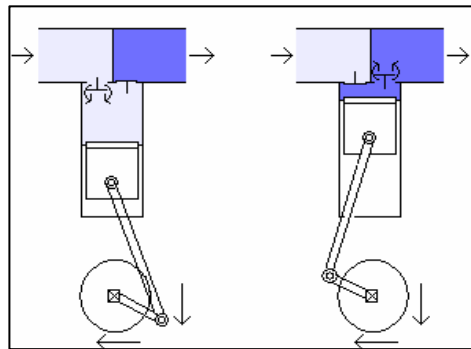


Figura 4-12 Funzionamento di un compressore a pistoni mono-stadio

Nel caso invece dei cilindri di diverse dimensioni, ci troviamo di fronte ad un compressore bicilindrico di tipo bi-stadio e cioè un compressore in cui un cilindro aspira l'aria dal filtro di aspirazione e una volta precompressa, attraverso un gruppo raffreddatore, raggiunge il secondo cilindro che innalza la pressione fino a quella desiderata.

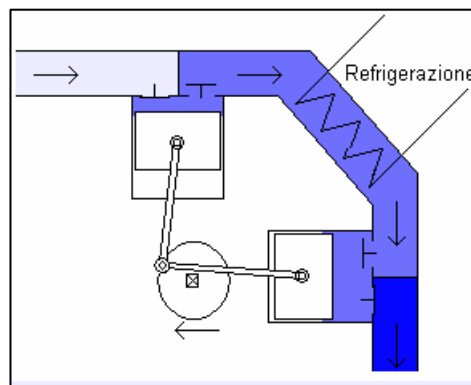


Figura 4-13 Funzionamento di un compressore a pistoni bi-stadio

A parità di costruzione, il compressore di tipo bi stadio riesce a raggiungere pressioni superiori.

I compressori alternativi necessitano di essere collegati ad un serbatoio dato che il funzionamento è intermittente. Quando nel serbatoio si raggiunge la pressione massima impostata, un contatto elettrico attivato da un pressostato, interrompe l'alimentazione al motore arrestando il compressore. Al calare della pressione, ad un secondo valore impostato (valore minimo) , il pressostato riattiverà il circuito elettrico del motore riavviando il compressore.

4.2.2 COMPRESSORI A MEMBRANA

L'entrata e l'uscita dell'aria è causato dagli spostamenti alternativi di una membrana fissata tra cilindro e testata. In questo tipo di compressori non esiste contatto tra aria e pistone quindi si possono avere spifferi solo nelle valvole. La biella è piccola e quindi la velocità più elevata permettendo una mandata più continua.

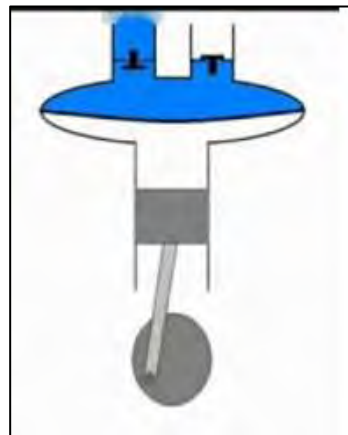


Figura 4-14 Funzionamento di un compressore a membrana

I classici compressori alternativi sono caratterizzati da un funzionamento discontinuo, voluminosità della macchina e notevole rumorosità. Nel tempo sono state sviluppate altre tecnologie con i compressori rotativi.

4.2.3 COMPRESSORI A PALETTE

I compressori di questo tipo sono costituiti da un involucro cilindrico (statore) all'interno del quale ruota eccentricamente un tamburo (rotore) sul cui corpo sono ricavate delle scanalature radiali. In queste scanalature scorrono sottili lamelle di acciaio che si spostano verso lo statore durante la rotazione per effetto della forza centrifuga. L'aria, attraverso delle feritoie ricavate sullo statore, viene aspirata dalle palette nella situazione volumetrica maggiore e progressivamente compressa durante la rotazione del rotore.

Nel punto di massima riduzione del volume, l'aria così compressa viene convogliata in una seconda feritoia ricavata sullo statore e inviata all'utilizzo. Questi compressori sono definiti a servizio continuo, cioè continuano a funzionare anche quando non vi è a valle alcuna richiesta d'aria.

In questa situazione infatti la valvola di aspirazione, comandata da un pistone contrastato da una molla, è chiusa ed il compressore procede funzionando a vuoto. Il compressore rotativo a palette ha la possibilità di funzionare benissimo senza il classico serbatoio di accumulo a valle grazie al sistema di regolazione automatica dell'aspirazione. Costituito da un rotore montato eccentricamente su di uno statore. Il rotore è munito di palette prismatiche a sezione rettangolare; queste palette sono tenute a contatto con la superficie cilindrica grazie a delle molle. A lato dello statore ci sono due collettori per l'aspirazione e la mandata dell'aria. Durante la rotazione le palette catturano l'aria dal collettore di aspirazione e viene trascinata diminuendo di volume e quindi aumentando la pressione per poi essere rigettata nel collettore di mandata.

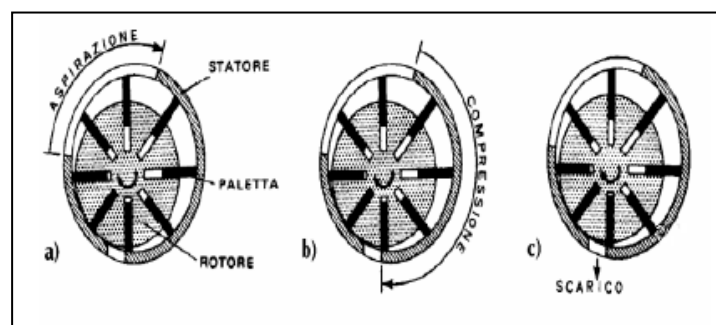


Figura 4-15 Funzionamento di un compressore a palette

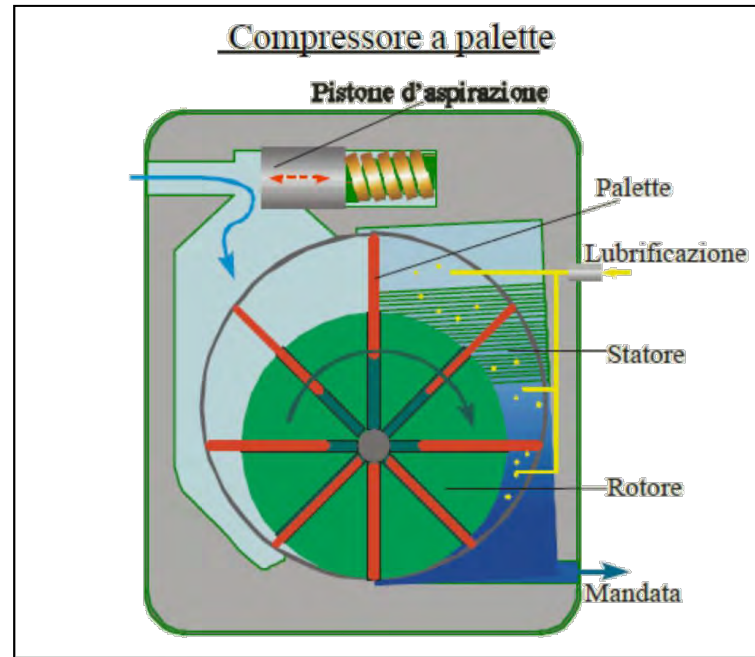


Figura 4-16 Elementi che compongono un Compressore a palette

4.2.4 COMPRESSORE A LOBI (ROOTS)

È un compressore poco utilizzato per le modeste prestazioni, produce infatti pressioni fino ad un massimo di 3 bar con scarse portate. Due ingranaggi sono rigidamente assemblati su ognuno dei due lobi e liberi di ruotare. Ruotando aspirano l'aria e la convogliano dall'ingresso alla mandata. L'accoppiamento tra i due lobi è molto preciso cosa che non permette trafileamenti tra ingresso ed uscita. La compressione non avviene nella camera ma in mandata e questo spiega la scarsa capacità di fornire pressioni relativamente alte.

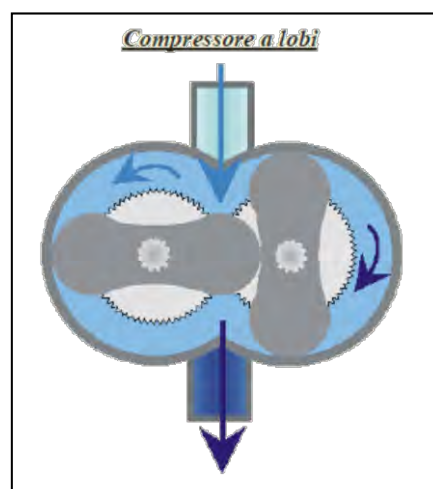


Figura 4-17 Funzionamento di un compressore a lobi

4.3 COMPRESSORE A VITE ELICOIDALE

I compressori a vite hanno caratteristiche di rendimento analoghe a quelli a palette, si distinguono però per la silenziosità in virtù del basso numero di organi in contatto durante la rotazione. Si tratta di macchine relativamente recenti la cui costruzione maturò solo dopo la seconda guerra mondiale nonostante l'idea dell'Ing. Heirich Krigar risalisse a fine 1800. Infatti la geometria complessa delle viti richiede una tecnologia costruttiva particolarmente delicata.

Sono costituiti da due rotori a vite ad assi paralleli con rispettive eliche destrose e sinistrorse che ruotano in senso contrario l'uno rispetto all'altro. E' necessaria una copiosa lubrificazione per evitare trafilamenti d'aria e per assicurare la refrigerazione ai rotori. L'aria aspirata viene compressa grazie alla particolare forma delle viti, in camere che riducono costantemente il proprio volume a causa della rotazione dei corpi delle viti fino al raggiungimento della pressione finale. L'aria viene dunque espulsa attraverso il bocchettone di mandata.

Di seguito è possibile apprezzare come avvenga il processo di compressione.

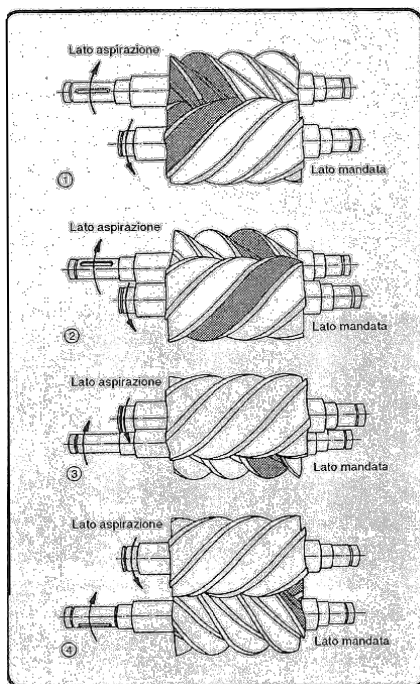


Figura 4-18 Funzionamento di un compressore a vite

ASPIRAZIONE (1)

L'aria entra nei condotti a vite dei rotori aperti sul lato di aspirazione attraverso un'apertura

COMPRESSIONE (2) + (3)

Con la rotazione dei rotori, l'apertura di ingresso dell'aria si chiude, il volume diminuisce progressivamente e quindi la pressione aumenta. Durante questa fase viene iniettato olio.

ESPULSIONE (4)

La compressione è terminata. La pressione finale è stata raggiunta ed inizia la fase di espulsione

4.4 TRATTAMENTO DELL'ARIA COMPRESSA

Il trattamento dell'aria compressa è determinante in quanto l'aria compressa è contaminata da elementi prodotti non solo dal procedimento di compressione ma anche dall'ambiente dove viene ubicato il compressore, in quanto il compressore non fa altro che comprimere l'aria che aspira. Le impurità presenti possono dunque pregiudicare l'affidabilità delle funzioni della rete pneumatica e delle utenze riducendo la qualità dei prodotti.

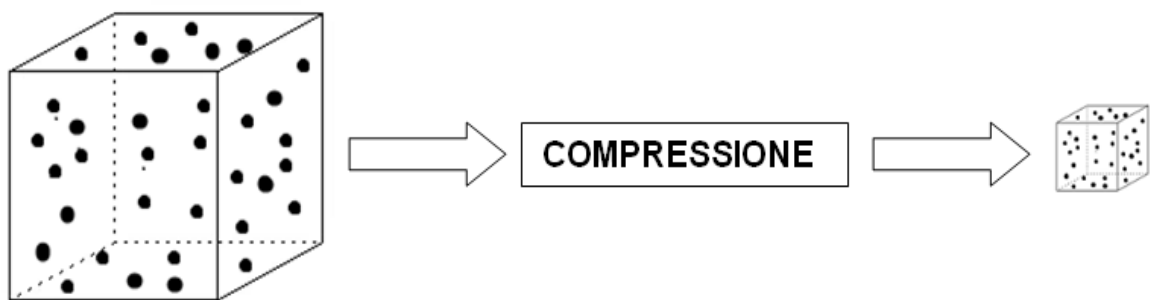


Figura 4-19 Impurità dell'aria pre e post compressione

1m³ d'aria ambientale può contenere:

- fino a 180milioni di particelle di sporco di dimensioni comprese tra 0,1 e 100µm;
- 5 – 40 g/m³ di acqua sottoforma di umidità;
- da 0,01 a 0,03 mg/ m³ di olio sottoforma di aerosol di oli minerali e di idrocarburi incombusti;
- tracce di metalli pesanti come piombo, cadmio, mercurio e ferro.

Nella compressione le impurità vengono concentrate a causa della diminuzione del volume d'aria. Per esempio in una compressione a 10 bar (11 bar assoluti), la concentrazione delle particelle di sporco aumenta fino a 11 volte.

E' inoltre da ricordare che il processo di compressione per sua natura determina la produzione di condensa e nel caso di compressori lubrificati, il rilascio di particelle oleose dovute alla non completa separazione dall'aria nel serbatoio separatore aria-olio prima dell'immissione dell'aria in rete.

Separare i corpi estranei con un'accurata filtrazione per mezzo di filtri ed eliminare tracce di umidità attraverso appositi essiccatori è fondamentale per disporre di una qualità dell'aria idonea alle apparecchiature pneumatiche.

I filtri sono strumenti studiati per imporre un andamento rotatorio piuttosto violento all'aria entrante nella parte superiore dell'apparecchio (IN). Le gocce d'acqua e le impurità solide di dimensioni più grandi vengono, per effetto della forza centrifuga, proiettate contro la parete del bicchiere e cadono per gravità sul fondo dello stesso. Il contenuto del bicchiere è protetto dalla zona turbolenta superiore da un separatore che fa da schermo, mantenendo la parte inferiore in quiete. Questo fa sì che l'acqua rimanga sul fondo senza essere risucchiata in rete. Prima di uscire dall'apparecchio, l'aria è infine costretta a passare attraverso una cartuccia filtrante che ha il compito di trattenere le impurità più piccole, per poi transitare verso l'uscita (OUT). La cartuccia, o elemento filtrante, viene classificata in base alla propria porosità e determina la particella di impurità più piccola che è in grado di trattenere.

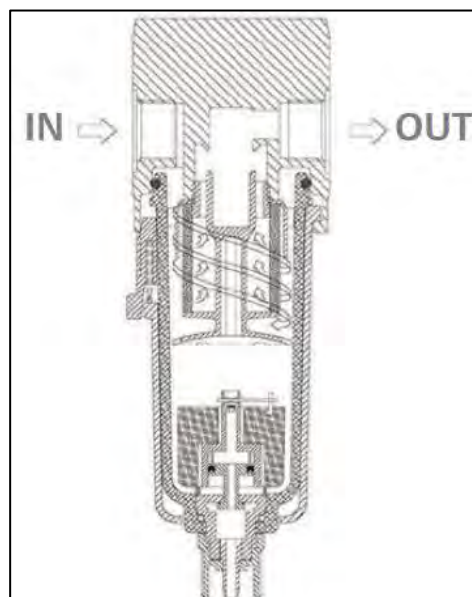


Figura 4-20 Funzionamento di un filtro per il trattamento dell'aria compressa

Per quanto riguarda il processo di essiccazione dell'aria esistono diverse tecnologie a disposizione dell'utente.

Il metodo a condensazione, tipico degli essiccatori a ciclo frigorifero, consente la separazione dell'acqua tramite abbassamento della temperatura al di sotto del punto di rugiada (variabile con la pressione dell'aria). In questo particolare dispositivo l'aria compressa viene raffreddata da un refrigerante in uno scambiatore di calore facendo sì che il vapore acqueo presente si separi sotto forma di condensa che, ovviamente, tenderà ad aumentare con l'aumentare della differenza tra temperatura in ingresso ed in uscita dell'aria. Si tratta di un'operazione che garantisce innanzitutto una grande economicità di utilizzo, quindi una quasi completa separazione di tutte le particelle solide e delle gocce d'acqua di dimensione maggiore a $3\mu\text{m}$ e infine ridotte perdite di pressione pari solamente a circa 0,2bar.

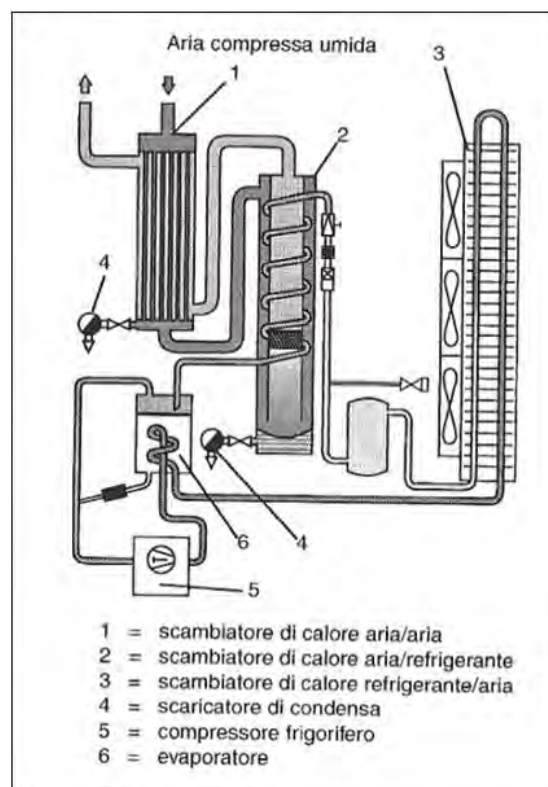


Figura 4-21 Funzionamento di un essiccatore a ciclo frigorifero

Un'altra tecnica, quella della diffusione, è riscontrabile negli essiccatori a membrana i quali sono costituiti da un fascio di migliaia di membrane a fibra cava rivestite in un materiale plastico solido resistente alle alte temperature e pressioni. L'aria compressa umida attraversa l'interno delle fibre rivestite da uno strato ultrasottile di un secondo materiale plastico. Il vapore acqueo penetra verso l'esterno attraverso il mantello rivestito delle fibre

cave. A tale scopo è necessaria una differenza di concentrazione del vapore acqueo tra interno ed esterno della fibra cava.

Dalla portata essiccata viene quindi prelevato ed espando un flusso di aria di rigenerazione, Poiché l'umidità massima dell'aria è in funzione del volume, l'umidità relativa diminuisce. In contemporanea il flusso di aria di rigenerazione secca circonda le fibre cave ed assicura la necessaria differenza di concentrazione del vapore acqueo.

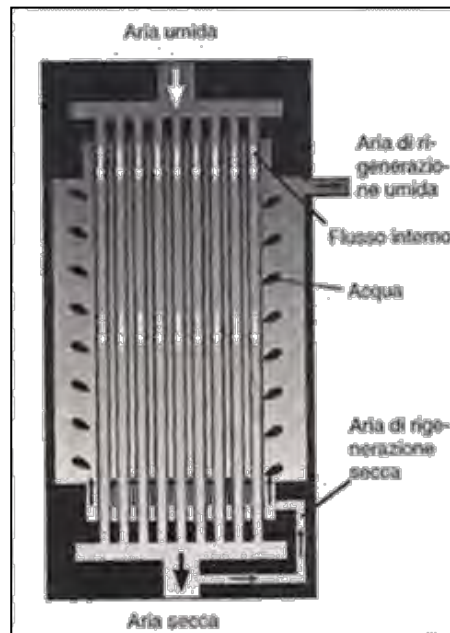


Figura 4-22 Funzionamento essiccatore a membrana

Nell'essiccazione per assorbimento invece, il vapore acqueo viene separato per effetto di una reazione chimica con un essiccante girescopico che tuttavia ha una durata limitata nel tempo esaurendo periodicamente le proprie proprietà. Esistono 3 diversi tipi di essiccanti: solubili che si liquefanno nel corso del processo, solidi e liquidi che reagiscono con il vapore acqueo senza modificare il loro stato di aggregazione. In entrambi i casi l'aria viene fatta passare attraverso il letto essiccante dal basso verso l'alto così che una parte del vapore acqueo in essa presente venga ceduta all'essiccante. A questo punto uno scaricatore invia la condensa in un recipiente sul pavimento.

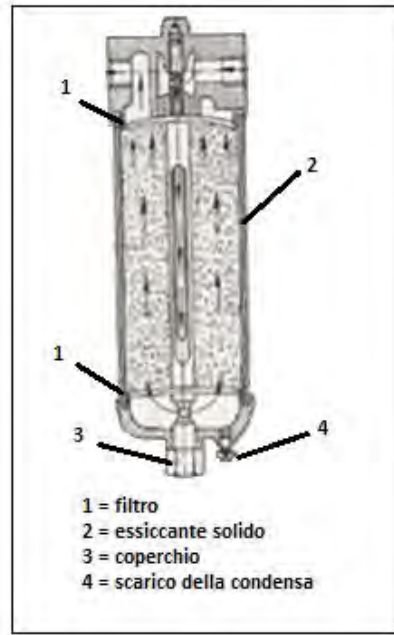


Figura 4-23 Funzionamento essiccatore ad assorbimento con essiccante giroscopico

Ultima metodologia di essiccazione è quella per adsorbimento la quale sfrutta il processo fisico secondo il quale l'umidità dell'aria viene sottratta da forze di adesione (attrazione molecolare non bilanciata) e conglobata nell'essiccatore. Sulla superficie interna ed esterna dell'essiccante si accumula quindi vapore acqueo senza che avvengano reazioni chimiche. Gli agenti assorbenti più usati, dotati di una struttura porosa e di una superficie molto grande, sono ossido di alluminio, silicagel e carboni attivi. Questi si trovano in uno dei due recipienti che compongono il tale tecnologia. In particolare, con riferimento alla fig. 4-24 l'aria compressa umida attraversa il recipiente A contenente l'agente di adsorbimento comportando l'assorbimento del vapore acqueo e la generazione di calore. Quando le forze di adesione vengono compensate dall'accumulo di acqua, l'agente essiccante necessita di esser rigenerato sottraendovi l'acqua. Per tale motivo si utilizzano 2 recipienti in parallelo e, mentre il recipiente attivo (A) essicca, il secondo inattivo (B) si rigenera non sotto pressione. Dopo un determinato periodo di tempo la valvola a 3 vie 2 devia il flusso di aria dalla camera A alla camera B che diventa la torre operativa.²³

²³ Ulrich Bierbaum, Gunther Freitag, "Compendio sull'aria compressa", Verlag Marie Leidorf GmbH, Bielefeld, 2002;

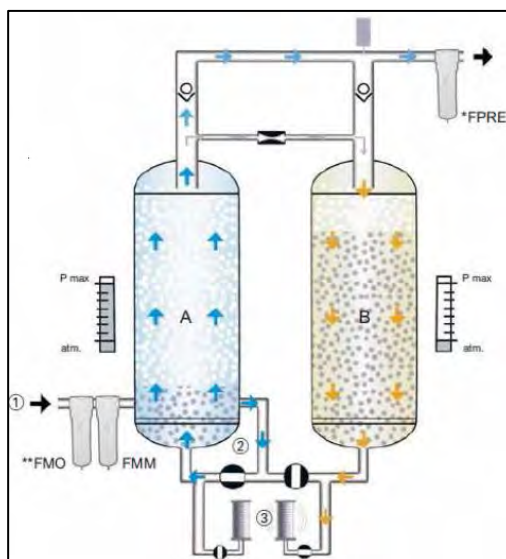


Figura 4-24 Funzionamento essiccatore ad assorbimento con agente assorbente

I trattamenti visti fin'ora nelle varie tecniche disponibili garantiscono di ottenere una qualità dell'aria classificata secondo le norme ISO 8573-1 che definisce delle classi di qualità in funzione:

- Contenuto d'olio: quantità residua massima valutata in mg/m^3 di aerosol ed idrocarburi;
- Dimensioni delle particelle solide e concentrazione massima;
- Punto di rugiada in pressione: temperatura a cui si può raffreddare l'aria compressa senza che il vapore acqueo in essa contenuto si condensi. (Il punto di rugiada in pressione varia con la pressione dell'aria)

CLASSE	CONTENUTO MAX DI OLIO mg/m^3	CONTENUTO MAX POLVERE		CONTENUTO MAX ACQUA	
		Dimensione Particelle μm	Densità in pressione mg/m^3	Acqua g/m^3	Punto rugiada $^{\circ}\text{C}$
1	0,01	0,1	0,1	0,003	-7
2	0,1	1	1	0,117	-40
3	1	5	5	0,88	-20
4	5	15	8	5,953	+3
5	25	40	10	7,732	+7
6	\	\	\	9,356	+10

Tabella 4-25 Qualità dell'aria classificata secondo ISO 8573-1

4.5 STOCCAGGIO DELL'ARIA COMPRESSA

La funzione del serbatoio è quella di immagazzinare l'aria compressa e di restituirla alle utenze al bisogno. Il compressore viene scelto in funzione del regime di portata ed il serbatoio deve essere in grado di fornire all'impianto aria sufficiente durante la fase di riposo del compressore stesso. Per tale motivo vengono dimensionati in funzione della portata del compressore, del sistema di regolazione e del consumo di aria compressa in rete.



Figura 4-25 Esempi di serbatoi di accumulo aria compressa

I serbatoi dei **compressori alternativi** possono essere semplicemente calcolati, con buona approssimazione, utilizzando la seguente formula:

$$C = Q / 60$$

(C = capacità in m³ del serbatoio Q = portata del compressore in m³/ora)

Se un compressore a pistoncini ha una portata di 50 m³/ora necessiterà di un serbatoio a valle di 0,83 m³ (830 litri). Sceglieremo un serbatoio standard di 1000 litri.

I **compressori rotativi**, provvisti di regolazione in aspirazione, non necessiterebbero di serbatoio a valle, comunque in caso di necessità si può utilizzare la formula che segue:

$$C = Q / 600$$

Per un compressore a palette con le medesime caratteristiche di portata del precedente, il serbatoio sarà di 0,083 m³ (83 litri). Scegliremo un serbatoio standard di 100 litri.

La capacità ottimale di un serbatoio dell'aria compressa si può definire più esattamente per mezzo di una formula. La formula è ideale quando con un funzionamento ad intermittenza sono previsti lunghi periodi di fermo del compressore.²⁴

$$C = \frac{Q \cdot 60 \cdot [(L_b/Q) - (L_b/Q)^2]}{z \cdot (p_{max} - p_{min})} \quad (\text{m}^3)$$

Avendo indicato con: - Q : portata del compressore (m³/min)

- L_b : portata necessaria in rete (m³/min);
- z: numero di avviamenti max. ammissibile/ora (1/h);
- p_{max} : pressione di arresto del compressore (barg);
- p_{min} : pressione di avviamento del compressore (barg).

Durante la produzione di aria compressa da parte del compressore, come naturale conseguenza, aumenta anche la pressione interna al serbatoio. L'accumulo di aria permette di coprire il consumo di linea in maniera temporanea lasciando il compressore in stato di stand-by e quindi senza assorbimento di energia elettrica. E' importante sottolineare come il serbatoio di accumulo svolga un'importante compito in presenza di compressori a pistoni. Questi infatti, a causa del loro funzionamento particolare, generano una portata pulsante. Tali variazioni di pressione pregiudicano il funzionamento di diverse utenze e, in maniera particolare, portano a degli errori significativi i sistemi di regolazione e di misurazione. Il serbatoio funge così anche da cassa di espansione livellando le oscillazioni in arrivo.

Con i compressori a vite ciò non è necessario in quanto questi producono una portata quasi costante. In tal caso la principale funzione è quella di fungere da "polmone" per coprire i carichi di punta e garantire una presenza costante di portata in rete.

²⁴ Sitografia [20]

Onde evitare spese inutili per singole realizzazioni i serbatoi sono realizzati in classi di capacità standard. La pressione massima per cui viene dimensionato è, per motivi di sicurezza, sempre maggiore di almeno 1 bar rispetto la pressione massima del compressore. Un compressore con una pressione massima di 10bar avrà, ad esempio, un serbatoio dimensionato per 11 bar. A corredo devono sempre esser presenti un manometro flangiato, uno scaricatore di condensa e una valvola di sicurezza tarata alla pressione del serbatoio o di un livello poco inferiore. Quest'ultima deve essere sempre posta sulla cima del serbatoio onde evitare che venga ostruita dalla presenza di eventuale condensa liquida.



Figura 4-26 Esempio di valvola di sicurezza



Figura 4-27 Esempio di scaricatore di condensa (temporizzato)

A cause della compressione, l'umidità presente nell'aria si separa sotto forma di goccioline, condensa, la quale viene per lo più trascinata dal flusso d'aria nel serbatoio dove essa rimane. Attraverso la grande superficie del serbatoio dell'aria compressa, il calore viene ceduto all'ambiente a temperatura minore e l'aria compressa si raffredda. La maggior parte della condensa si deposita sulle pareti del serbatoio e si raccoglie sul fondo agglomerando tutte le impurità mescolate all'aria in arrivo dal compressore. Tali impurità come pulviscoli, olio etc. verranno scaricate ad intervalli regolari per mezzo di una valvola automatica di scarico sita sul fondo del serbatoio.

Per poter far sì che un serbatoio di accumulo sia correttamente commercializzato e quindi utilizzato, deve esser realizzato secondo rigidi standard iposti da una recente normativa. La Direttiva Apparecchi a Pressione, comunemente detta PED dalla denominazione inglese "Pressure Equipment Directive", è una direttiva di prodotto (97/23/CE) emanata dalla Comunità Europea, e recepita in Italia con il Decreto Legislativo n° 93/2000. Fino al 30

Maggio 2002 è stato possibile continuare ad applicare la normativa italiana preesistente mentre, da tale data, la PED è divenuta cogente e ha sostituito le precedenti disposizioni. Essa disciplina la progettazione e la costruzione di apparecchi in pressione. Rientrano nel campo di applicabilità della direttiva tubazioni, accessori e recipienti soggetti ad una pressione relativa maggiore di 0,5 bar.

Tra le principali novità introdotte dalla normativa c'è il concetto di Organismo Notificato, assente nel settore degli apparecchi a pressione, quale ente certificante per le attività di costruzione delle apparecchiature a pressione. La nomenclatura è stata, inoltre, ulteriormente arricchita da termini quali attrezzature a pressione, intendendo ogni parte soggetta a una pressione interna (tubazioni, apparecchi a pressione, etc) con l'eccezione degli accessori a pressione e degli accessori di sicurezza, cioè mezzi volti a limitare la pressione in determinate circostanze. La PED identifica come responsabile unico del processo produttivo il fabbricante, coadiuvato per alcune attività dall'Organismo Notificato che, però, conserva solo una responsabilità civile. Ultima importante innovazione è stata la previsione di una procedura dedicata per i fabbricanti che operano in sistema di gestione qualità.

Importante è la classificazione per livello di pericolosità per cui la PED impone ai fornitori di identificare il livello di pericolosità dell'apparecchiatura costruita. Essi sono tenuti a riconoscere i pericoli dovuti alla pressione e quindi a progettare e costruire l'apparecchiatura tenendo conto di tale analisi. Il livello di pericolosità è legato al concetto di energia immagazzinata nell'apparecchiatura. L'energia immagazzinata è valutata sulla base dei seguenti parametri:

- dimensioni dell'apparecchiatura (volume nel caso di recipienti, diametro nel caso di tubazioni);
- pressione;
- temperatura;
- pericolosità del fluido;
- condizioni di esercizio e installazione.

Questi parametri determinano la classificazione dell'apparecchiatura in sei classi di pericolosità crescente:

- esclusione dalla direttiva (art.3 comma 3);
- corretta prassi costruttiva sufficiente;
- classe I, II, III, IV

Se l'apparecchiatura ricade in classe I, II, III o IV, è obbligatorio emettere la Dichiarazione di Conformità ed apporre il Marchio CE, operazione che viene autorizzata dall'organismo notificato. Per poterla apporre il fabbricante deve seguire, in ogni fase realizzativa, prescrizioni sempre più impegnative al crescere della classe. Tali prescrizioni variano sulla base del prodotto fornito. La classe I, nella quale ricadono le apparecchiature meno pericolose, richiede fondamentalmente un controllo di qualità interno del fornitore. Le richieste sono più onerose nelle classi superiori, fino alla classe IV che richiedono l'intervento e/o la supervisione di un Organismo Notificato (Notified Body) nelle principali fasi produttive: progettazione, fabbricazione, collaudo, documentazione.²⁵

²⁵ Sitografia[2]

5 AUTOMOBILI AD ARIA COMPRESSA

I combustibili fossili che alimentano il panorama mondiale dei motori a scoppio sono una fonte di energia destinata a finire. Potrà non sembrare così quando, ancora oggi, ci si ferma per fare il pieno alle nostre automobili nella strada per il lavoro ma il petrolio è una risorsa che sta gradualmente esaurendosi. L'aria nelle nostre città sta diventando sempre meno salutare e, non ultimo, le persone sono stanche di continuare ad arricchire le compagnie petrolifere che lucrano sulle variazioni del prezzo del greggio. I produttori di automobili che conoscono questa situazione stanno investendo tempo e denaro per trovare e sviluppare il carburante del futuro. Le ricerche sono ancora in corso, ma quale potrebbe essere il carburante del prossimo futuro ad oggi? Il petrolio, il gas, il metano stanno diventando via via più difficili da trovare così le case produttrici si sono indirizzate verso lo sfruttamento di tecnologie innovative, come le batterie, che consentano di diversificare le fonti di energia per l'alimentazione dei veicoli senza quindi essere costretti a usare gli idrocarburi. Queste batterie vengono caricate attraverso l'immissione di energia e, posizionate nelle automobili, sono in grado di rilasciarla producendo movimento. Per quanto buona ed innovativa possa sembrare questa idea alcuni produttori ritengono che l'utilizzo di motori alimentati da aria compressa possa essere una tecnologia decisamente più efficiente.

Aria? Come prima impressione sembra fin troppo bello che un'automobile possa essere mossa solo con l'aria. Se potessimo utilizzare l'aria come carburante perchè pensare ad altre soluzioni? L'aria è tutto intorno a noi. L'aria non finirà mai. L'aria non è inquinante. Ma più di tutto l'aria è priva di costi.

Sfortunatamente l'aria da sola non può essere usata come carburante. Come prima cosa l'aria deve essere stoccata attraverso un compressore in contenitori adatti a sopportare enormi pressioni, una volta rilasciata quest'aria compressa si espande e può essere usata, ad esempio, per muovere i pistoni che danno forza ad un motore.

Le leggi della fisica sostengono che gli elementi allo stato gassoso si distribuiscono occupando ogni spazio possibile a loro disposizione. La maniera più semplice per vedere come funziona questa legge è quella di gonfiare un palloncino d'aria. Man mano che questa viene immessa verrà trattenuta all'interno del palloncino ma se proviamo a forare questa

superficie l'aria compressa al suo interno si espanderà con violenza nell'atmosfera esterna causando la rottura del palloncino stesso.

In buona sostanza comprimere un gas in uno spazio ristretto è un modo per immagazzinare energia. Quando il gas si ri-espande libera energia che può essere utilizzata per produrre movimento. E' questo il principio basilare che fa muovere un'auto ad aria compressa.



Figura 5-1 Ricarica del compressore installato a bordo di un'auto ad aria compressa

Le auto ad aria incorporano un compressore che servirà per rifornire l'automobile, dopo aver viaggiato, direttamente nei nostri garage prelevando l'aria che sta tutto intorno a noi. Questo metodo, sebbene molto comodo, è anche molto lento e occorreranno dalle tre alle quattro ore di tempo per riempire completamente i serbatoi di aria compressa dell'autovettura.

Si dovrà provvedere così alla diffusione di stazioni di ricarica ad aria anche nelle normali aree di rifornimento carburanti dove grazie a compressori molto più potenti sarà possibile fare il "pieno d'aria" in tre minuti circa.

Sebbene le caratteristiche di design e di velocità massima siano assai differenti dalle attuali automobili, il vantaggio di sfruttare l'aria compressa per muovere un'autovettura risiede nel fatto che il veicolo così equipaggiato produce emissioni inquinanti trascurabili: uscirà solamente aria dal tubo di scappamento. In effetti, come si vedrà nei capitoli successivi, sono previsti diversi modi di funzionamento del motore alimentato ad aria compressa e, per alcuni di questi, è associato un consumo di una modesta dose di benzina e quindi l'immissione di una limitata quantità di CO₂ nell'atmosfera.

Le auto ad aria inoltre sono progettate per essere più leggere delle vetture convenzionali, caratteristica che incide significativamente sull'efficienza di questi motori.

Un altro vantaggio è che permetteranno all'utilizzatore di risparmiare notevolmente sul costo del "carburante" che non sarà più valutato in euro al litro come per le attuali vetture alimentate da derivati del petrolio e quindi soggette alla volatilità del prezzo del greggio,

ma in euro al KW. Infatti il rifornimento di aria compressa nelle bombole di accumulo verrà effettuato, tra le altre possibilità, tramite collegamento del compressore installato a bordo macchina alla presa di corrente casalinga. Una stima della MDI, produttore pioniere nell'ambito delle vetture ad aria, fa notare che il costo per il rifornimento completo dei serbatoi di aria compressa dovrebbe assestarsi attorno a circa 2€ di elettricità.²⁶

Secondo una pubblicazione del sito americano greenoptions.com, l'impatto sull'ambiente di un'auto ad aria compressa dovrebbe essere di 0,176 libbre di anidride carbonica per miglio percorso. Per comparazione riportiamo anche la stima della Toyota Prius Hybrid, una vettura dotata di sistema a propulsione ibrido batterie/motore a combustione, che è di 0,340 libbre di anidride carbonica per miglio percorso.²⁷

Quindi anche se nemmeno un'auto ad aria compressa può dirsi totalmente libera dall'inquinamento presenta comunque un significativo passo in avanti a confronto con modelli di macchina ibrida soprattutto perché si tratta di una tecnologia piuttosto economica, data la semplicità degli elementi che la compongono e l'assenza delle dispendiose batterie, e inoltre adatta a modelli di vetture compatti.

²⁶ Sitografia [14]

²⁷ Sitografia [10]

5.1 TERRY MILLER



Figura 5-2 Terry Miller a bordo di Air Car One

La riscoperta dei mezzi di trasporto ad aria compressa è dovuta al “pioniere” Terry Miller che nel 1979, dopo aver completato un progetto di auto “a molla”, concluse che l’aria compressa poteva rappresentare il mezzo ideale per accumulare energia. Miller costruì e brevettò la sua “Air Car One” con 1.500\$. Fece viaggi dimostrativi “coast-to-coast” richiamando l’attenzione dei media ma non delle grandi case automobilistiche. Successivamente, con Toby Butterfield di Joplin (Missouri), realizzò un altro prototipo di auto nominato “Spirit of Joplin Air Car”. Miller realizzò in tutto tre prototipi funzionanti caratterizzati da budget modesti ed assemblati usando pezzi di ricambio e recupero di altri motori. I motori ad aria

compressa di Miller utilizzavano fino 4 stadi di espansione in cascata. I serbatoi dell’aria compressa erano in fibra di vetro per pressioni di lavoro fino a circa 240 bar. La potenza era ottenuta espandendo l’aria a circa 36 bar e poi, successivamente, regolando la pressione tra 36 bar e la pressione atmosferica. La velocità di trasporto dei prototipi realizzati non era molto elevata. In questo modo però si ovviava al problema di tutti i motori ad aria compressa: il blocco del deflusso dell’aria per la produzione di ghiaccio conseguente alla espansione e alla presenza di umidità nell’aria compressa. Un processo lento favorisce il riscaldamento delle parti raffreddate dall’espansione dell’aria evitando la formazione di ghiaccio nelle tubazioni di espansione. Terry Miller è morto nel 1997 lasciando in eredità i diritti di sfruttamento dei suoi progetti, le sue esperienze, i dettagli dei suoi prototipi, alla figlia ed a Toby Butterfield (deceduto nel 2002).²⁸

²⁸ Sitografia [4]

5.2 DA EOLO AD AIRPOD: LE INVENZIONI DI GUY NÈGRE

Guy Nègre, nato a Narbonne l' 8 febbraio 1941, è un ingegnere francese, ex progettista di motori per la Formula 1 dove per diversi anni nel team Williams. A contatto con motori e tecnologie spinte al limite per guadagnare secondi sugli avversari Nègre si chiese ben presto se fosse possibile utilizzare un vettore energetico diverso dagli attuali idrocarburi inquinanti per produrre movimento.

Nel 2001 presentò al Motorshow di Bologna un'automobile, da lui definita come rivoluzionaria, funzionante con un motore ad aria compressa, costruita interamente in alluminio tubolare, fibra di canapa e resina, leggerissima ed ultrasensibile. Il nome commerciale della macchina era Eolo.



Figura 5-3 Eolo di Guy Nègre

Nègre dichiarò che l'automobile era in grado di percorrere 100 km con una spesa di 0,77 euro, poteva raggiungere una velocità di 110 km/h, e funzionare per circa 10 ore consecutive nell'uso urbano. Dallo scarico usciva solo aria, ad una temperatura di circa -20°, che veniva utilizzata d'estate per far funzionare l'impianto di condizionamento.²⁹

Sempre secondo le affermazioni del progettista e del produttore MDI (Motor Development International) che ne acquistò il brevetto, il veicolo avrebbe dovuto rifornirsi, nel giro di qualche ora, con un compressore interno collegato ad una presa della corrente domestica o, in alternativa, sfruttando delle apposite colonnine simili a quelle per gonfiare le ruote, in stazioni di rifornimento impiegando solo qualche minuto. La vettura avrebbe inoltre richiesto poca manutenzione e un costo di acquisto-gestione relativamente basso.

²⁹ Sitografia [1]

Anche grazie a queste affermazioni incontrollate, la vettura suscitò un grande scalpore al Motorshow, tanto che il produttore fu subissato di richieste di prenotazione. La produzione doveva partire all'inizio del 2002, ma dopo la presentazione il progetto si arenò. Le motivazioni sono da ricercare soprattutto sotto l'aspetto tecnico legato al congelamento delle tubazioni a causa dell'espansione dell'aria immagazzinata ad alta pressione e conseguentemente alla mancanza di grandi investitori pronti a supportare una tecnologia lungimirante ma in contrasto con la supremazia delle aziende petrolifere.

Va evidenziato che l'interesse per l'iniziativa di Nègre è da focalizzarsi sia sull'aspetto tecnico di sviluppo del motore ad aria compressa e sul cinematismo brevettato, sia sull'idea di business incentrato sulla produzione di auto (con impiego di tecnologie e materiali leggeri innovativi, fornitori locali operanti in rete) in stabilimenti di piccola dimensione, decentrati nelle zone di utenza, per evitare gli elevati costi di distribuzione e di assistenza.

La difficoltà nel comunicare e far accettare questa idea agli addetti ai lavori e ai futuri utenti, è uno dei motivi principali che hanno frenato e bloccato il decollo della Eolo. Infatti lo sviluppo del motore ad aria compressa in MDI ha avuto una lunga stasi tra il 2002 e il 2005 finendo, tristemente, in una bolla di sapone, tra accuse di complotti delle società petrolifere e problemi tecnologici di difficile risoluzione: il congelamento dei componenti a causa delle basse temperature e la quantità elevata di energia dispersa durante il ciclo dei pistoni i principali. Tra gli altri motivi che decretarono il fallimento ci furono probabilmente una serie di cause come: la carenza di efficacia delle strategie di sviluppo della MDI, la disponibilità di cassa per investimenti a medio e lungo termine, l'affidabilità nel tempo dei prodotti, l'omologazione da parte degli organismi di controllo, la protezione dell'innovazione e la creazione di una rete commerciale efficiente.

A distanza di dodici anni dalla presentazione di Eolo, l'ing. Nègre e la società MDI titolare dei brevetti ci riprovano con il progetto Airpod che verrà realizzata per il mercato italiano in Sardegna dalla società Air Mobility.

In un'intervista condotta da "Tiscali Motori" nel Luglio 2014, il Dott. Giovanni Monni, in qualità di amministratore unico della società Air Mobility con sede a Cagliari, garantisce che ogni tipo di difficoltà tecnica legata alla prima esperienza di Eolo è stata superata e che, altresì, sarà questione di pochi mesi prima di vedere le prime auto circolare su strada.

5.2.1 AIRPOD

E' piccola, leggera e sta per fare il suo debutto sul mercato: l'auto che funziona ad aria si chiama AirPod. Si tratta di una microcar che sarà omologata come quadriciclo leggero e potrà quindi essere guidata anche dai sedicenni. La vettura è un po' la capostipite di una famiglia di veicoli ad aria compressa che si allargherà nei prossimi anni con un modello destinato ai quattordicenni, per proseguire con una berlina per famiglie e arrivare infine ai veicoli commerciali, compresi anche dei mezzi agricoli che consentiranno di lavorare la terra a impatto ambientale zero.

La compatta AirPod eroga una potenza di 7 kW, che consente una velocità massima di 80 km/h e ha una curva di coppia piatta di 45 Nm. Ciò significa che la forza a disposizione per l'accelerazione è disponibile fin dalla partenza da fermo, senza dover aspettare di portare il motore a un certo regime di giri come avviene nei veicoli a propulsore tradizionale. Saranno invece più potenti gli altri modelli che arriveranno in futuro, come la AirOne e la AirCity, con quest'ultima che si annuncia come un'auto vera e propria in grado di fornire 25 kW di potenza e di raggiungere una velocità di punta di 130 km/h.³⁰



Figura 5-4 L'Ing. Guy Nègre durante la presentazione di Airpod

³⁰ Sitografia [23]

Con uno stile futuristico e sicuramente innovativo, L'AirPod consente di trasportare 3 persone e sarà provvisto di un joystick per sostituire il classico volante. Un mezzo da città con una lunghezza di poco più di 2 metri e con la possibilità di recuperare energia anche dalle frenate (come avviene per la Toyota Prius).

Le vetture prodotte finora sono realizzate in vetroresina, materiale notoriamente molto leggero che permette una consistente riduzione di peso e un risparmio in termini di consumo. Raggiunge infatti -secondo i dati dichiarati dal Costruttore- gli 80 km/h ed ha un'autonomia stimata in città di 120 a 150 km (a circa 18,7km/h media che corrisponde al ciclo urbano europeo 195s) garantendo circa 6 ore ½ di funzionamento.

Dal punto di vista tecnico la AirPod è dotata di un motore che sfrutta l'aria compressa immagazzinata in un'apposita bombola installata a bordo (realizzata con materiali appositamente progettati per garantirne la sicurezza in caso di fessurazione) per garantire la propulsione. I tempi di 'ricarica delle bombole di aria compressa' varieranno in funzione della tipologia di ricarica adottata e, nel migliore delle ipotesi potranno attestarsi intorno ai 2 minuti presso un'apposita stazione di servizio. Di conseguenza i produttori stimano che i costi di utilizzo siano davvero contenuti e pari a circa 1 euro/100km,

L'aria rilasciata andrebbe a muovere il motore della AirPod fuoriuscendo 'allo scarico' con una temperatura di circa -10° C che sarebbe anche 'sfruttata' per climatizzare l'abitacolo.³¹

³¹ Sitografia [14]

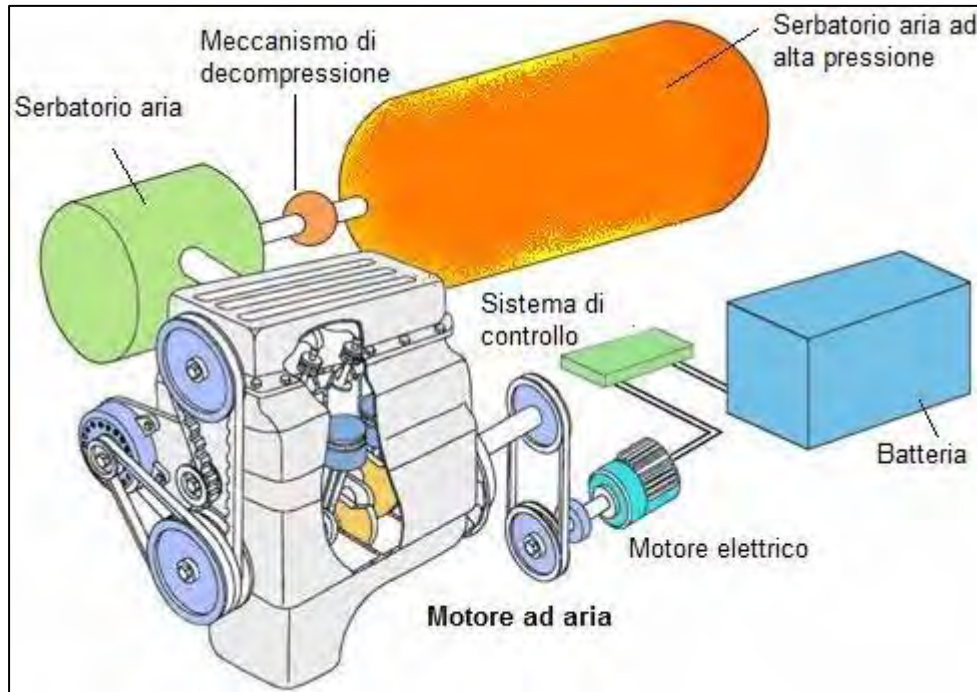


Figura 5-5 Componentistica meccanica dell'auto alimentata ad aria compressa

I vantaggi del veicolo 'spinto' ad aria compressa sono molteplici e così riassumibili:

- La Airpod viene promossa ad un costo di circa 7000 euro, quindi molto inferiore alle auto elettriche di pari categoria in ragione della componentistica necessaria per la produzione è molto più limitata ed economica.
- Non necessita di costose batterie ma solo di semplici bombole nelle quali incamerare l'aria compressa. Le bombole utilizzate su dei mezzi mobili devono essere fatte di alluminio (o termoplastica) e di fibra di carbonio. Un tale serbatoio è molto leggero (peso di base da 35 a 40 kg per 100 litri a 248b) e sicuro infatti i serbatoi vengono testati con pressione pari a 2,35 volte la pressione di utilizzo. Se si parla di un confronto con gli accumulatori al piombo, i valori sono quasi raddoppiati per la tecnologia dell'aria compressa:
 - Densità energetica di accumulatori al piombo: inferiore a 35 Wh/kg
 - Densità energetica di un serbatoio in fibra di carbonio come quello dall'AirPod (peso complessivo con l'aria dentro) : 64 Wh/kg;³²

³² Sitografia [22]

- Minor inquinamento ambientale (rispetto alle auto elettriche non è necessario smaltire le batterie);
- Tempi di ricarica nettamente inferiori rispetto alle auto elettriche.

Solo vantaggi dunque? In realtà in molti sostengono che le auto ad aria compressa siano ancora poco performanti in termini di prestazioni pure e di rendimento globale; a ciò va aggiunto l'aspetto legato alla ricarica delle bombole di aria compressa che se effettuato tramite compressori alimentati da energia elettrica va ad impattare negativamente sull'aspetto legato all'ambiente. Il rendimento durante la compressione dell'aria, secondo uno studio dell'Ing. Guy Nègre che da più di vent'anni si occupa di automobili alimentate ad aria, può essere stimato attorno a un 60%; gli accumulatori elettrici hanno invece rendimenti attorno al 80% durante la fase della ricarica. Quindi a fronte di un maggior comfort derivante dalla ricarica più veloce c'è un maggior dispendio di energia in questa operazione.³³

Ovviamente è necessario considerare che gli aspetti negativi (performance, autonomia, ecc.) sono fortemente legati all'attuale 'stato dell'arte' di queste tecnologie che, se adeguatamente finanziate e sviluppate, potrebbero avere degli sviluppi molto favorevoli.

L'aspetto legato all'impatto ambientale, in particolare all'energia occorrente per ricaricare le bombole d'aria, potrebbe essere 'superato' se, poniamo ipotesi, la stessa energia occorrente venisse ricavata da fonti rinnovabili come il fotovoltaico, l'idraulico l'eolico.

Dal punto di vista commerciale, l'esordio dell'AirPod è previsto inizialmente in Francia ai clienti che l'hanno ordinata tempo fa, mentre più avanti la distribuzione inizierà anche negli altri Paesi europei. Innovativo si annuncia però l'approccio con il mercato che MDI ha intenzione di mettere in atto, dato che la vetturina ad aria compressa non sarà venduta tramite concessionari ma tramite le stesse fabbriche che la produrranno, con l'obiettivo di azzerare i costi di distribuzione dagli stabilimenti ai rivenditori che incidono non poco sul prezzo di listino di un'autovettura.

A tal proposito la MDI ha deciso di investire sulle fabbriche piuttosto che sui concessionari, così il piano di sviluppo dell'azienda di Lussemburgo, prevede nei prossimi 3 anni

³³ Sitografia [22]

l'allestimento di 25 fabbriche in Francia e a seguire, l'impianto di 20 piccole fabbriche in Italia, individuando gli stabilimenti deputati all'assemblaggio tra le aziende che si renderanno disponibili per prendere parte al progetto. Ciò che non manca è anche l'ambizione in casa MDI, al punto che i vertici del gruppo stimano una produzione annua di 140.000 veicoli ad aria nella sola Italia, un obiettivo che potrebbe essere reso possibile grazie al competitivo prezzo d'accesso di 7.000 euro.³⁴

Di seguito la scheda tecnica redatta dalla casa costruttrice:



 Caractéristiques techniques <i>Technical specifications</i> 	
AirPod	
Moteur - Engine	
Type moteur - Engine type	Moteur réversible à air comprimé, 2 cylindres en ligne chacun équipés de chambre active incluse, distribution variable, bloc moteur et culasse en aluminium - Reversible compressed air engine, 2 cylinders in line each having an included active chamber, variable valve timing, crankcase and head in aluminium.
Cylindrée - Cylindrée	430 cm ³
Puissance max. - à tr/min - Max. power - @ rpm	10.2 cv (7 kW)- 1500 tr/min
Couple max. Nm - à tr/min - Max. torque - @ rpm	45 Nm - de 250 à 1500 tr/min - from 250 to 1500 rpm
Transmission - Transmission	
Mode de transmission - Transmission type	Transmission aux roues arrière par boîte de vitesses, avec gestion électronique de récupération instantanée d'énergie cinétique en phase de décélération - Transmission to rear wheels through Gearbox with an electronic management of a kinetic energy recover during deceleration phases
Boîte de vitesses - Gearbox	Boîte automatique à trois vitesses + marche arrière (rapports: Pont: 5 - 1ère 2.54:1 - 2ème 1:1 - 3ème 0.4:1) - Automatic gearbox with 3 gears + reverse (ratios Final: 5 - 1st 2.54:1 - 2nd 1:1 - 3rd 0.4:1)
Châssis / direction - Frame / steering	
Châssis - Frame and structure	Base technique (sandwich composite fibre de verre / mousse polyuréthane) intégrant 30 fonctions (dont la structure des sièges) - Technical basement (composites sandwich glass fibre / polyurethane foam) integrating 35 functions (i.e. seats structure)
Type de véhicule - vehicle type	Quadricycle léger (L7e) - Light quadricycle (L7e)
Nombre de passagers - Number of passengers	2 passagers (face à la route) 2 seats (facing the road)
Direction - Direction	Assistée électriquement (par joystick ou volant) - Electrically assisted (by joystick or steering wheel)
Freins - Brakes	4 freins à disque - 4 discs brake
Jantes - Rims	Av: 2.5 x 10 Ar: 15 x 3.5 Aluminium
Pneus - Tires	Av: 3.00 x10 Ar: 135/65 x 15
Réserves d'énergie - Energy tank	
Type - Type	Type IV liner thermoplastique et enroulement filamentaire de fibre de carbone - Type IV, thermoplastic liner and carbon fibre wiring
Volume/Pression - Volume/Pressure	2 x 125 litres / 248b
Selon directive CE - Based on EC norm	ECE R 110
Poids - Weight	
Poids à vide - Kerb weight	280 kg
Performances - Performances	
Vitesse maxi - Vitesse maxi	80 km/h
Autonomie en cycle urbain - Urban cycle range	130 km (en cycle urbain) -130 km (urban cycle)
Autonomie maxi suivant utilisation - Max range	jusqu'à 150km - up to 150km depending on use

Figura 5-6 Scheda tecnica di Airpod

³⁴ Sitografia [14]

5.3 LA TECNOLOGIA DELL'AUTO AD ARIA COMPRESSA SVILUPPATA DA MDI

5.3.1 IL MOTORE

Una premessa: l'aria non sviluppa energia di per sé, ma la accumula nel momento in cui viene compressa. Produce lavoro, insomma, nel momento in cui si espande.

Il funzionamento di un motore ad aria compressa è simile a quello per i motori a scoppio. Quello sviluppato dalla MDI di Guy Nègre è un bicilindrico in cui la fase dello scoppio della miscela aria-combustibile è sostituita dall'immissione di un getto di aria ad alta pressione che muove uno dei due pistoni. L'aria compressa è immagazzinata all'interno di particolari serbatoi, in grado di contenerla a pressioni elevate, a 248 bar. Quando il circuito si apre permette all'aria di essere spinta all'interno di una camera. In questo modo si alimenta una turbina, che a sua volta si mette in contatto con i pistoni tramite un albero motore. La turbina, girando, mette in funzione l'albero e dà il via al moto dei pistoni.

Si tratta di motori, secondo la casa produttrice, con efficienze eccezionali che lavorano secondo un ciclo termodinamico nel quale la fase di alimentazione del motore si fa a pressione costante (e quindi a temperatura costante). Questa fase di creazione del volume da espandere viene fatta in una "camera attiva" creando un lavoro sull'albero motore ed aumentando il rendimento. Il raffreddamento dell'aria dovuto all'espansione avviene nel motore (una volta che la valvola di iniezione è chiusa), e se si forma del ghiaccio, questo è spinto fuori durante la fase di scarico.

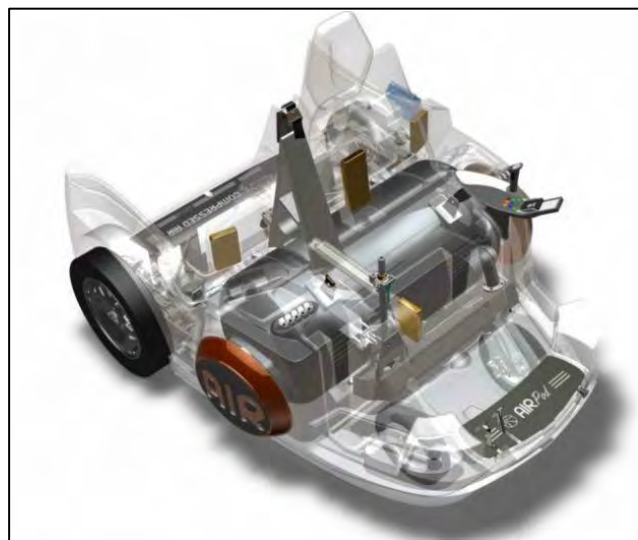


Figura 5-7 posizionamento del serbatoio e degli altri elementi meccanici su Airpod

I motori possono funzionare in tre modalità:³⁵

- Modo 1: motore a mono energia.

Si tratta della tecnologia applicata alla gamma di veicoli con soltanto aria compressa come fonte di energia ed un'autonomia sufficiente per un uso urbano. L'aria proveniente dal serbatoio ad alta pressione attraversa un riduttore di pressione (brevetto MDI che permette una trasformazione quasi isoterma). Viene quindi utilizzata in un sistema di espansione costituito da una "camera attiva" e un cilindro di espansione.

Questo nuovo ciclo termodinamico è composto da:

- alimentazione del cilindro di carica (o camera attiva) a pressione costante. Questa fase viene eseguita a pressione e temperatura costanti, produce una significativa energia sull'albero motore. Permette di raddoppiare l'efficienza di una espansione convenzionale;
- espansione del volume di aria creato dalla camera attiva nel cilindro di espansione;
- scarico.

Non ci sono emissioni inquinanti generate a livello di motore e l'utilizzo di energie rinnovabili nelle stazioni d'aria permette la produzione di un ciclo di energia completamente pulita (compressione - espansione).

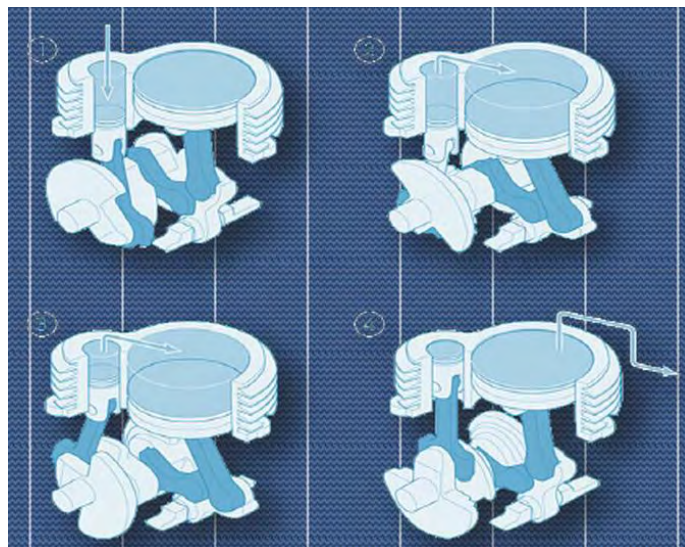


Figura 5-8 Descrizione del funzionamento di aspirazione-compressione-espulsione dell'aria nei cilindri

³⁵ Sitografia [22]

- Modo 2: motore a doppia energia

Il motore è esattamente lo stesso della modalità 1. Viene però aggiunto un bruciatore che si trova tra il serbatoio e il motore in cui una continua combustione a bassa temperatura aumenta il volume di aria aspirata e quindi aumenta l'autonomia del sistema. Lo scopo è quello di



Figura 5-10 Bruciatore brevettato da MDI

ovviare ai problemi connessi al congelamento dovuto alle basse temperature di esercizio. Non è assolutamente un motore termico addizionale, ma soltanto un

bruciatore esterno con un'alimentazione ed un serbatoio di benzina. Le prestazioni del motore in termini di coppia e potenza rimane identica alla modalità 1. Questa continua combustione ad una temperatura controllata attorno ai 600 ° C fa in modo che non siano prodotti ossidi di azoto ed elimina qualsiasi scarico di idrocarburi incombusti. Nonostante l'utilizzo di un combustibile fossile che rende la tecnologia parzialmente ibrida, si tratta

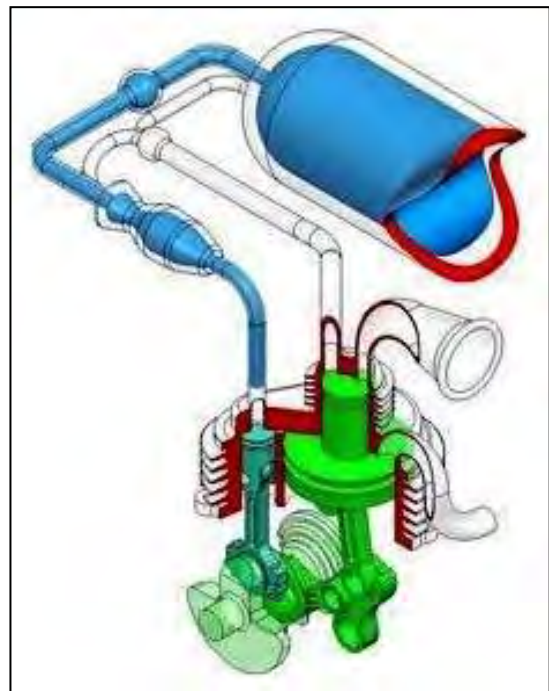


Figura 5-9 Funzionamento a doppia energia

di un motore pulito. A differenza del motore a combustione interna, è insensibile al carico (posizione dell'acceleratore) e fornisce impareggiabile efficienza del consumo.

Per esempio, su un AirPod, solo 0,3Lt/100 km (o 6,8 g di CO₂ per km) sono necessari per riscaldare l'aria proveniente dai serbatoi.

Il funzionamento in modalità 1 è sempre possibile per i prodotti dotati del sistema di incremento dell'energia appena descritto.

I vantaggi della tecnologia a doppia energie sono:

- L'autonomia viene moltiplicata:
 - o per 2 con una combustione a 300°C
 - o per 3 con una combustione a 600°C (circa 450km con l'AirPod)
- I consumi sono restano particolarmente bassi:
 - o 0,39 l/100km (+ l'aria nella bombola) se la combustione avviene a 300°C
 - o 0,54 l/100km (+ l'aria nella bombola) se la combustione avviene a 600°C
- Il funzionamento è automatico ed è controllato colla temperatura di combustione
- Si deve ricaricare il serbatoio di carburante soltanto ogni 10 pieni d'aria.
- Si può avere il riscaldamento della macchina utilizzando il calore prodotto dalla combustione
- Si può sempre avere l'aria condizionata (senza sovra consumi energetici) quando si utilizza la combustione a 300°C (lo scarico essendo ancora freddo).
- Modo 3: motore a doppia energia

Sfruttando la stessa tecnologia prevista dalla modalità 2, il motore dual-energy-modalità 3 ha un cilindro di dimensioni maggiori. Questo perché, essendo un vero motore a combustione con camere attive, con una maggiore dimensione si aumentano le emissioni in termini di portata affluente al bruciatore facendo diminuire notevolmente i consumi. Montato su un AirCity (la versione più spaziosa di Airpod) solo 2,5 litri di carburante sono necessari per percorrere 100 km a 100km/h (con solo 57 gr di CO2 per Km).

Inoltre è caratterizzato dal fatto che oltre i 50 km/h l'aria compressa immagazzinata nei serbatoi non viene più utilizzata. Un compressore d'aria combinato produce aria compressa alla pressione di esercizio che viene poi riscaldata nella camera di combustione esterna prima di essere trasferita nella camera attiva e nel cilindro di lavoro. Questa modalità di funzionamento viene utilizzato anche sotto i 50 km/h, quando il serbatoio è vuoto.

Insensibile al carico (posizione dell'acceleratore), il consumo ottenuto, grazie alla modalità doppia energia 3, è inferiore di 1 l / 100km nel ciclo urbano (solo 22,8 g di CO2 per km).³⁶

Questi due ultimi innovativi motori saranno installati sulle versioni "più potenti" rispetto all'AirPod che rimarrà puramente ad aria compressa con l'obiettivo di guadagnare l'interesse e il mercato della mobilità urbana.

E' da considerare inoltre che i motori delle macchine ad aria compressa necessitano solo di olio di lubrificazione esterna (meno inquinante di quello di altri tipi di vetture). La temperatura nella coppa dell'olio è di massimo 40°C. Nel motore c'è soltanto 1 litro d'olio, e siccome non si sporca (non avendo combustione) sono meno frequenti i cambi d'olio rispetto ad una macchina classica. L'assenza di un circuito di raffreddamento a liquido (la temperatura del motore, infatti, è al contrario, calda fuori e dentro arriva a meno 20 gradi centigradi) permette di raffreddare, in modo automatico, sia la parte esterna del motore, sia l'abitacolo interno, eliminando l'uso di costosi meccanismi di aria condizionata, che vanno ricaricati con gas pericolosi per l'effetto serra.

³⁶ Sitografia [22]

5.3.2 LE BOMBOLE PER LO STOCCAGGIO DELL'ARIA

Il motore dell'auto di Négre funge anche da compressore: quando viene collegato ad una presa di corrente, il motore in funzione spinge l'aria nella bombola, ricaricandosi. Come per le macchine elettriche, quindi, c'è bisogno dell'energia elettrica, comunque costosa. Al contrario però di queste ultime, dove le batterie per l'accumulo di corrente tendono a perdere nel tempo la loro piena capacità di immagazzinamento, la bombola presente nell'auto ad aria compressa è in grado di mantenere ben 20.000 cicli di carica, pari a 2 milioni di chilometri; ben oltre la durata di vita del veicolo. Inoltre, anche se immagazzinare l'aria nel compressore



Figura 5-11 Bombole per aria compressa a bordo di Airpod richiede più energia elettrica rispetto alla ricarica di una batteria (il rendimento a confronto è 60% per l'aria compressa contro 80% della batteria), l'auto utilizza meno energia durante il funzionamento perché notevolmente più leggera delle macchine elettriche.³⁷

A proposito di bombole: queste sono uguali a quelle usate per il metano ed usano gli stessi standard di sicurezza. In effetti era impensabile installare delle "normali" bombole ad alta pressione in acciaio zincato a bordo di automobili circolanti su strada. Innanzitutto per un problema legato al materiale stesso il quale risulta dotato di un peso specifico sicuramente non indifferente su di un'auto che fa della leggerezza il proprio cavallo di battaglia. In secondo luogo racchiudere una pressione di 248bar in un serbatoio di acciaio equivale ad installare una bomba a deframmentazione sotto al pianale dell'auto. Infatti in caso di urto o di incendio o di corrosione la rottura dell'involucro sarebbe improvvisa e tale da disintegrarsi esplodendo.

La soluzione è stata dunque quella di utilizzare bombole realizzate in fibra di carbonio analoghe a quelle usate per i veicoli spaziali, attualmente in uso per i corpi dei vigili del fuoco e quindi reperibili attualmente a costi accettabili ottenendo quindi bombole di peso

³⁷ Sitografia [23]

minore e pressioni leggermente più elevate che garantiscono anche una maggiore sicurezza considerando che tali recipienti, in caso di cedimento, si fessurano lentamente con la formazione di crepe che permettono al gas di disperdersi lentamente.

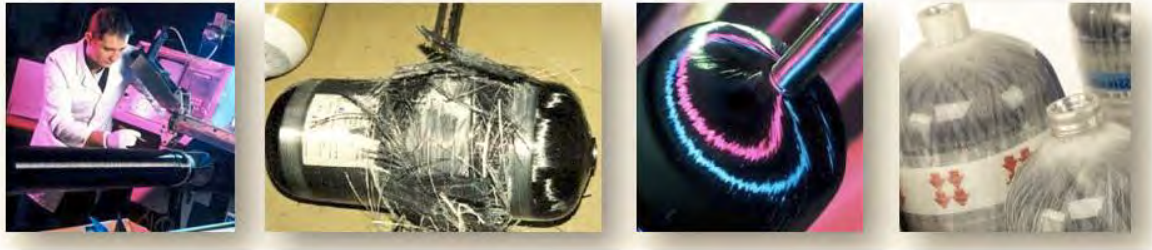


Figura 5-12 Ricerca e sviluppo su bombole per l'accumulo di aria a bordo automobile realizzate in fibra di carbonio

Ovviamente, essendo aria compressa il contenuto della bombola è nettamente meno pericolosa del gas utilizzato per altre tecnologie di movimentazione, anche in caso di perdite all'interno di zone chiuse. In ogni caso, come per le macchine a gas naturale, vanno effettuati i controlli di legge ogni 5 anni.³⁸

I vantaggi nell'utilizzo dell'aria compressa non finiscono qui. Potrà servire per raffreddare le bibite (tramite un apposito bauletto), per gonfiare i pneumatici del veicolo stesso e per mettere in azione gli airbag esterni in caso di incidenti.

³⁸ Sitografia [22]

5.3.3 CARROZZERIA E SICUREZZA

Le carrozzerie e i telai delle macchine MDI vengono costruiti in materiali composito. Un intenso lavoro di integrazione di funzioni è stato fatto per diminuire costi e numeri di pezzi nella distinta base. Ad esempio un AirPod è composto da una base (di soltanto 45 kg) e di tre pezzi di carrozzeria (assemblati fra loro).

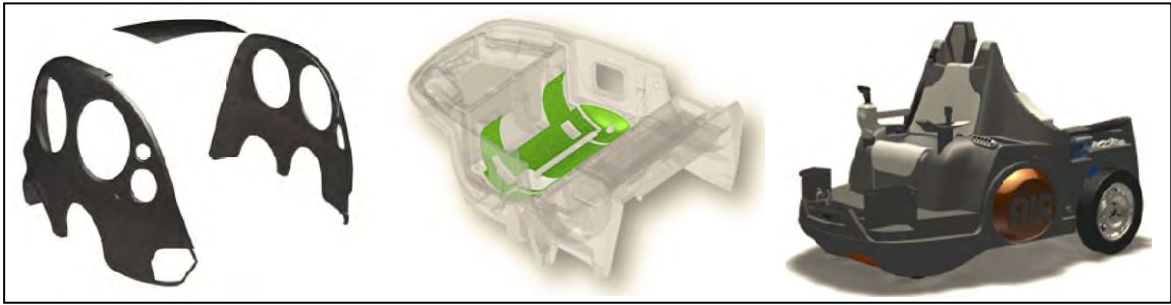


Figura 5-13 Composizione della carrozzeria di Airpod

I vantaggi della tecnologia RTM (Resin Transfer Modling) si possono riassumere in³⁹:

- Tecnologia adattata ad una produzione stimata fino a 10000 pezzi all'anno realizzati tramite stampatura.
- Durabilità nel tempo poiché è resistente all'acqua e non è soggetta alla corrosione della ruggine o degli agenti chimici
- Buone proprietà in caso di crash: Materiali a base di compositi possono assorbire fino a 120 kJ/kg contro 20 per l'acciaio
- l'utilizzo di RTM autorizza inoltre una grande libertà nelle forme, pure avendo altri vantaggi come:
 - o Spessori dei pezzi controllati
 - o Precisioni dimensionali
 - o Perfetto per contenere elettronica (senza danneggiare le prestazioni)
 - o Può agire come coibentazione termica

³⁹ Sitografia [1]

o Può agire come coibentazione fonica. In effetti, a causa dei regimi limitati del motore pari a 1500rpm, durante i test la rumorosità oscillava tra 69 e 71dB.

Questione delicata è la sicurezza. Siccome nelle bombole di accumulo è sempre prevista una soglia di riserva d'aria pari a 10bar, MDI prevede di utilizzare l'aria compressa per sistemi di sicurezza attiva. Sull'Airpod infatti verrà installato un airbag esterno che potrà diminuire danni in caso di crash o d'urto contro un pedone.



Figura 5-14 Airbag esterno su Airpod

Le altre macchine dalla gamma verranno invece omologate in categoria M1 e quindi dovranno superare le prove di crash test.

Nota interessante è che, non avendo il motore davanti ma sviluppando la meccanica dietro sotto il pianale del baule, c'è maggior spazio per alloggiare degli "crash box" e non si rischia di ritrovarsi il motore sulle gambe in caso di urto frontale.

5.3.4 PRESTAZIONI E GUIDABILITA'

Le autonomie delle macchine MDI sono sufficiente per un uso in città. I modelli a doppia energia garantiscono autonomie che danno la possibilità di uscire dal ciclo urbano. I valori per i vari modelli della gamma sono riportati di seguito :

- AirPod mono energia : 120-150 km
- AirOne mono energia : 100-120 km / AirPod doppia energia : 300-360 km;
- AirCity mono energia : 100-130 km / AirPod doppia energia : 300-390 km;

Le prestazioni di questi veicoli sono molto vicini di quelle dei corrispondenti mezzi elettrici. La curva di coppia del motore essendo piatta (e costante fra 250 e 1500 giri motore) garantisce sensazione di accelerazione pari alle macchine a batteria.⁴⁰

La guidabilità dell'Airpod può sembrare un punto critica, ma in realtà, la guida con un joystick è molto intuitiva. Quasi tutti dopo qualche minuto si adattano a questa guida che poi diventa molto confortevole. Dopo i primi test, una maniglia è stata aggiunta per la mano sinistra in modo tale che le due mani siano utilizzate come su di un volante normale. Questa miglioria ha dato ancora più di comfort all'autista.

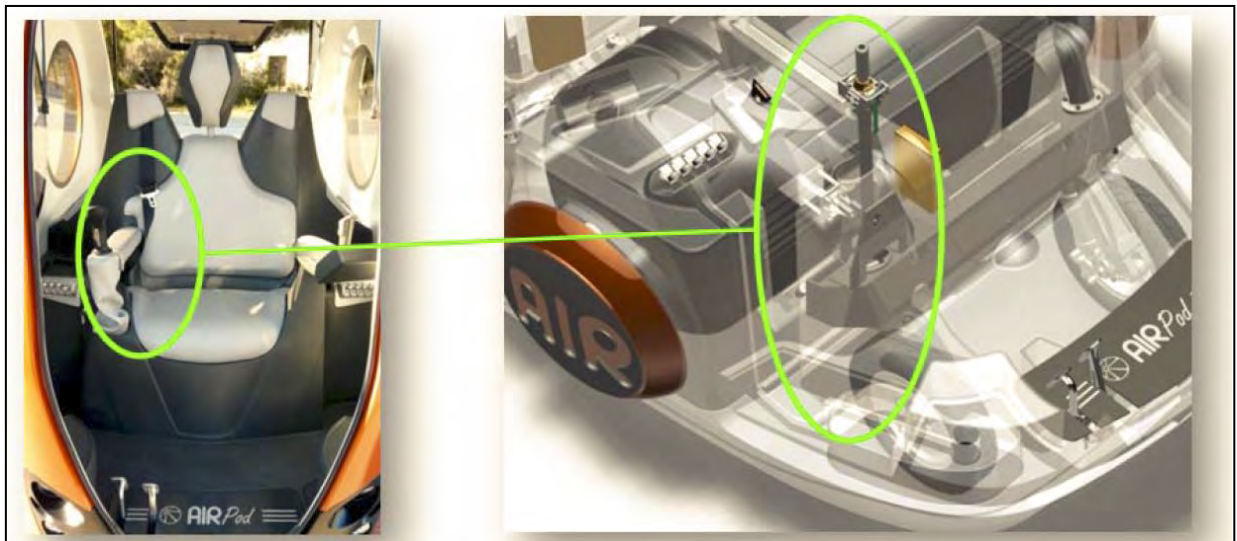


Figura 5-15 Sistema di guida su Airpod

⁴⁰ Sitografia [14]

5.3.5 SISTEMI DI RICARICA

Ci sono vari modi di riempire le macchine ad aria. Il primo, insito nella macchina stessa, consiste nell'utilizzare una normale presa elettrica per alimentare il motore ad aria che ha la caratteristica di essere reversibile e quindi di diventare compressore quando funziona in senso opposto a quello normale. In tale maniera è possibile ottenere una ricarica completa delle bombole in 3½- 4 ore con una presa a 32A o in 7-8 ore con una presa 16A.



Figura 5-16 Ricarica dei serbatoi a bordo di Airpod tramite compressore interno alimentato dall'energia elettrica proveniente dalla presa di corrente

In alternativa, qualora dovesse rendersi necessario durante il giorno, sarà possibile andare a fare il pieno presso apposite stazioni di servizio dotate di colonnine d'aria che permetteranno di trasferire l'aria, precedentemente compressa e stoccata in appositi serbatoi, dentro al contenitore di una macchina in soli 2 minuti.



Figura 5-17 Esempio di stazione di rifornimento per veicoli ad aria compressa

L'obiettivo finale, quando il numero di macchine sul mercato sarà sufficientemente elevato, sarà quello di predisporre un servizio di ricarica mobile. L'idea su cui si basa questo concetto è quella di attrezzare dei veicoli "cargo" con bombole di aria compressa e, durante l'orario notturno, effettuare il rifornimento delle auto parcheggiate all'esterno e aderenti al servizio in abbonamento tramite un localizzatore gps. Il cliente quindi non si preoccuperà più di dover fare il pieno d'aria. Questo servizio potrà anche essere molto utile nel caso di "car sharing". Le macchine non saranno più vincolate a delle stazioni, ma potranno essere lasciate dovunque nella città.⁴¹



Figura 5-18 Simulazione del servizio di ricarica "mobile"

⁴¹ Sitografia [14]

5.4 AUTO AD ARIA COMPRESSA IN AUSTRALIA

La Engineair con sede a Melbourne in Australia è una società concentrata nello sviluppo di tecnologie basate sui motori ad aria compressa. Diverso dagli altri convenzionali, il motore ad aria della Engineair, inventato dall'Ingegnere italiano Angelo Di Pietro, ha praticamente eliminato i problemi di attrito interni e di usura offrendo prestazioni superiori con un vasta gamma di requisiti applicativi.⁴²

Diverso dai motori rotativi esistenti, il motore di Di Pietro utilizza un semplice elemento rotante cilindrico (albero motore) che rotola, senza attrito grazie all'uso di appositi cuscinetti, all'interno dello statore cilindrico. Lo spazio tra statore e il driver dell'albero è suddiviso in 6 camere di espansione che ruotano in divisori. Questi divisori seguono il

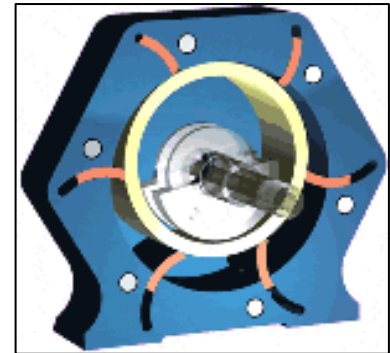


Figura 5-19 Motore ad aria compressa di Angelo Di Pietro

movimento del conducente dell'albero mentre rotola intorno alla parete dello statore. L'albero motore cilindrico, forzato

dalla pressione dell'aria sulla sua parete esterna, si sposta eccentricamente, in modo da essere guidato per mezzo di due elementi rotanti montati su cuscinetti sull'albero. Il movimento di rotolamento dell'albero motore all'interno dello statore è ammortizzato da una sottile pellicola di aria. Il tempo e la durata della presa d'aria e di scarico sono regolati da un timer scanalato che è montato sull'albero di uscita e ruota alla stessa velocità del motore. La variazione dei parametri di prestazione del motore può essere facilmente ottenuta variando il tempo durante il quale l'aria può entrare nella camera: un prolungato periodo di ingresso dell'aria consente a più aria di fluire nella camera e quindi si traduce in una maggiore coppia. Un periodo più breve di ingresso limiterà l'alimentazione dell'aria e permette all'aria nella camera di svolgere attività di espansione ad un rendimento molto più elevato. La velocità e la coppia motore vengono dunque semplicemente controllati strozzando il volume o la pressione dell'aria nel motore. Il motore Di Pietro dà coppia istantanea a zero giri e può essere controllato con precisione per un'accelerazione senza strappi.

⁴² Sitografia [5]



Figura 5-20 Statore del motore rotativo brevettato da Angelo Di Pietro

La velocità del motore e la coppia sono semplicemente controllate strozzando il volume o la pressione dell'aria nel motore. Il motore Di Pietro dà coppia istantanea a zero RPM e può essere controllata con precisione per dare inizio morbido e controllo dell'accelerazione.

Angelo Di Pietro Direttore R & D ha dichiarato: "Non c'è nessun altro motore buono come il nostro, l'invenzione ha una lunga lista di importanti miglioramenti rispetto ad altri motori, che lo rendono più efficiente". Tra gli altri lo stesso inventore evidenzia:

- Eccezionale efficienza fino al 94,5%
- Elevata coppia costante
- Basso numero di parti
- Basso numero di parti in movimento
- Praticamente nessun attrito
- Compatto e leggero
- Nessuna vibrazione
- È necessario solo 1 PSI di pressione per vincere l'attrito

“Questa sarà un tecnologia che servirà per soddisfare le necessità delle persone davvero in modo sostenibile difendendo l’ambiente. Così la fiducia nelle mie capacità, la passione, la

soddisfazione in creare qualcosa di unico e il fatto di aver individuato la necessità del mercato ha fatto in modo che potessimo creare un motore ad aria compressa veramente ottimo. Non vi è nessuno altro motore come il nostro, gli anni di ricerca e di analisi sugli altri motori in tutto il mondo mi hanno dato la fiducia e ho l'obbligo di dirlo! La necessità di creare tecnologie efficienti non è stata mai così imminente. I vantaggi offerti da questo motore ad aria compressa e di conseguenza delle autovetture ad aria compressa riguardano in primis la fabbricazione del motore stesso che richiede meno risorse e che beneficerà considerevolmente chi lo produrrà poi naturalmente chi lo utilizzerà e di conseguenza l'ambiente." Così, Angelo di Pietro, ha descritto la propria invenzione durante un'intervista rilasciata a "Pianetablunews".⁴³

L'invenzione del motore ad aria di Angelo Di Pietro ha una lunga lista di importanti vantaggi rispetto agli altri motori e il concetto di questo motore ad aria ha seriamente le capacità di cambiare il metodo che utilizziamo per spostarci oggi senza contare naturalmente i benefici del risparmio energetico. La Engineair nata nel 2000 con l'obiettivo di svolgere attività di ricerca e sviluppo sull'innovativo motore ad aria compressa si è concentrata su di un primo momento sullo sviluppo dei prototipi per testarne il concetto e capire le caratteristiche di rendimento del motore ad aria compressa. Durante gli ultimi anni la Engineair si è concentrata direttamente sui rendimenti e le migliorie di prestazione, della potenza, del peso e del consumo d'aria, arrivando all'attuale situazione di sviluppo che mostra prestazioni ed efficienza oltre lo stato dell'arte dell'attuale tecnologia dei motori ad aria compressa. Con questi risultati la società sta iniziando ora la commercializzazione del nuovo motore ad aria. Spiega Di Pietro "La tecnologia può essere applicabile a diversi tipi di veicoli, da quelli per il golf a veicoli di piccole dimensioni o automobili, motorini, autobus, barche o in macchinari industriali e locomotive. Esiste naturalmente anche l'opportunità di utilizzarlo in coppia ad impianti per la generazione di energia rinnovabile."

⁴³ Sitografia [21]



Figura 5-21 Esempi di applicazioni della tecnologia sviluppata da Angelo Di Pietro

Le prestazioni del motore ad aria di Angelo Di Pietro partono dal presupposto che le dimensioni del motore ad aria compressa sono notevolmente inferiori a quelle dei motori a diesel o a benzina con la stessa potenza. Tenendo presente parametri come la velocità, la forma, la frizione, il peso, il terreno e la temperatura atmosferica raggiungere un'autonomia di 150 km per un veicolo di 600 kg è più che fattibile. Pensare poi che ci sia veramente bisogno di un motore di 90 cavalli per spostarci è un errore di base. Specialmente se il requisito è quello di spostare una sola persona. La tecnologia di motore ad aria compressa che viene presentata infatti permetterà di progettare una nuova generazione di veicoli con una quantità di componenti considerevolmente minore dove l'energia viene utilizzata per spostare la persona e non un veicolo pesante e complesso.”⁴⁴

⁴⁴ Sitografia [9]

5.5 IBRIDI AD ARIA COMPRESSA

Di auto ad aria compressa finora se n'erano occupate soltanto case produttrici minori, ma recentemente hanno dimostrato un certo interesse verso questa tecnologia due delle principali case automobilistiche del mondo: la Peugeot e la Citroen.

Il Gruppo PSA Peugeot Citroen si è posto come obiettivo il raggiungimento nel 2020, di un consumo medio dei suoi veicoli che non superi i 2Lt /100 km. Per ottenere questo considerevole risultato i francesi scommettono su un nuovo sistema ibrido che sostituirà la "metà" elettrica con l'aria compressa.⁴⁵

In questo modo il sistema ideato da PSA andrà a rimpiazzare il pacchetto tradizionale motore elettrico + batterie + cambio CVT – reso celebre, per prima, dalla Toyota Prius Hybrid – con un nuovo schema che prevede un motore idraulico, un serbatoio di aria compressa e una trasmissione epicicloidale.

Al fine di ottimizzare l'efficienza energetica dell'auto, questo ingegnoso sistema ibrido si adatta allo stile di guida, scegliendo automaticamente tra tre distinti modi di funzionamento:

- Modalità a benzina

La modalità benzina, più indicata per viaggiare ad un ritmo costante, fa sì che la trazione riceva potenza unicamente dal motore a combustione interna, e fin qui niente di nuovo.

- Modalità combinata

Quando c'è bisogno di maggiore potenza, ad esempio su una salita o in caso di sorpasso, entra in azione il motore idraulico che aggiunge la sua potenza a quella del motore a combustione.

- Modalità Aria

Infine la modalità aria, che entra in scena alle basse velocità, ad esempio in città, funzionando in maniera indipendente, silenziosa e a emissioni zero.

⁴⁵ Sitografia [11]

La chiara analogia di questo sistema con il tradizionale ibrido elettrico, si completa, poi, con il sistema di recupero dell'energia, che – in maniera simile alla ricarica delle batterie del motore elettrico – utilizza l'energia cinetica accumulata in frenata e in decelerazione per comprimere l'aria nel serbatoio situato sotto il pianale dell'auto. Entrando più nell'aspetto tecnico, il sistema ad aria compressa permette di far passare l'auto a un sistema a zero emissioni che consiste nell'utilizzare l'aria per guidare un motore idraulico che modifica la trasmissione e passa a trazione anteriore. Proprio come le attuali auto ibride che raccolgono energia in frenata, anche quella ad aria compressa sarebbe in grado di ricaricarsi sia in frenata che in fase di decelerazione. Inoltre lo spazio nel cofano che serve a questo sistema è più o meno lo stesso che serve per sistemare la batteria elettrica.

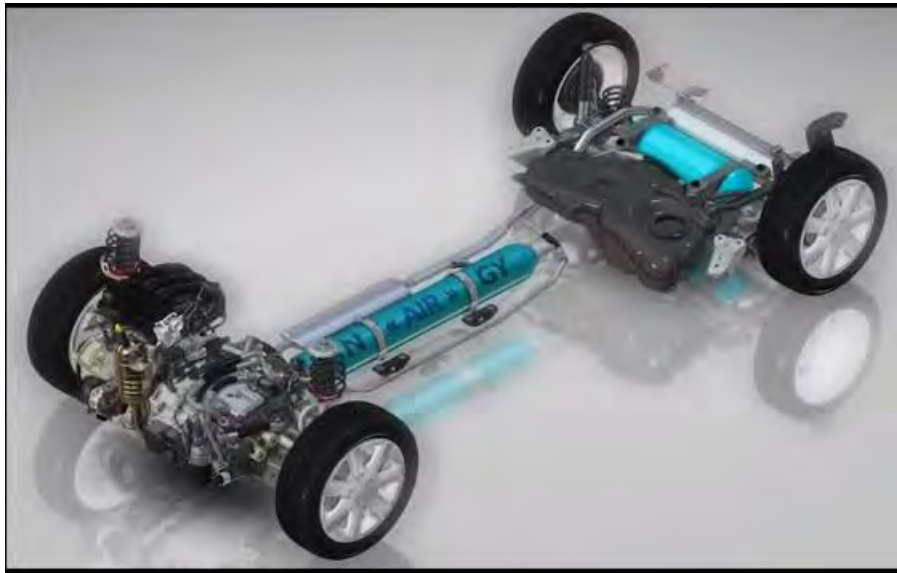


Figura 5-22 Hybrid Air sviluppato da PSA

Rispetto ai vantaggi, l'Hybrid Air sviluppato da PSA, elimina tutti quegli inconvenienti legati alle batterie agli ioni di litio, come ad esempio i costi elevati, la durata limitata e il difficoltoso smaltimento. E ancora, con il sistema ibrido ad aria compressa si riducono peso e volume, liberando spazio all'interno dell'abitacolo.

Stando a quanto dichiarato dal costruttore, con l'Hybrid Air, i veicoli potranno circolare senza generare emissioni per il 60-80% del tempo, abbattendo i consumi di circa il 45%. E inoltre l'autonomia potrebbe aumentare addirittura del 90% rispetto ai tradizionali sistemi ibridi-elettrici. Ma entrando più nello specifico, PSA, ha dichiarato consumi medi pari a

2,9l/100km con emissioni di 69g/km di CO₂ per il segmento B delle utilitarie come la Peugeot 208 o la Citroen C3. E proprio questo, precisamente, sarà il segmento destinato al nuovo sistema Hybrid Air. In ciclo combinato, dicono dalla Peugeot, l'auto ibrida ad aria compressa sarebbe in grado di percorrere circa 42 chilometri e mezzo con un litro di carburante. Ma ci sono potenzialità per portarla a 60 km/l. Inoltre, confrontata con l'attuale 208 che è l'auto meno inquinante della gamma Peugeot, abbatterebbe le emissioni di CO₂ passando dagli attuali 87 grammi per chilometro a 69.⁴⁶

⁴⁶ Sitografia [26]

6 RENDIMENTO DELLE AUTO AD ARIA COMPRESSA MDI

Quando si parla di rendimento, nel caso di motore ad aria compressa, si tratta dell'efficienza della fase di espansione dell'aria contenuta nella bombola. Si sente spesso dire che questa tappa si fa seguendo una trasformazione adiabatica (la peggiore non essendoci scambi fra l'aria che si espande e l'esterno dal motore). Ma in realtà, questa trasformazione è teorica, come lo è l'espansione isoterma (la migliore che ci sia essendo fatta a temperatura costante), e tutte e due non sono realizzabili.

Come dentro qualsiasi motore, l'espansione dell'aria compressa nei cilindri dei motori MDI si fa con curve politropiche (in mezzo fra quelle adiabatiche e isoterme). Il lavoro di ricerca degli ingegneri della MDI è stato, da anni, quello di creare cicli termodinamici per i quali il rendimento globale dell'espansione corrisponde a quello di un'espansione politropica con un coefficiente che si avvicina al massimo di quello dell'isoterma. La creazione di un ciclo termodinamico con camera attiva (l'iniezione nel motore essendo a pressione costante, e producendo un lavoro), la sua integrazione nel cilindro di espansione (per eliminare perdite di trasferimento d'aria) e la soppressione del riduttore di pressione nel ciclo (pure avendo una potenza massima costante mentre si abbassa la pressione nella bombola) sono i passi che hanno portato il rendimento medio di espansione fino a 68% (si intende rendimento medio quello ottenuto vuotando la bombola).⁴⁷

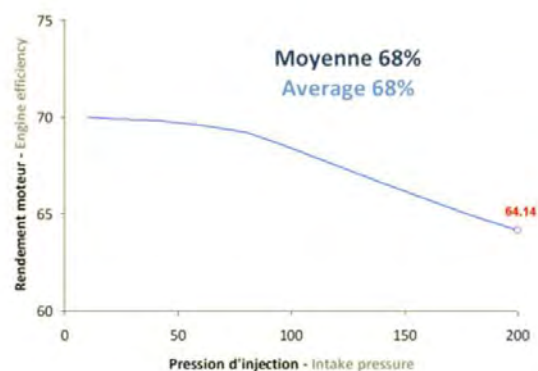


Figura 6-1 Rendimento del motore realizzato da Guy N gre (Fonte MDI)

⁴⁷ Sitografia [22]

Ovviamente, questo rendimento è dato confrontando i consumi specifici (in kg d'aria per kWh prodotto) nel caso di un volume d'aria (a pressione data) espanso nel motore MDI e nel caso dello stesso volume alla stessa pressione espanso seguendo una trasformazione isoterma.

Il rendimento di compressione è quello della fase di compressione dell'aria nelle bombole. I compressori raffreddati, con parecchi stadi di compressione, sono quelli che hanno i rendimenti più alti (la compressione essendo prossima alla trasformazione isoterma). Si sentirà spesso dire che "i compressori hanno 30 a 50% di efficienza". Questo vale soltanto per compressori "di garage" a lamelle e con rendimenti meccanici bassi. Oggi sul mercato esistono compressori multi stadio con quasi 60% di rendimento. L'EPFL di Lausanne sta lavorando su compressori per stazione dell'aria che danno la possibilità di riempire un AirPod in 3 minuti. I rendimenti ottenuti per questa compressione sono superiori al 70% (tenendo conto di un rendimento di riempimento veloce fra la stazione e la macchina di 95%).⁴⁸

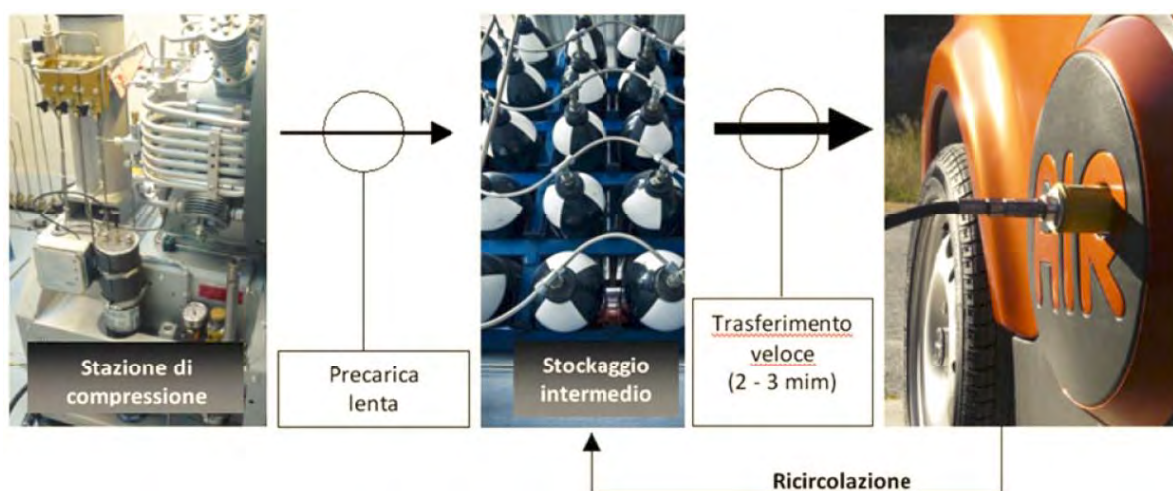


Figura 6-2 Ciclo di riempimento

MDI limita la pressione nelle bombole dei veicoli a 248 bar in modo da conservare un buon rendimento globale, trascurando i fenomeni di compressibilità dell'aria (che diminuiscono il rendimento mentre il valore di pressione nella bombola aumenta - perdite di quasi 15% a 350b).

⁴⁸ Sitografia [22]

Il rendimento complessivo⁴⁹ tiene conto sia della compressione che dell'espansione. Questo rendimento dipende dal modo di compressione (su stazione d'aria o utilizzando il motore della macchina che essendo reversibile può comprimere l'aria nella bombola). Complessivamente si ottiene un rendimento compreso fra 40 e 50 %.

Nel caso di una compressione utilizzando energie rinnovabile quasi gratis, il valore di rendimento complessivo assume un significato relativo.

Rispetto ai motori convenzionali, i motori MDI hanno vantaggi in termine di rendimento meccanico, principalmente dovuti ai parametri seguenti:

- Manovellismo tipo moto (con cuscinetti) e pressione ridotta nel circuito dell'olio (consumo della pompa olio: 14Wh);
- Non c'è raffreddamento motore (no pompa dell' acqua, no radiatore etc...);
- Basso consumo della distribuzione (utilizzo della pressione nel circuito motore per facilitare l'apertura delle valvole di "aspirazione");
- Regime motore massimo di 1500 giri (attrito più basso)

Senza nessun dubbio, l'energia contenuta nei serbatoti delle macchine MDI è molto inferiore a quella che si potrebbe ottenere utilizzando un carburante:

- Un litro d'aria compressa a 248b ed a 25°C contiene 0.037 kWh (0.13 MJ);
- Un litro di benzina contiene 9.1 kWh (32.8 MJ);
- Un litro di gasolio contiene 10.2 kWh (36.6 MJ)

L'energia immagazzinata in una bombola da 260 litri a 248b è di 9.7 kWh... poco più di un litro di benzina. Sapendo questo, è necessario tener conto del tipo di utilizzo (in città) delle macchine ad aria e quindi di considerare tutti i parametri che caratterizzano (in ciclo urbano) le tecnologie da confrontare. In città una macchina a benzina presenta un rendimento di circa 10-12% (dati OCDE - EPA). Questo perché il motore a scoppio si trova nella sua peggiore fase di funzionamento quando opera in ciclo urbano. Le auto MDI hanno un rendimento alla ruota pari al 60% (rendimento motore, rendimento meccanico e rendimento della trasmissione). Essendo questo rendimento di 6 volte superiore a quello di

⁴⁹ Sitografia [22]

un'auto a benzina, l'energia contenuta in una bombola di 260 litri a 248bar diventa allora equivalente a quella di 6.4 litri di benzina.⁵⁰

L'energia necessaria per movimentare un'autovettura cambia in funzione di parametri come:

- la superficie frontale della macchina;
- il suo Cx (coefficiente di resistenza aerodinamica);
- la sua massa;
- le perdite al rotolamento;
- il ciclo di guida

Nel caso di un uso in città, una macchina classica richiede 1 a 2 kWh per percorrere il ciclo ECE 195s. La tecnologia MDI (ed il tipo di costruzione dalle sue macchine) offre la possibilità di fabbricare veicoli leggeri che necessitano di poca energia per circolare.

Qui sotto qualche esempio di valori di energia necessaria in ciclo urbano per vari automezzi:

- (ARIA) ->MDI AirPod : 0.62 kWh - MDI AirOne: 0.87 kWh - MDI AirFamily: 1.41 kWh;⁵¹
- (ELETTRICO) -> Mini E: 1.97 kWh - Mitsubishi iMiev: 1.67 kWh - Smart EV: 1.4 kWh.⁵²

Per aumentare l'autonomia delle proprie automobili, la MDI ha sempre cercato di ridurre questo parametro, utilizzando vari sistemi come:

- un sistema di "stop and start" collegato con una gestione della trasmissione (eco-guida);
- un recupero di energia in frenatura;
- un sistema di condizionamento realizzato sfruttando l'aria dallo scarico (senza consumi energetici)

Combinata all'alto rendimento (dalla bombola alla ruota), l'energia necessaria per effettuare il ciclo urbano permette di conoscere il consumo energetico del veicolo (in kWh/100km).

⁵⁰ Sitografia [22]

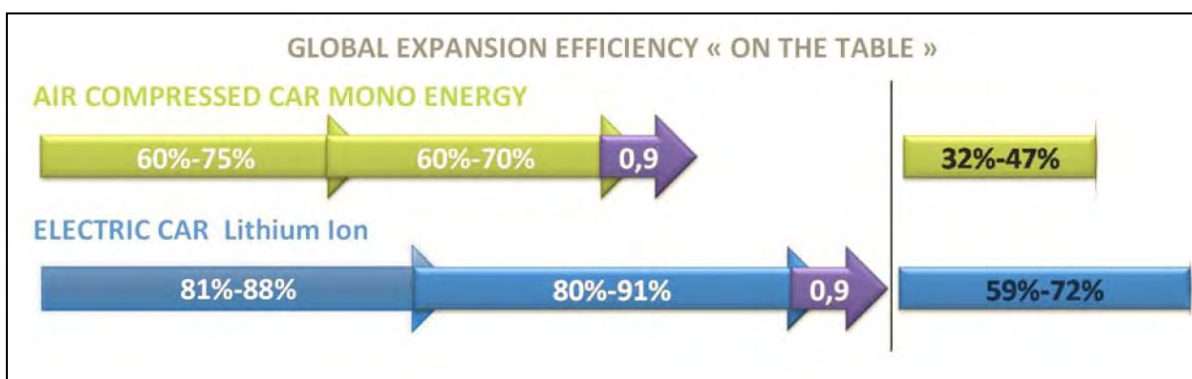
⁵¹ Sitografia [14]

⁵² Sitografia [6]

In funzione della carica si ha per un AirPod: da 7,7 a 12 kWh/100km (fra la presa e la ruota). Una "Imiev" elettrica, nelle stesse condizioni, ne spende fra 11,8 e 14,5 kWh/100km.

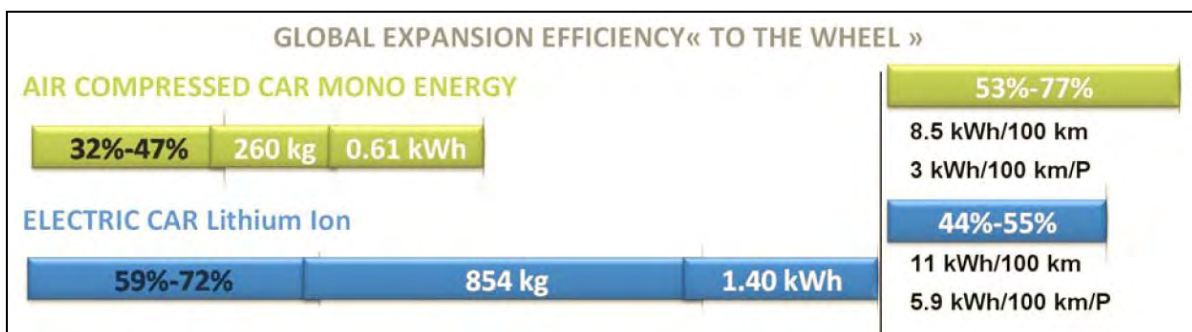
Da un punto di vista teorico inoltre, si tende a puntare il dito sull'energia spesa nella fase di compressione dell'aria. Ma è più opportuno valutare i rendimenti di tutte le fasi di trasformazione "fino alla ruota", affinché tutti i parametri (compresi quelli legati alla vettura: peso, SCx, etc...) siano presi in considerazione.

Qui sotto, un confronto (fra un Airpod ed una Smart EV)⁵³ dimostra che le tappe di trasformazione dell'energia non sono un vantaggio nella macchina ad aria compressa rispetto a quelle di una macchina elettrica a litio.



6-3 Efficienza teorica della trasformazione di energia per alimentare auto ad aria compressa e auto a batterie al litio (Fonte MDI)

Questo è vero fintantochè le auto vengono valutate da un punto di vista teorico. Il peso ridotto che deriva dalla tecnologia MDI cambia questo rapporto in favore dell'Airpod quando le macchine vengono effettivamente utilizzate su strada.



6-4 Efficienza "alla ruota" della trasformazione di energia per alimentare auto ad aria compressa e auto a batterie al litio (Fonte MDI)

⁵³ Sitografia [22]

La compressione può dunque utilizzare l'elettricità come fonte di energia. La macchina ad aria diventa allora confrontabile ad una macchina elettrica, avendo però vantaggi in termini di consumo energetici (grazie al suo basso peso) come spiegato prima.

Dipende allora tutto da dove viene prodotta l'elettricità. Il discorso valido per le macchine elettriche, che dimostra come l'utilizzo di centrali alimentate tramite idrocarburi per produrre l'elettricità non rappresenta una soluzione pulita è quindi anche valido per le macchine ad aria compressa. MDI tiene conto di questo fenomeno fornendo nei suoi documenti valori di CO₂ equivalenti emessi "alla ruota (gr/km)" e che verranno analizzati nel capitolo successivo.

La tecnologia proposta presenta tuttavia vantaggi non trascurabili in termini di fonte di energia. Per esempio si potrebbe pensare di comprimere l'aria con la sovrapproduzione elettrica non utilizzata di notte. Il vantaggio è di potere immagazzinare l'aria nelle stazioni la notte, e di ridistribuirla di giorno. Oppure si potrebbe utilizzare energie rinnovabili (idraulica, eolica o solare). Nel caso dell'idraulica e dell'eolica, non servirebbe neanche più passare attraverso una fase elettrica (le turbine trascinando direttamente i compressori). Questo offre la possibilità di immagazzinare l'energia e trasferirla nelle macchine anche in presenza di fonti rinnovabili non costanti e non regolari. La flessibilità dell'utilizzo dell'aria compressa dimostra allora, in certe circostanze, la sua superiorità rispetto all'utilizzo di batterie.

Per quanto riguarda il ciclo di vita, le automobili MDI hanno numerosi vantaggi:

- Sono leggere e quindi richiedono meno CO₂ per produrle ed utilizzarle;
- Sono fatte con materiali compositi che risultano i più adatti per ACV (Air Cushion Vehicle: Veicolo a cuscino d'aria);
- Possono essere caricate utilizzando energie rinnovabili;
- Anche funzionando con la doppia energia hanno emissioni molto ridotte;
- Hanno un'alta efficienza energetica;
- La possibilità di produrre localmente le autovetture consuma molto meno energia e non riducendo ovviamente le emissioni di CO₂ per la distribuzione al cliente finale;

6.1.1 AUTO AD ARIA COMPRESSA MDI VS AUTO ELETTRICHE

Dalle caratteristiche precedentemente riportate l'automobile ad aria compressa e in particolare quella sviluppata dal MDI di cui si hanno le maggiori informazioni, sembrerebbe dotata di ottime prerogative per dare una svolta all'attuale panorama automobilistico decisamente carente in termini di sostenibilità.

Eppure alcune case automobilistiche da qualche anno stanno introducendo l'utilizzo di batterie come fonte di energia per i veicoli. C'è dunque da chiedersi se i veicoli ad aria compressa siano in qualche modo paragonabili a questi ultimi e, perché no, possano diventarne una valida alternativa una volta immessi sul mercato.

Per rispondere a ciò vediamo quali sono le peculiarità delle due tecnologie cercando di confrontarle.

- **Il "metodo di stoccaggio del vettore energetico".⁵⁴**

Nelle auto ad aria compressa vengono utilizzate delle particolari bombole che non necessitano né di onerosi noleggi, né di sostituzione periodica essendo infatti dimensionate per 20 000 cicli di carico-scarico, di gran lunga superiori alla durata dell'auto. Esiste dunque la concreta possibilità di riutilizzare le bombole su altri veicoli e, in termini di smaltimento, risulta meno inquinante rispetto alle batterie. Per contro, un accumulatore a piombo deve invece essere cambiato ogni 500 cicli. Una batteria a litio invece ogni 1000 a 1500 cicli.

- **I tempi di carica.⁵⁵**

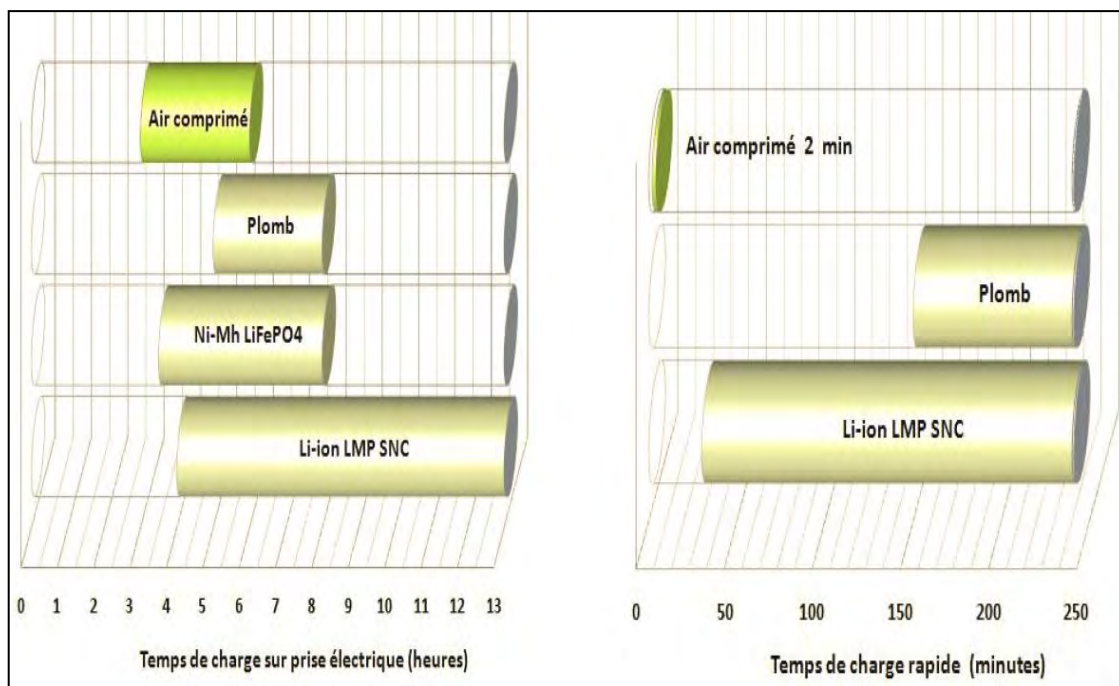
Bisogna prima di tutto specificare come, per le auto alimentate ad aria compressa, le prestazioni del contenitore di energia non si degradano in caso di ricarica rapida e, importante, è possibile ricaricare la bombola anche se non è perfettamente vuota senza danneggiarne le prestazioni.

In particolare, i tempi di ricarica sono un aspetto che sbilancia notevolmente la preferenza alle auto ad aria compressa rispetto alle elettriche come è possibile apprezzare nel grafico seguente in cui si può ammettere un confronto solamente

⁵⁴ Sitografia [14]

⁵⁵ Sitografia [22]

considerando la ricarica tramite presa di corrente. Davvero schiacciante infatti il confronto con i soli 2 minuti di ricarica rapida previsti per l'auto MDI.



6-5 Confronto tra diversi veicoli sul tempo di ricarica alla presa elettrica e in condizioni di ricarica rapida (Fonte MDI)

Importante inoltre osservare come la carica di aria compressa possa conservarsi per mesi senza essere utilizzata e senza perdita di pressione accumulata. Diverso invece per le batterie che, in relazione anche alle temperature del luogo di sosta, possono subire un deterioramento delle prestazioni.⁵⁶

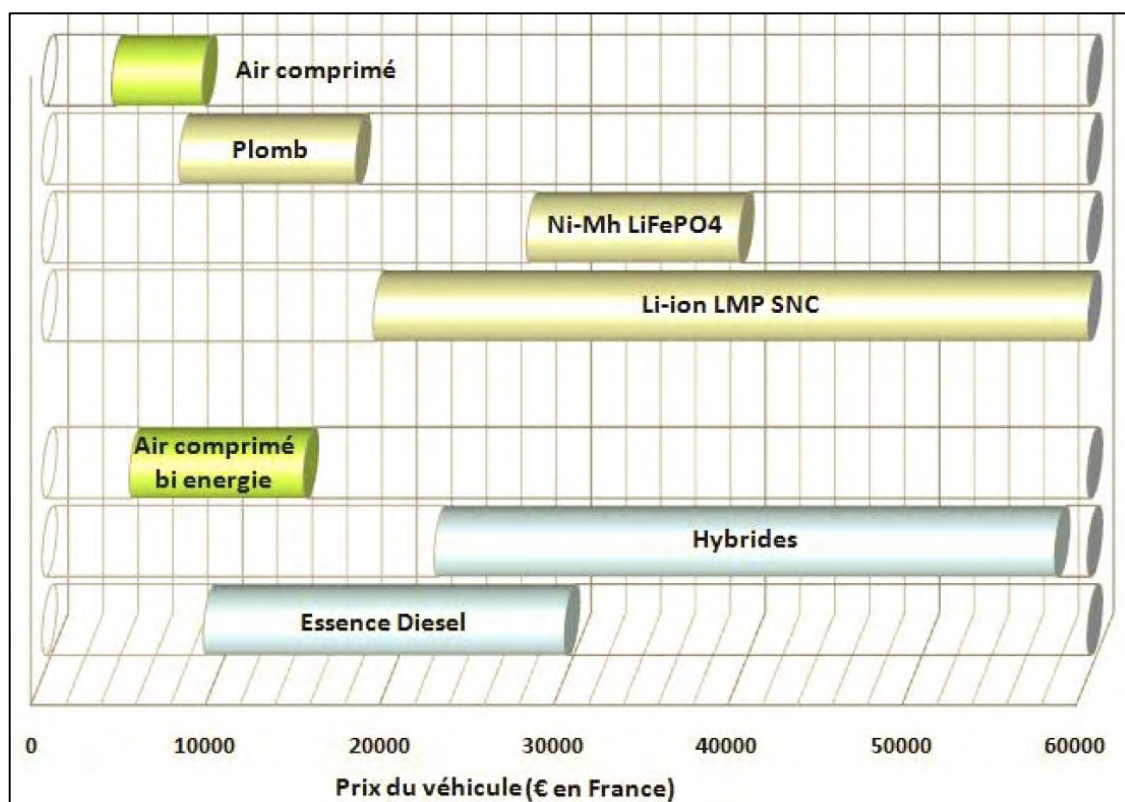
- **Il valore commerciale.**⁵⁷

Un aspetto importante che incide notevolmente sul valore d'acquisto dell'auto è il costo dei materiali con cui la stessa viene realizzata. Materiali come ad esempio il litio, utilizzati per la realizzazione delle batterie di accumulo dell'auto elettrica rientrano nella categoria dei metalli "rari" e quindi comportano costi di estrazione e commercio notevoli, oltre al rischio di poter essere monopolizzati da certi paesi. Tale aspetto legato alle tecnologie di assemblaggio e sviluppo degli accumulatori e al limitato commercio di tali auto rende il prezzo di vendita decisamente importante. Al contrario,

⁵⁶ Sitografia [6]

⁵⁷ Sitografia [22]

l'auto sviluppata da MDI grazie ai materiali compositi che costituiscono la carrozzeria e che necessitano di sola stampatura e all'impiego della fibra di carbonio come unico materiale "particolare" prevede di mantenere un prezzo davvero competitivo e decisamente abbordabile .



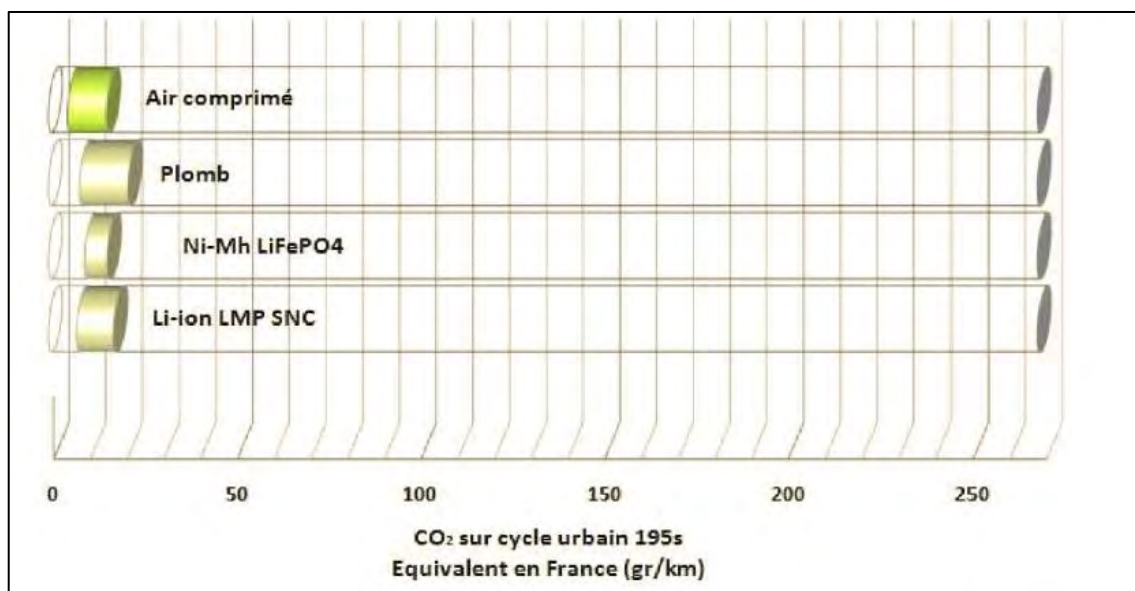
6-6 Confronto tra diverse tipologie di veicolo sul costo di acquisto (Fonte MDI)

- **Le Emissioni di CO₂ sul ciclo urbano.**

Come già anticipato in precedenza il livello di emissioni di CO₂ (gr/km) viene valutato rispetto a un Ciclo urbano (ECE 15 - NEDC) della durata di 195 sec da ripetere 4 volte per complessivi 780 sec. La vettura, montata su banco di prova a rulli si trova a temperatura ambiente 20-30°C ed effettua una partenza con motore freddo. Con il solo guidatore alla guida di max. 75 Kg, tutti i vari servizi di bordo come il climatizzatore sono disattivati. Il test viene svolto su una distanza tot. percorsa nei 4 cicli pari a 3975m con una velocità media di 18,35 Km/h (velocità max. 50 Km/h (per 12 sec); 4 soste a motore in moto per tot 60 sec).⁵⁸

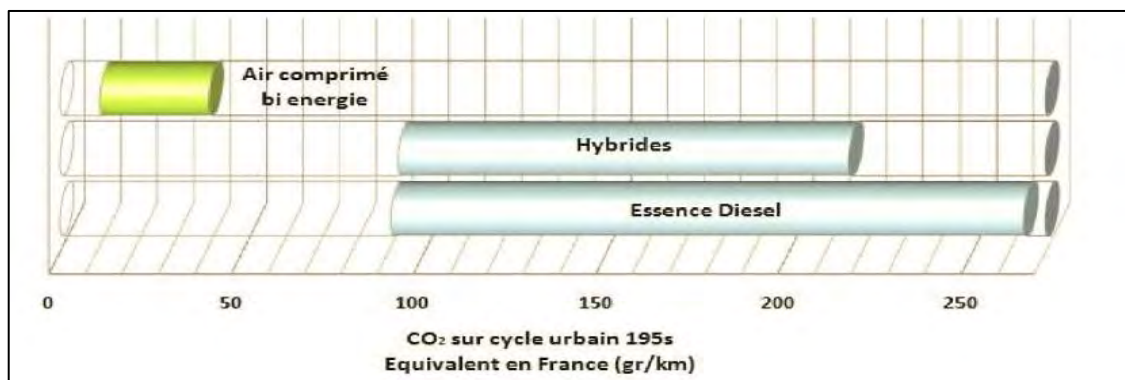
⁵⁸ Sitografia [25]

Il primo confronto apprezzabile, considerando il funzionamento puramente ad aria compressa o puramente a batteria è da farsi in relazione al tipo di energia utilizzata per ricaricare l'auto, energia elettrica dunque, generata dalle centrali con una ovvia produzione di CO₂. Sotto questo aspetto le mobilità sostenibili a confronto sono paragonabili l'una all'altra.



6-7 Confronto tra diverse tipologie di veicolo (con funzionamento a zero emissioni) sulle emissioni di CO₂ su ciclo urbano CEE 195s (Fonte MDI)

E' invece in relazione al tipo di funzionamento ibrido adottato per il moto che è evidente come la tecnologia di doppia energia sviluppata dagli ingegneri del MDI sia a vantaggio delle auto ad aria compressa con un'emissione di CO₂ nettamente inferiore alle altre ibride sul mercato⁵⁹.

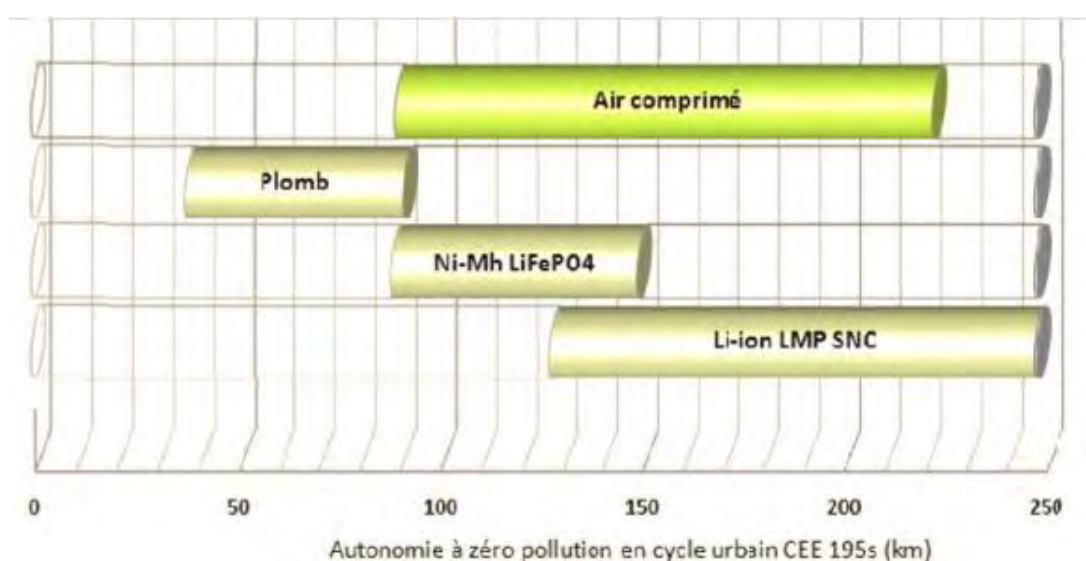


⁵⁹ Sitografia [22]

6-8 Confronto tra diverse tipologie di veicolo (con funzionamento ibrido) sulle emissioni di CO2 su ciclo urbano CEE 195s (Fonte MDI)

L'autonomia.⁶⁰

Importante parametro di confronto, già affrontato nel capitolo precedente per l'auto ad aria compressa, è l'autonomia di cui può godere con un'intera ricarica di "carburante". Anche qui il test viene eseguito su circuito urbano ed evidenzia come ci sia un allineamento di risultati tra elettrico-batterie di ultima generazione ed aria compressa.



6-9 Confronto tra diverse tipologie di veicolo a zero emissioni sull'autonomia in ciclo urbano CEE 195s (Fonte MDI)

Dettaglio rilevante, a favore delle auto ad aria compressa, è che la climatizzazione del veicolo non ne diminuisce l'autonomia essendo la stessa il risultato del "gas di scarico".

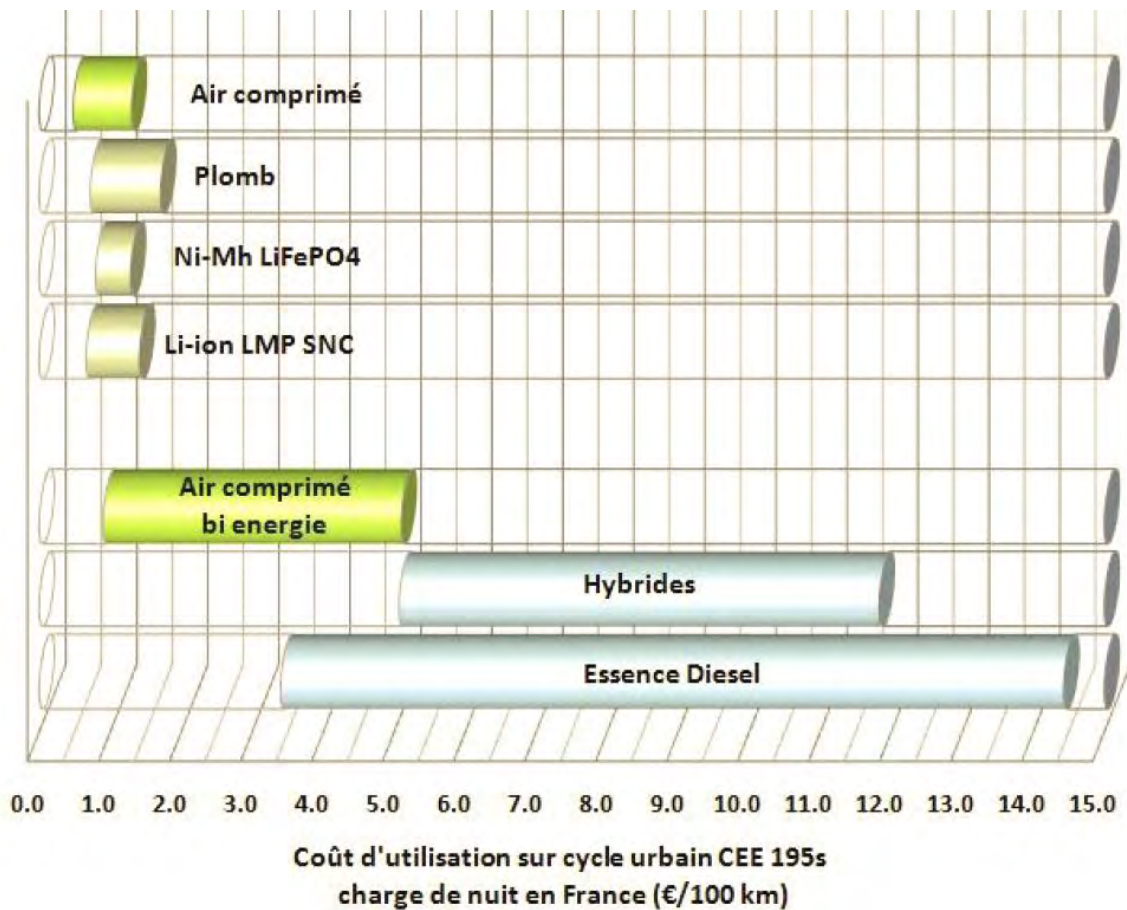
- **I costi di utilizzo.**⁶¹

Per definire i costi di utilizzo, sempre su tracciato urbano, è opportuno valutare innanzitutto come la ricarica viene effettuata e cioè tramite energia elettrica alla presa di corrente, ma soprattutto al modo con cui si crea la movimentazione. Per tale motivo, se consideriamo un funzionamento puramente a batteria o ad aria compressa è

⁶⁰ Sitografia [23]

⁶¹ Sitografia [22]

possibile notare come i costi di utilizzo siano in linea tra le due tecnologie. Per l'automobile ideata da Negre questi sono molto bassi e stimati in circa 1 euro /100 km. Vanno invece a vantaggio dell'auto ad aria compressa quando la stessa è dotata del sistema a doppia energia che consente, con un piccolo consumo di idrocarburi, di aumentare le prestazioni in maniera significativa rispetto ad altre tecnologie ibride.



6-10 Confronto tra diverse tipologie di veicolo a zero emissioni in merito al costo di utilizzazione in ciclo urbano CEE 195s (Fonte MDI)

E' da ricordare inoltre che le auto MDI hanno una curva di coppia molto simile a quella di un motore elettrico ma il motore, non avendo alte temperature e girando a bassissimi giri (1500rpm) ha una durata pari a quella di macchine con motore a scoppio.

7 CONCLUSIONI

Quello delle automobili ad aria compressa rappresenta una prospettiva affascinante. Sfruttare l'aria quale vettore energetico disponibile e perfettamente rigenerabile potrebbe portare davvero ad una svolta al modo di spostarsi. Appare altresì una concreta prospettiva per ridurre la dipendenza dagli idrocarburi favorendo l'utilizzazione di fonti rinnovabili per la produzione di energia. Abbiamo visto che in qualche caso la produzione di aria compressa potrebbe prescindere dal passaggio attraverso l'elettricità convertendo direttamente l'energia meccanica da fonti idrauliche o eoliche.

L'automobile ad aria compressa, dai dati presentati, non ha nulla da invidiare ad una che sfrutta l'elettricità ricavata dalle batterie, sembra essere addirittura più performante dell'auto elettrica soprattutto per utilizzazioni in ambito urbano.

I problemi della sua diffusione ed affermazione sembrano pertanto prevalentemente legati alle strategie di mercato per far decollare questa nuova tecnologia, che poi tanto nuova non è. C'è chi attribuisce lo stallo a problemi tecnici dei motori che tuttavia sembrano ormai aver superato la fase di sperimentazione come nel caso dell'Airpod utilizzata presso l'aeroporto di Amsterdam-Schiphol dalla compagnia "KLM" (acronimo olandese per Koninklijke Luchtvaart Maatschappij, in italiano Compagnia Reale d'Aviazione). C'è chi arriva ad ipotizzare che la ancora difficile immissione nel mercato di tali veicoli sia frutto di rallentamenti provocati dai gruppi di interesse del petrolio i quali subirebbero ovviamente una drastica riduzione dei guadagni qualora il combustibile utilizzato non fosse più di origine idrocarburica.

Ebbene, nonostante le inefficienze meccaniche ci siano certamente state e l'ostacolo da parte delle lobby petrolifere possa essere per lo meno plausibile, i motivi della non presenza delle automobili alimentate ad aria compressa sulle strade probabilmente vanno ricercati sotto altri aspetti.

Innanzitutto esiste un reale problema di rifornimento di energia. Vale a dire che attualmente non esistono ancora aree di servizio adibite alla ricarica in tempi brevi delle bombole a bordo macchina così come risulta mera utopia pensare di reperire l'energia

elettrica per la ricarica “at home” da fonti di energia pulita come l’eolico o l’idraulico. Basti pensare che, ogni qualvolta si sente parlare di installazione di pale eoliche, la nascita di un comitato di opposizione è quasi immediata. Certamente la ricarica di “carburante” con l’utilizzo della presa di corrente nel garage di casa è molto vantaggiosa in termini di tempo nelle automobili sviluppate dalla MDI rispetto all’auto elettrica, un po’ meno piacevole potrebbe però risultare il rumore prodotto dal compressore in fase di compressione dell’aria, soprattutto nelle ore notturne.

Bisogna poi aggiungere il fatto che attualmente i potenziali acquirenti sono abituati ai motori a combustione interna a benzina o a gasolio e non sembrano minimamente interessati a passare a veicoli che, pur non inquinanti, non garantiscono le stesse prestazioni in termini di cavalli e aggressività su strada. Negli ultimi anni il mercato si è sempre più orientato verso veicoli dispendiosi e inefficienti, quali gli “Sport Utility Vehicles”, i famosi SUV, rifiutando di dare spazio ai veicoli a batteria. La vettura ad aria compressa non avrebbe molte speranze di fare di meglio. Anche il design, da uno sguardo ai commenti pubblicati su “repubblica.it” in merito alla Airpod, risulta talmente innovativo da non convincere il pubblico che di questi tempi è affascinato da linee sportive affusolate e sicuramente più sportive.

Il nocciolo della questione sembra dunque il fatto che non importa quanto possa essere performante l’auto che utilizza l’aria compressa come fonte di energia, fintantoché non ci sarà un’inversione di sensibilità e di mentalità ogni strumento inventato e realizzato sarà di utilità quasi nulla. E per modificare la mentalità collettiva è necessario e doveroso l’utilizzo innanzitutto di una corretta informazione e in seguito di metodi che incentivino una mobilità sostenibile a discapito di quella tradizionale che ci ha accompagnato fin’ora.

E’ da ricordare inoltre che la tecnologia legata all’auto rappresenta solo una parte del problema inquinamento. Infatti una politica che punta alla sostenibilità, per essere tale, deve coinvolgere l’intero sistema di trasporto, dalla produzione delle stesse auto al loro smaltimento senza scordare la fase iniziale legata alla produzione dell’energia di alimentazione. Dunque non ci si deve soffermare sul solo spostare il problema dalla strada alla centrale elettrica ma lo si deve affrontare nel suo complesso promuovendo in contemporanea sistemi di produzione di energia che siano sostenibili e senza emissioni.

Esistono nazioni e aziende che da anni prestano una grande attenzione al benessere ambientale sviluppando interventi mirati ad incentivare la mobilità alternativa e sostenibile. Suscita curiosità, in effetti, come la MDI abbia scelto l'Italia e in particolare la Sardegna per realizzare il proprio prodotto e iniziarne la commercializzazione. Di sicuro il nostro paese è molto in ritardo sotto l'aspetto degli interventi a salvaguardia dell'ambiente e del benessere atmosferico. Forse proprio puntare su di un paese che si sta avviando verso questa attenzione è una strategia per confermare che il prodotto funziona e che se ha dato risultati qui può farlo ovunque. In effetti questo è anche uno dei motivi per cui la MDI ha ceduto i diritti di produzione per il mercato asiatico al colosso indiano TATA MOTORS che ha l'obiettivo di intervenire in maniera preponderante sul mercato di quelle zone attraverso le auto alimentate ad aria compressa. Oppure, per concludere il discorso legato alla scelta della Sardegna, si tratta di una manovra commerciale legata alla possibilità di ricevere delle sovvenzioni europee. Bisognerà stare a vedere.

Bibliografia

- Benigno Melzi d'Eril, *Energia Sostenibile: quattro gli obiettivi.*, I quaderni dell'aria compressa. Mensile di prodotti, tecniche, applicazioni, trattamento e normative dell'aria compressa, EMME. CI. Sas – Anno XVIII – n. 11/12 Novembre/Dicembre 2013;
- Carlo Socco, *Il piano urbano di mobilità sostenibile. La necessità di una politica innovativa*, Osservatorio Città Sostenibili-Dipartimento Interateneo Territorio Politecnico e Università di Torino, 2010;
- ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Una leva per la ripresa, 10° Rapporto sulla mobilità in Italia*, <http://www.isfortopmus.it>, Bologna, 2013;
- ISFORT-ANAV-ASTRA-HERMES, *Poca luce in fondo al tunnel come ripartire dopo la crisi, 11° Rapporto sulla mobilità in Italia*, <http://www.isfortprogetti.it>, Roma, 2014;
- ISFORT: *Limitare la circolazione delle auto? Per i cittadini si può fare*, Osservatorio Audimob, osservatori sui comportamenti di mobilità degli italiani, Istituto Superiore Formazione e ricerca per i trasporti, <http://www.isfort.it>, 2011
- Maurizio Melis, *Eco & green car. Guida all'auto ecologica e sostenibile*, Il Sole 24 Ore Libri, 2012;
- Ulrich Bierbaum, Gunther Freitag, *Compendio sull'aria compressa*, Verlag Marie Leidorf GmbH, Bielefeld, 2002;
- Zachary Shahan, *Ranking European Countries On 2013 Electrified Car Sales*, <http://evobsession.com/ranking-european-countries-2013-electrified-car-sales/>, 2014.

Sitografia

- [1] http://www.allguida.it/articolo/auto-ad-aria-compressa-2015-come-funziona-prezzo-e-modelli-foto-e-video/77269/#refresh_ce
- [2] <http://www.compressoriveneta.it/>
- [3] <http://www.ecoage.it/mobilita-sostenibile.htm>
- [4] http://www.energoclub.it/doceboCms/page/392/Auto_ad_aria.html
- [5] <http://www.engineair.com.au/>
- [6] <http://www.e-station.it/ricarica-auto-elettrica-a-casa.htmlm>
- [7] <http://www.evobsession.com/ranking-european-countries-2013-electrified-car-sales/>
- [8] <http://www.fischertechnik.de/en/PortalData/1/Resources/didactic/documents/activit-y-booklet/profipneumatic3/Profi-Pneumatic-3-IT.pdf>
- [9] <http://www.genitronsviluppo.com/il-motore-ad-aria-e-realta-intervista-con-angelo-di-pietro-della-engineair-e-la-sua-straordinaria-invenzione-rivoluzionare-il-trasporto-con-un-motore-ad-aria-ora-e-possibile/>
- [10] <http://www.greenoptions.com/>
- [11] <http://www.greenstyle.it/peugeot-208-ibrida-ad-aria-compressa.html>
- [12] <http://www.ilsole24ore.com/fc?cmd=art&codid=20.0.831591709&chId=30>
- [13] <http://it.ibtimes.com/articles/63108/20140225/auto-elettriche-ibride-plug-in-europa-vendite-2013.htm>
- [14] <http://www.mdi.lu/english>
- [15] <http://www.motori24.ilsole24ore.com/Mercato/2013/07/auto-elettrica-mercato-italia.php>
- [16] <http://www.minieredisardegna.it/FigliMiniera.php?IdTmInt=81&IdIntervistato=8>
- [17] <http://www.mdi.lu/english/2014%20english.php>
- [18] http://motori.tiscali.it/auto_moto/green/feeds/14/07/10/t_51_20140710_news_000046.html?green
- [19] <http://www.ocs.polito.it/mobilitatrasporti/problemi.htm>
- [20] <http://pneumaxspa.com/repository/ebook/IT/Manuale/files/assets/basic-html/page64.html>
- [21] <https://pianetablunews.wordpress.com/2013/12/10/italiano-inventa-rivoluzionario-motore-ad-aria-compressa-realizzati-in-australia-i-primi-veicoli/>
- [22] <http://www.repubblica.it/pdf/2012/motori/Commentirisposte.pdf>
- [23] http://www.repubblica.it/motori/attualita/news/auto_ad_aria_senza_segreti-38843612/

[24] <http://www.scribd.com/doc/142745526/Design-Fabrication-of-Compressed-Air-Engine#scribd>

[25] <http://www.sicurauto.it>

[26] <http://www.theguardian.com/environment/2009/may/14/air-powered-car-hybrid-france>

[27] <http://it.wikipedia.org>