

# Strumenti di supporto alle decisioni per la tecnologia e l'ambiente

## Analisi multicriteriale deterministica applicata al progetto dei veicoli elettrici

Elio Chiodo

Dipartimento di Ingegneria Elettrica  
Università degli Studi di Napoli - Federico II

L'analisi delle decisioni – ed in particolare l'Analisi Multicriteriale (AMC) - trova sempre maggiori applicazioni nel progetto di sistemi e strutture in cui sia significativa la valutazione dell'impatto ambientale dell'opera; ciò vale non solo nel campo tecnologico – di cui ci si occupa nel presente lavoro - ma anche in quello urbanistico ed economico, settori in cui è nata l'AMC. Nel campo dell'ingegneria – in particolare elettrica o dei trasporti – una importante applicazione riguarda il progetto dei veicoli elettrici nell'ambito del trasporto su strada: quest'ultimo infatti costituisce oggi, nel mondo occidentale, una delle maggiori fonti di inquinamento sia a livello locale (emissioni) che globale («effetto serra»), senza dimenticare l'inquinamento acustico e da vibrazioni, l'occupazione e degrado del suolo, ecc. In tale ambito, per l'eterogeneità delle variabili e la conflittualità dei criteri progettuali (ad es.: costo, qualità, impatto ambientale, ecc.), si rende quanto mai opportuno un supporto decisionale di tipo «multicriteriale». Il lavoro ha per obiettivo lo sviluppo e la illustrazione, mediante esemplificazioni numeriche, di una metodologia di AMC ai fini del progetto dei suddetti veicoli - con riferimento ai componenti di un veicolo elettrico ibrido - mostrando prerogative, limiti, ed eventuali sviluppi di tale metodologia decisionale, e verificando anche la sua «robustezza» rispetto alla scelta delle funzioni decisionali.

### L'analisi Multicriteriale come strumento di supporto alle decisioni

La crescente complessità dei moderni sistemi tecnologici rende oggi indispensabile il ricorso a metodologie e tecniche di progettazione che rappresentino un efficace strumento quantitativo di supporto alle decisioni, al fine di scegliere – tra diverse alternative progettuali – quella più efficace secondo un dato criterio. Le applicazioni della metodologia di *Analisi delle Decisioni* in questo contesto sono ben note [1,2]: tale metodologia è basata sul concetto fondamentale di «utilità» per descrivere le conseguenze delle diverse alternative. Generalmente, l'impostazione decisionale risente della sua origine economica, e le utilità sono valutate come guadagni (o costi); di conseguenza, la soluzione ottimale viene scelta come quella che

massimizza il guadagno, o minimizza i costi: in ogni caso, viene determinato un unico criterio da ottimizzare. La *Analisi (delle decisioni) Multicriteriale*, o «Multi-Criterio» (AMC) costituisce una recente evoluzione della analisi delle decisioni [2-4]. Si tratta, come chiarisce la sua denominazione, di un insieme di tecniche di analisi delle decisioni in presenza di più criteri, eterogenei e possibilmente in conflitto tra di loro (tipicamente: costo e qualità; oppure: costo e livello di inquinamento). Tali tecniche hanno per obiettivo la produzione di strumenti di supporto alle decisioni nell'ambito di problemi caratterizzati da una molteplicità di punti di vista o scenari e da un insieme di dati eterogenei di natura quantitativa o qualitativa, anche soggettiva. Essa trova attuali e significative applicazioni, p. es., nel campo del progetto [5] o del controllo [6] di sistemi complessi, e soprattutto della salvaguardia dell'ambiente [7-8], laddove risulta problematica l'adozione della *Analisi delle Decisioni* classica, essendo molto difficile convertire l'impatto ambientale in un costo economico, anche se è certo che esso ha pure delle conseguenze economiche a livello individuale e collettivo.

Il progetto dei veicoli elettrici – il cui sviluppo, come noto [9-11], nasce dalla esigenza di veicoli di trasporto caratterizzati da una sensibile riduzione delle emissioni inquinanti – è un settore dove evidentemente gli aspetti tecnologici e quelli ambientali si intrecciano. Per questo appare per esso indicata l'applicazione della AMC, qui di seguito brevemente richiamata. Nei paragrafi successivi se ne illustra le applicazioni alla scelta dei componenti di un sistema elettrico o «elettrico ibrido».

Si supponga, con riferimento ad un problema di AMC, di avere  $m$  alternative  $A_j$  descritte per mezzo di  $n$  caratteristiche o attributi  $C_k$ ; ciò può essere schematizzato mediante una «matrice decisionale», ossia una matrice  $m \times n$  che riporta, per ogni alternativa  $j$  ( $j=1..m$ ) il valore  $x_{jk}$  dell'attributo di  $A_j$  secondo il criterio  $k$  ( $k=1..n$ ), come in Tab. 1. Per ipotesi, gli attributi sono numeri reali non negativi; inoltre, essi sono supposti noti con certezza, ovvero misurati con errore trascurabile. Si parla perciò nel presente lavoro di AMC «deterministica». Ad una possibile rimozione di tale ipotesi si accenna nelle conclusioni.

**Tabella 1 - Matrice delle decisioni, nel caso di m alternative e n criteri;  $x_{ij}$  = valore dell'attributo della alternativa i-sima secondo il criterio j.**

	C1	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	.....	.....	C <sub>n</sub>
A <sub>1</sub>	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	.....	.....	$x_{1n}$
A <sub>2</sub>	$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	.....	.....	$x_{2n}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
A <sub>m</sub>	$x_{m1}$	$x_{m2}$	$x_{m3}$	.....	.....	$x_{mn}$

In generale, nessuna delle alternative risulta migliore in senso assoluto: ognuna presenta vantaggi e svantaggi rispetto alle altre (ad es., la alternativa più affidabile è generalmente quella più costosa); in più, le unità di misura relative ai vari criteri sono eterogenee, quindi non direttamente confrontabili. Una possibile metodologia di soluzione del problema AMC, la più adottata, consiste nel cosiddetto metodo di «Simple Additive Weighting», basato sulla somma pesata delle «utilità» delle alternative secondo i diversi criteri. A tale scopo, si definisce dapprima una opportuna funzione «utilità»  $\phi(\cdot)$  [1,2] degli attributi:

$$u_{jk} = \phi(x_{jk}) \quad (1)$$

Il valore  $u_{jk}$  – adimensionale e compreso tra 0 e 1 – rappresenta la «utilità» della alternativa  $A_j$  secondo il criterio  $C_k$ . La funzione  $\phi(x)$  è crescente in  $x$  se il criterio  $C_k$  è un «beneficio» (criterio da massimizzare, p.es. l'affidabilità, la qualità); è decrescente in  $x$  se il criterio  $C_k$  è un «costo» (criterio da minimizzare, p.es. : il peso, il costo economico). Per la scelta della funzione (1), quella più semplice e utilizzata è basata sulla normalizzazione degli attributi della matrice, ottenuta mediante divisione dell'attributo  $x_{jk}$  per la somma degli  $m$  valori della  $k$ -sima colonna:

$$u_{jk} = g(x_{jk}) = \frac{x_{jk}}{\sum_{h=1}^m x_{hk}}, \text{ se il criterio } C_k \text{ è un beneficio (2a)}$$

$$u_{jk} = [1 - g(x_{jk})]/(m-1), \text{ se il criterio } C_k \text{ è un costo (2b)}$$

È immediato verificare che la somma dei valori  $g(x_{jk})$  definiti dalla (2a) rispetto all'indice  $j$  è unitaria: da ciò segue che la somma «per colonne» della matrice  $\mathbf{U} = [u_{jk}]$  delle utilità così ottenute – sia per la (2a) che per la (2b) - è pari ad 1 (la somma dei valori  $[1 - g(x_{jk})]$  è pari ad  $m-1$ ).

Spesso vengono introdotti dei pesi decisionali  $w_k$  ( $k=1, \dots, n$ ), ossia dei valori numerici che stabiliscano l'importanza che il decisore associa ad ogni singolo criterio, in modo tale da premiare gli obiettivi primari rispetto agli altri. Anche per i pesi decisionali, pur essendo adimensionali, è opportuna una normalizzazione, in modo che siano compresi tra 0 e 1. Ad esempio, se il decisore attri-

buisce – in una data scala numerica di preferenze, p.es. da 1 a 10 - il peso  $p_j$  al criterio  $j$ -esimo, il relativo valore normalizzato  $w_j$  è dato da:

$$w_j = p_j / \sum_j p_j \quad (3)$$

Anche in presenza di pesi decisionali diversi, è utile effettuare un calcolo aggiuntivo assumendo pesi decisionali uniformi, ossia tutti uguali (e quindi – essendo  $n$  i criteri - uguali a  $1/n$ ), in maniera da valutare quanto il processo decisionale risulti influenzato dalle preferenze del decisore.

Infine, si calcola la «utilità globale» (in gergo tecnico «score» [5]) della alternativa  $A_j$  secondo la relazione:

$$U_j = \sum_{k=1}^n w_k u_{jk} \quad (4)$$

La decisione ottimale presceglie la alternativa  $A_j$  con il maggior valore di utilità  $U_j$ , in presenza di eventuali vincoli (p.es.: affidabilità maggiore di un dato valore  $R^*$ ; costo minore di un dato valore  $C^*$ , ecc.). Se  $c$  è il numero di vincoli, e si indica il generico ( $h$ -simo) di essi – riferito alla  $j$ -sima alternativa – come vincolo di positività di una data funzione  $V^h(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jn})$  ( $h=1..c$ ), la soluzione (alternativa ottimale)  $A^*$  si può formalizzare come segue:

$$A^* = A_s : s = \arg \max_j U_j, V^h(x_{s1}, x_{s2}, \dots, x_{sn}) > 0, h=1..c \quad (5)$$

Si conclude il paragrafo notando che le possibili scelte della funzione utilità della (1) sono illimitate; è opportuno anche considerare, per la sua importanza nella teoria della utilità [1,2], la funzione esponenziale negativa, che associa al valore  $x$  del generico attributo-beneficio la utilità:

$$\phi(x) = 1 - \exp(-x/\gamma) \quad (6)$$

essendo  $\gamma$  una opportuna costante positiva, con le stesse dimensioni di  $x$ . Nel caso in cui l'attributo sia un costo, si considera la funzione complementare della (6).

## Generalità sui veicoli elettrici

In questo e nel successivo paragrafo si esaminano gli aspetti essenziali dei veicoli elettrici ed ibridi -rimandando alla letteratura specializzata [9-11] per i dettagli tecnici – allo scopo di evidenziare i principali sottosistemi per i quali risulta adeguata una scelta progettuale basata sulla AMC, oggetto del par. 4.

### Motivazioni ambientali

L'aumento mondiale della richiesta di energia ha causato nel tempo molteplici problemi ambientali, dovuti principalmente dall'aumento della concentrazione nell'atmosfera di ossido di carbonio (CO), di ossidi di azoto (NO<sub>x</sub>), di polveri sospese, ecc.. Questo problema è sentito maggiormente nelle aree urbane, a causa di una notevole den-

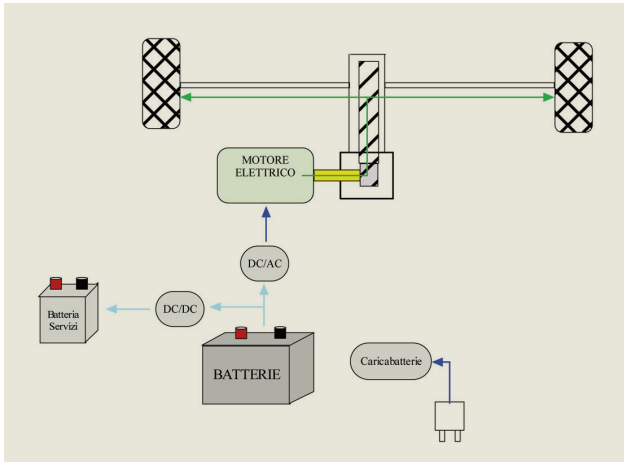


Fig. 1 Schema di principio di un veicolo elettrico

sità di elementi che generano inquinamento. In particolare, negli ultimi anni si è riscontrato un enorme aumento delle emissioni, soprattutto a causa del complessivo aumento del parco veicolare. Accanto a tale problema, vi è da considerare anche quello dell'esaurimento del combustibile (riserve petrolifere). In questo contesto, acquista grande importanza lo sviluppo di una nuova generazione di mezzi di trasporto, quali i veicoli elettrici (sia «puri» che «ibridi»), con i quali sia possibile garantire un livello di prestazioni comparabile a quello dei tradizionali veicoli con motore a scoppio (ICE), usando però fonti di energia più pulite.

**Aspetti tecnici dei veicoli elettrici**

I veicoli elettrici «puri» (ossia quelli per cui l'energia utilizzata per la trazione è unicamente di tipo elettrico) rappresentano una prima soluzione ai problemi ambientali sopra citati. In tali veicoli l'energia elettrica viene immagazzinata attraverso delle batterie, e successivamente trasformata in energia meccanica, per il moto del veicolo,

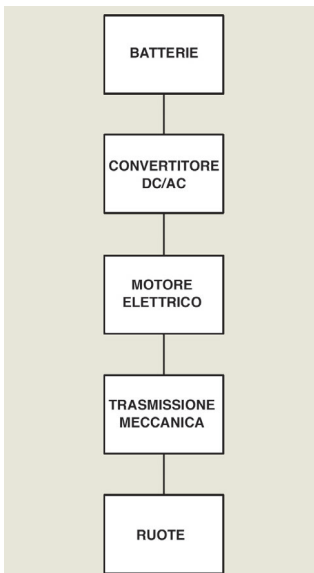


Fig. 2 Schema di un veicolo elettrico «puro»

mediante un motore elettrico. La configurazione tipica è quella in Fig. 1, cui corrisponde lo «schema a blocchi» di Fig. 2.

Vantaggi e svantaggi di questi veicoli rispetto a quelli tradizionali sono ampiamente discussi [9-11]. Sostanzialmente, il vantaggio fondamentale della trazione elettrica è la quasi totale assenza di emissioni inquinanti, sia di tipo atmosferico che acustico, in loco; gli aspetti che principalmente penalizzano tale tipo di veicolo sono l'elevato costo e la ridotta autonomia, nonché i lunghi tempi di ricarica e la bre-

ve durata di vita delle batterie: per ovviare a questi svantaggi nasce l'idea del veicolo ibrido.

**I veicoli elettrici «ibridi»**

Il veicolo elettrico ibrido (*Hybrid Electric Vehicle*, HEV) coniuga i benefici dell'auto elettrica con quelli di autonomia e flessibilità dei veicoli che utilizzano motori a combustione ICE (*Internal Combustion Engine*) tradizionali. Il concetto base di un veicolo ibrido è quello di utilizzare diverse forme di energia in modo da ottimizzare il funzionamento complessivo del veicolo, ottenendo così un significativo aumento dell'efficienza, e riducendo comunque l'impatto ambientale rispetto ai veicoli tradizionali. Il veicolo ibrido, quindi, combina un motore ICE tradizionale e un motore elettrico con un sistema di batterie. A seconda dello schema utilizzato («serie» o «parallelo») si ha come motopropulsore primario l'ICE o il motore elettrico.

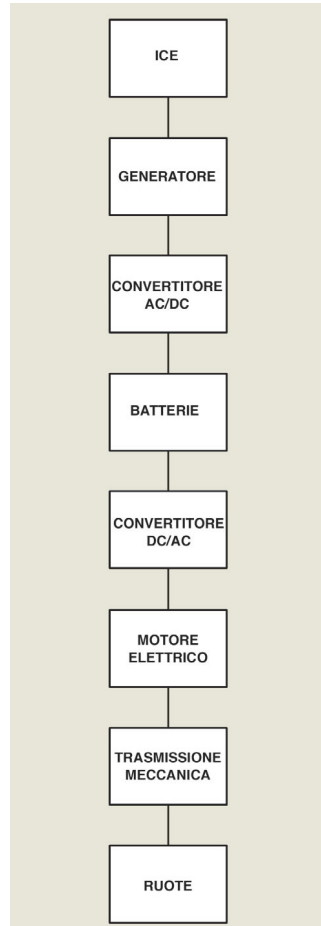


Fig. 3 Schema di un veicolo ibrido serie

Lo schema «serie» (Fig. 3) è sostanzialmente un sistema di propulsione elettrico come quello di Fig. 2 con l'aggiunta di un gruppo elettrogeno (ICE + Generatore Elettrico) a monte, che ha il compito di aumentare l'autonomia del veicolo generando a bordo l'energia elettrica.

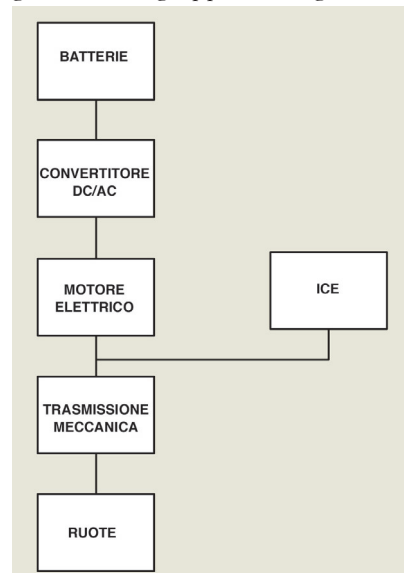


Fig. 4 Schema di un veicolo ibrido parallelo

La batteria serve per fornire i picchi di potenza; l'ICE funziona a potenza costante, in maniera tale da massimizzare l'efficienza e minimizzare i consumi.

Nello schema «parallelo» (Fig. 4), l'ICE funziona a regime variabile e fornisce potenza mec-

canica direttamente alle ruote. Il motore elettrico alimentato dalla batteria fornisce una coppia aggiuntiva all'albero motore nelle condizioni più gravose, consentendo al motore termico un funzionamento meno oneroso.

## Il progetto del veicolo elettrico ibrido mediante AMC

Per il progetto del sistema di propulsione di un HEV va affrontato il problema iniziale della scelta della configurazione (serie o parallelo): è chiaro che tale scelta è legata all'utilizzo di tali autoveicoli, ovvero come trasporto pubblico, auto privata per ciclo urbano o per ciclo extraurbano, ecc. [9-11]. Di seguito riportiamo una applicazione della AMC ai principali sottosistemi del sistema di propulsione di un HEV comuni sia alla configurazione serie che a quella parallelo, ossia:

- batterie di trazione
- macchina elettrica
- motore a combustione

Seguono degli esempi numerici relativi ai 3 diversi sottosistemi.

### Sottosistema batteria

Il primo sottosistema che consideriamo è quello delle batterie, per il quale le possibili alternative sono:

1. Piombo acido (*Pb*)
2. Nichel-Cadmio (*NiCd*)
3. Nichel-Idruri Metallici (*NiMH*)
4. Ioni di Litio (*Li*)

Esse sono valutate sulla base dei criteri: *affidabilità*, *autonomia*, *peso* e *costo*. Il costo è qui indicato in unità monetarie non specificate (£); si tenga peraltro presente che – come intuitivo – moltiplicare gli attributi di una colonna per una costante non altera la procedura decisionale: la scelta delle unità di misura è dunque arbitraria. Sulla base dei dati tipici riportati in letteratura [11,12], una possibile matrice decisionale è quella di Tab. 1<sup>1</sup>

Normalizzando la matrice secondo le (2) - tenendo conto, usando la (2b), dei criteri che non sono dei benefici, ossia *peso* e *costo* - si ha la matrice delle utilità di Tab. 3, dove naturalmente non appaiono più le dimensioni dei criteri. Si nota, come anticipato, che le somme per colonne sono sempre uguali ad 1.

La normalizzazione permette di apprezzare meglio, in termini relativi, i valori dei diversi attributi: ad esempio, si nota come l'alternativa 4 sia penalizzata dal costo molto elevato (utilità 0.0874, il valore più basso di tutta la matrice), ma avvantaggiata dal peso molto basso (utilità 0.3218, il più alto). Applicando dei pesi decisionali uniformi (e quindi tutti uguali a 0.25), si hanno le utilità globali, e la conseguente graduatoria tra le alternative, di Tab. 4.

<sup>1</sup> I dati numerici del presente paragrafo sono puramente indicativi, e servono solo a illustrare la metodologia. Naturalmente, essi sono soggetti a rapida variabilità in conseguenza di mutamenti di fattori tecnici, economici, ecc. Per questo, non si è indicata una determinata unità di misura del costo, mentre i dati in [11, 12] sono in migliaia di euro.

Tabella 2

	Affidabilità	Autonomia [Km]	Peso [kg]	Costo [£]
Pb	0.987	70	275	1.600
Ni-Cd	0.979	74	350	1.750
NiMH	0.985	66	159	1.850
Li	0.934	85	28	14.50

Tabella 3

Alternative	Affidabilità	Autonomia	Peso	Costo
1	0.2541	0.2373	0.2204	0.3062
2	0.2520	0.2508	0.1897	0.3045
3	0.2535	0.2237	0.2681	0.3020
4	0.2404	0.2881	0.3218	0.0874

Tabella 4

Alternative	Utilità	Graduatoria
1	0.2545	2
2	0.2492	3
3	0.2618	1
4	0.2344	4

La migliore soluzione è quindi rappresentata dalla alternativa 3 (batterie *NiMH*), seguite da quelle al *Pb*. È interessante notare che, se si utilizzano pesi decisionali non uniformi, dando – come è pratica frequente – un maggior peso ai criteri Affidabilità e Costo, il risultato è almeno nella sostanza confermato [11]. Ancora, è utile - ai fini di verificare la «robustezza» della procedura rispetto alla scelta delle funzioni utilità - ripetere i calcoli assumendo come funzione utilità quella esponenziale della (6); è notevole che in questa applicazione (scegliendo il parametro  $\gamma$  come la media dei valori di colonna) si ritrovi la stessa graduatoria per le prime 2 alternative.

### Sottosistema macchina elettrica

Relativamente al sottosistema macchina elettrica le possibili soluzioni sono:

- Macchina in corrente continua (*M.C.C.*)
- Macchina asincrona (*M.A.*)
- Macchina sincrona (*M.S.*)
- Macchina a magneti permanenti (*M.P.*)
- Esse sono qui valutate in base ai 5 criteri: *affidabilità*, *potenza*, *efficienza*, *peso* e *costo*, con riferimento alla ipotetica matrice di attributi di Tab. 5. Assumendo pesi decisionali uniformi, la graduatoria è in Tab. 6. Si noti come la soluzione risultata migliore, ossia la n. 4 (*M.P.*), sia di poco (dell'1.9%) superiore alla seconda, la n. 2 (*M.A.*), la quale potrebbe essere preferibile qualora – come si evin-

Tabella 5

Alternative	Affidabilità	Potenza [kW]	Efficienza	Peso [kg]	Costo[£]
1	0.987	24	0.77	52	1.875
2	0.979	29	0.90	56	0.925
3	0.985	30	0.79	57	1.450
4	0.934	33	0.93	38	1.680

Tabella 6

Alternative	Utilità	Graduatoria
1	0.2090	4
2	0.2319	2
3	0.2228	3
4	<b>0.2363</b>	<b>1</b>

ce dalla matrice decisionale – si introduca, a livello del sottosistema considerato, un vincolo di costo, o si assegnasse a tale criterio un peso maggiore degli altri.

Di fatto, se si utilizzano pesi decisionali maggiori per i criteri Affidabilità e Costo, la preferenza tra queste 2 alternative si inverte (mentre il 3° e 4° posto rimangono invariati). Lo stesso succede, peraltro, assumendo come funzione utilità quella esponenziale; ciò mostra che stavolta la procedura decisionale non è robusta: è consigliabile, in tal caso, esaminare appunto la eventualità di apportare dei vincoli, o considerare criteri aggiuntivi, rivedere le misure degli attributi, ecc.

### Sottosistema motore a combustione

Per quanto riguarda il sottosistema motore a combustione, le alternative esaminate sono:

1. Motore a benzina
2. Motore diesel
3. Celle a combustibile (*Fuel Cell*)

confrontate in base ai 5 criteri: *affidabilità, emissioni, efficienza del carburante, peso e costo*.

Nel caso delle Fuel Cell non è necessaria la presenza di un alternatore per la produzione dell'energia elettrica, mancanza bilanciata, in termini di peso e costo, dal complesso sistema di stoccaggio del combustibile, come evidenziato nella matrice decisionale, in Tab. 7.

Con pesi decisionale uniformi - tenendo conto che stavolta anche le emissioni sono un «costo» - si ha il risultato di Tab. 8, che vede prevalere – di poco su quello diesel – il motore a benzina.

Come nel caso delle batterie, utilizzando pesi decisionali maggiori per i criteri Affidabilità e Costo, il risultato non cambia: anzi la alternativa 1 risulta ancora più conveniente, come del resto prevedibile dai dati di Tab. 7. Infine, assumendo la funzione utilità esponenziale, si ritrova esattamente la stessa graduatoria.

In definitiva, da questa applicazione risulterebbe che

Tabella 7

Alternative	Affidabilità	Emissioni [g/kWh]	Efficienza [kWh/kg]	Peso [kg]	Costo[£]
1	0.989	78	143	130	0.900
2	0.964	71	148	145	1.350
3	0.847	10	380	210	17.50

Tabella 8

	Utilità	Graduatoria
1	<b>0.3159</b>	<b>1</b>
2	0.3131	2
3	0.3043	3

la migliore configurazione - con pesi decisionale uniformi - è quella che si ottiene utilizzando un motore a benzina, una batteria Nichel- idruri metallici e una macchina a magneti permanenti. Un tale tipo di analisi andrebbe poi integrato da uno studio globale a livello di sistema, che tenga conto delle eventuali interazioni tra sottosistemi (qui considerati separatamente), e anche per verificare che siano soddisfatti a tale livello vincoli di costo, affidabilità, ecc. Della presenza di tali vincoli non si è tenuto conto, per brevità, nella esposizione, ma la loro introduzione nel processo decisionale non pone grossi problemi.

### Conclusioni

Il problema dell'inquinamento ambientale riveste un ruolo sempre più importante all'interno del quadro politico-economico internazionale, come dimostrato dalla stesura del protocollo di Kyoto. In quest'ottica è necessario lo sviluppo di veicoli di trasporto innovativo, quali i veicoli elettrici. Nel lavoro viene esaminata ed illustrata una applicazione della AMC come utile metodologia per il progetto di tali veicoli. I vantaggi che tale metodologia comporta sono diversi: la possibilità di articolare il processo decisionale sulla base di un modello quantitativo razionale; la possibilità per il decisore di interagire in ogni istante con il processo decisionale; la possibilità di misurare il grado di superiorità di una alternativa rispetto ad un'altra. Tale approccio appare il più adeguato a valutare l'apporto – come sorgenti di energia «pulita» – di nuovi sistemi, come quelli a celle di Idrogeno (Fuel Cell).

Ai fini di eventuali sviluppi del modello, si evidenzia che l'approccio multicriteriale deterministico, qui adottato, richiede che i parametri del sistema siano grandezze note, ovvero stimate con margini trascurabili di errore. Tale requisito può essere restrittivo in alcuni casi: si pensi ad es. all'incertezza dei dati relativi alla affidabilità, dovuta alla enorme innovazione tecnologica del settore [12,13]. A ciò si può ovviare con lo sviluppo di una adeguata AMC probabilistica - utilizzando un approccio bayesiano [14] - come proposto in [15].



## Bibliografia

[1] Lindley D.V. «La Logica della Decisione» Il Saggiatore, 1990

[2] Koller G. «Risk Modeling for Determining Values and Decision Making», Chapman and Hall, 2000

[3] Nijkamp P., Reitveld P., Voogd H. «Multicriteria Evaluation in Physical Planning», North Holland, 1990

[4] Vincke P. «Multicriteria Decision Aid», Wiley, 1992

[5] Atanackovic, D., McGillis, D.T., Galiana, F.D. «The application of multi-criteria analysis to substation design», *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, n. 3, p. 1172 – 1178, 1998

[6] Ferreira, P.A.V., Borges T.C.D. «Multicriteria analysis of the integrated system optimization and parameter estimation problem», *Proceedings of the American Control Conference*, Vol. 3, p. 2105 – 2109, 1995

[7] Wierzbicki A.P. et al. «Model-based Decision Support Methodology with Environmental Applications», II ASA, Kluwer, Dordrecht, 2000

[8] Mladineo N., Knezic S. «Optimisation of forest fire sensor network using GIS technology», *Proceedings of the 22nd International Conference on Information Technology Interfaces*, p. 391 – 396, 2000

[9] Maggetto G., Van Mierlo J. «Electric and electric hybrid vehicle technology: a survey», *IEE Seminar on Electric, Hybrid and Fuel Cell Vehicles* (Ref. No. 2000/050), pp. 1-11, April 2000

[10] Bartezzaghi E., Pedrelli M., Savoldelli A. «Il veicolo Elettrico», Etaslibri, Milano 1996

[11] Carriola V. «L'Analisi Multicriterio nei Sistemi di Trasporto Elettrificato: il Sistema Ibrido di Propulsione», Tesi di laurea in Ingegneria Elettrica, Università di Napoli Federico II, 2001

[12] Saccone A. «L'incertezza dei Dati nella Analisi e Progetto di Affidabilità di Sistemi Complessi», Tesi di laurea in Ingegneria Elettrica, Università di Napoli Federico II, 2003

[13] Allella F., Battistelli L., Chiodo E., Lauria D. «Hybrid Electric Vehicle Reliability Design Under Uncertain Conditions», *Electrical Engineering Research Report*, n. 12, pp. 21-27, 2001

[14] Smith J.Q. «Decision Analysis: a Bayesian approach» Chapman and Hall, 1988

[15] Chiodo E. «Analisi Multicriteriale Probabilistica per il Progetto dei Moderni Sistemi Elettrici di Trasporto», inviata per pubblicazione sulla rivista «*Trasporti e Territorio*», 2004

Elio Chiodo ha conseguito la laurea in Ingegneria Elettronica nel 1985 e il titolo di Dottore di Ricerca in «Statistica Computazionale ed Applicazioni» nel 1992, entrambi presso l'Università degli Studi di Napoli Federico II. È professore



associato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettrica presso l'Università degli studi di Napoli Federico II. La sua attività di ricerca è dedicata principalmente alle metodologie statistiche e alla affidabilità dei sistemi elettrici di potenza

**l'Autore**

**Lutz**  
Safety is our Concern.

**la sicurezza nel travaso.  
Perchè non pensarci?**



La gamma più completa per applicazioni personalizzate



**PER RIVENDITA LOCALE  
CONTATTATECI!**

Distributore autorizzato per l'Italia:

**DEMORINDUSTRIA**

20138 MILANO - Via P. Portaluppi, 15  
Telefono 02/58001.1 - Telefax 02/58012418

E-mail: demorindustria@demori.it  
www.demorindustria.it