

## Prototipi di auto idrogeno/elettriche del Politecnico di Milano



**Gianmarco Gaimarini**  
Politecnico di MILANO - Dipartimento di Meccanica  
[gianmarco.gaimarini@polimi.it](mailto:gianmarco.gaimarini@polimi.it)

**Paola Villani**  
Politecnico di MILANO - DIRM Sezione Infrastrutture viarie, sistemi di trasporto e movimentazione  
[paola.villani@polimi.it](mailto:paola.villani@polimi.it)



Ecomobility2010 Sessione Progetti e prototipi 17 aprile 2010  
Montecatini Terme - Condotto Salsodora




Già alla fine degli anni '80 al Politecnico di Milano si studiavano soluzioni innovative nel settore trasporti, pannelli a messaggio variabile, veicoli ibridi, autovetture senza limitazioni di autonomia poiché dotate di due motori: uno tradizionale endotermico e l'altro elettrico per gli spostamenti in ambito urbano.

Tesi di laurea, concorsi, progetti, prototipi (alcuni anche in collaborazione con il Centro Ricerche FIAT)



1991



1993



1990



1992



1997



1992





### Prototipi: innovazione e ricerca

Sono trascorsi vent'anni e al Politecnico si continuano a studiare e progettare veicoli innovativi.

I prototipi costruiti per la competizione non sono utilizzabili sulla rete stradale ma rappresentano il futuro: si inizia sempre con soluzioni "speciali" e "tipizzate" per una specifica evenienza (in questo caso la Eco-marathon) ma quasi tutte le innovazioni nascono in questo modo: pensate per uno specifico scopo e poi, con alcune piccole o grandi modificazioni, utilizzate in larga scala.

Fu così per i primi pneumatici, montati dai fratelli Michelin per partecipare alla Parigi-Bordeaux del 1895.




I pneumatici (già in uso sulle biciclette) vengono montati per la prima volta nel 1895 su una Peugeot a 4 cavalli per disputare la Parigi - Bordeaux





### I due prototipi: ARTEMIDE e APOLLO

I due prototipi X-Team (Artemide e Apollo) rappresentano veicoli da corsa studiati appositamente per la Shell Eco-marathon ma le innovazioni introdotte indicano linee di tendenza per tutta l'industria automobilistica. Il Politecnico di Milano partecipa con due prototipi alla Eco-marathon 2010 (a Houston, Texas e a Lausitz, Germania):




La Shell Eco-marathon è incentrata sulla mobilità sostenibile: protezione dell'ambiente, efficienza energetica e ricerca.





### ARTEMIDE

ARTEMIDE ( acronimo di Aerodinamica Rotolamento Telaio Elettronica Modellazione Idrogeno DDesign) grazie alle costanti innovazioni migliora le proprie prestazioni del 30% e si colloca quinto per la classe "veicoli a idrogeno" ed ottavo nella classifica dei prototipi a basso impatto che hanno partecipato alla European Shell Eco-Marathon 2009 sul circuito Eurospeedway di Lausitz (Germania).

Nel 2008 è stata modificata la propulsione adottata nelle tre gare precedenti: XTEAM affianca al motore a benzina (35cc) due motori elettrici alimentati da fuel cell a idrogeno.

**Artemide**  
(fuel cell a idrogeno)







### ARTEMIDE - APOLLO

Al Politecnico di Milano si studiano soluzioni atte a minimizzare i consumi energetici








### ARTEMIDE - APOLLO

Partecipando alla Shell Eco-marathon si devono realizzare progetti concreti che implicano molteplici competenze ingegneristiche: meccaniche, energetiche, fisiche e informatiche (CAD).

**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

### Risultato Eco Marathon 2010 (Houston, Texas)

**615 km / kW·h**  
**5'461 km / litro**

<http://safarty.com/eco-marathon/politecnico.html>

**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

### Sistema energetico

19,3%	Rolling and corner resistance
17,2%	Aerodynamic resistance
8,9%	Motor
2,0%	Electronics
50,3%	Fuel cell + aux.

**Il prototipo X TEAM**

**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

### Sistema a idrogeno

**Il prototipo X TEAM**

**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

### Controllo delle Fuel cell

**Il prototipo X TEAM**

**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

### Controllo e trasmissione

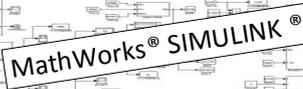
**Il prototipo X TEAM**

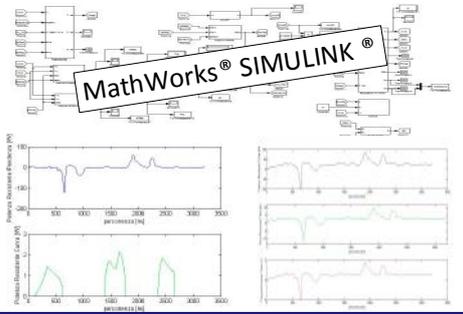
**ecomobility2010** MONTecatini TERME 16-17-18 APRILE 17 aprile 2010

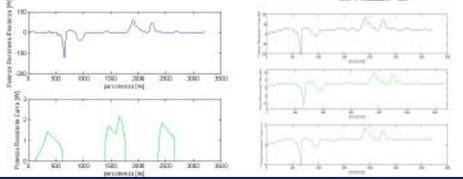
Politecnico di MILANO [giacomo.villari@polimi.it](mailto:giacomo.villari@polimi.it) [paolo.villari@polimi.it](http://paolo.villari@polimi.it)

ACI AEROSPAZIO CLUB PIRELLI

## Simulazioni







**Il prototipo X TEAM**



Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010



ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

## Test bed

- Real time Simulation of track condition
- Data storage
- Optimization of fuel cell control
- Optimization of motor and transmission
- Race strategy



**Il prototipo X TEAM**



Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010

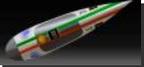


ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

- Shell Eco-marathon 2010
- Apollo
- Scheda tecnica
- Progettazione carrozzeria
- Realizzazione stampi
- Costruzione carrozzeria
- Ciclo tecnologico
- Verifiche sperimentali
- Risultati
- Conclusioni







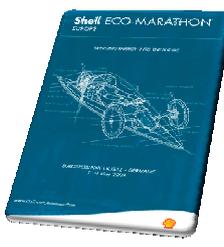
Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010



ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it







Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010

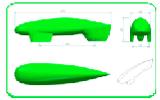


ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

### SCHEDA TECNICA

Categoria e Classe energetica	Dimensioni	Carrozzeria
- Prototipi - Solare  	- Lunghezza = 2753 mm - Larghezza = 582 mm - Altezza = 625 mm - Passo = 1590 mm - Carreggiata = 500 mm	- Telaio: Fibra di carbonio con rinforzi in honeycomb - Superficie frontale = 0.278 m <sup>2</sup> - Coefficiente di resistenza aerodinamica = 0.09 - Massa = 35 kg



Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010



ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

### SCHEDA TECNICA

<b>Ruote e pneumatici</b> - 2 ruote anteriori in lega di Al - 1 ruota posteriore sterzante e motrice in lega di Al - Pneumatici Michelin tubeless 45/75 R16 - Pressione di gonfiaggio 4.5-6.0 bar	<b>Sterzo e freni</b> - Sistema di sterzo meccanico a cavi - 3 freni idraulici con pinze e pompanti in lega magnesio dischi in lega di titanio	<b>Fuel Cell</b> - PEM Fuel Cell MES-DEA "DEA XX Special release" - Potenza massima max = 0.8 kW - Tensione max = 38 V - Pure H <sub>2</sub> dead end mode
		



Prototipi di auto idrogeno/elektriche  
17 aprile 2010



ASSOCIAZIONE CLUB PILOTE



giuseppe.valtracchi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

**SCHEDA TECNICA**

Motore	Trasmissione	Elettronica
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 motore Maxon DC</li> <li>- Tensione = 18 V</li> <li>- Potenza max = 60 W</li> <li>- Coppia nominale = 0.075 Nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ad ingranaggi innesto servocomandato</li> <li>- Rapporto di trasmissione da 1:20 a 1:16</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scheda di controllo motori e Fuel Cell autoconstruita</li> </ul>






Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010

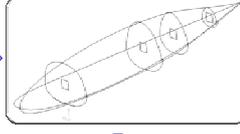



Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

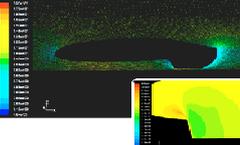
**Posizione del pilota**  
Angoli caratteristici ruote



**Geometria assialsimmetrica**  
ottimizzata aerodinamicamente



**Simulazioni fluidodinamiche**



**Definizione forma**

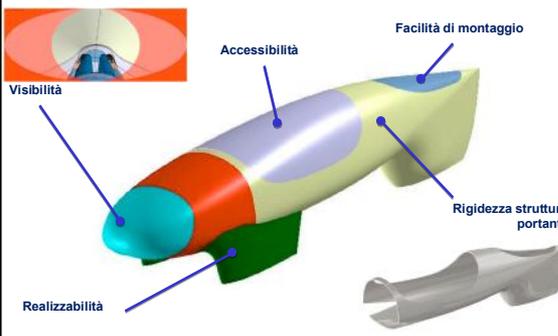




Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010




Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it



**Accessibilità**

**Facilità di montaggio**

**Visibilità**

**Rigidezza struttura portante**

**Realizzabilità**



Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010

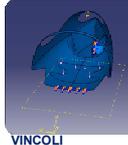



Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

**CARICHI**

- $P = Mg/S = 0,0032 \text{ MPa}$
- Carico di 700 N su roll-bar

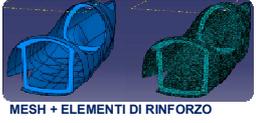
**VINCOLI**



**LAYOUT**



**MESH + ELEMENTI DI RINFORZO**

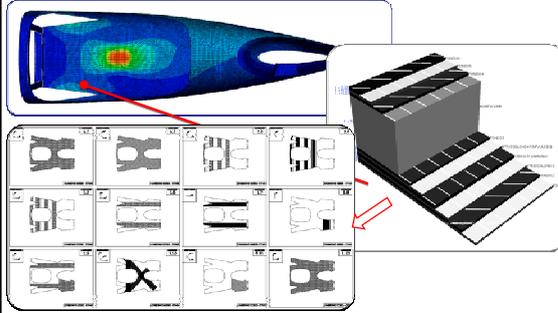




Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010




Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it





Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010




Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

POLISTIROLO ALTA DENSITÀ

Fresatura	MACCHINA CNC 5 ASSI
Resinatura	RESINA EPOSSIDICA
Strutturata	FONDO ACRILICO
Verniciatura	GEL-COAT PER STAMPI
Laminazione a freddo	TESSUTO 200, 400, 600 gr/m <sup>2</sup>



**TECNO ESPANSO**  
RESINE s.r.l.



Prototipi di auto idrogeno/elettriche  
17 aprile 2010




Politecnico di MILANO  
giuseppe.galassi@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

**PRIMA LAMINAZIONE**

**VACUUM BAG**

**CICLO ALTA PRESSIONE**

ecomobility2010  
MONTecatini Terme 16-17-18 APRILE  
17 aprile 2010

Politecnico di MILANO  
giacomo.villani@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

**SECONDA LAMINAZIONE BASSA PRESSIONE**

**FINITURA, VERNICIATURA E ASSEMBLAGGIO**

ecomobility2010  
MONTecatini Terme 16-17-18 APRILE  
17 aprile 2010

Politecnico di MILANO  
giacomo.villani@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

### ANALISI CICLO TECNOLOGICO

	Materiali	Macchinari/Attrezzature	Mano d'opera
<b>Fresatura modello</b>	Polistirolo	Macchina controllo numerico	Qualificata
<b>Preparazione modello</b>	Resina epossidica, fondo acrilico	Forno	Non qualificata
<b>Laminazione stampi</b>	Toroso carbonio, resina epossidica	Forno	Qualificata
<b>Laminazione pezzi</b>	Carbonio, prepreg	Autoclava	Non qualificata
	Fondo e vernice acrilica	Forno	Non qualificata

500 € → 5.000 € costo      5h → 30 h tempi      5h → 50 h tempi

ecomobility2010  
MONTecatini Terme 16-17-18 APRILE  
17 aprile 2010

Politecnico di MILANO  
giacomo.villani@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

FORMA	
misure dimensionali	reverse engineering
✓	in fase di realizzazione

AERODINAMICA	
prove in pista	prove in galleria
✓	in fase di realizzazione

RIGIDEZZA	
prove in laboratorio	caratterizzazione struttura sandwich
✓	in fase di realizzazione

ecomobility2010  
MONTecatini Terme 16-17-18 APRILE  
17 aprile 2010

Politecnico di MILANO  
giacomo.villani@polimi.it  
paola.villani@polimi.it

**BIBLIOGRAFIA**

M. Gobbi, J. Bolero, G. Mastinu *Global chassis control by sensing forces/moments at the wheels*  
INTERNATIONAL JOURNAL OF VEHICLE AUTONOMOUS SYSTEMS, 2009

G. Prevati, M. Gobbi, G. Mastinu *Validazione sperimentale e teorica di un metodo per la misura delle proprietà inerziali di corpi rigidi*. Convegno Nazionale AIAS 2009, Torino, 2009

M. Gobbi, P. Guarnieri, G. Mastinu, G. Rocca *Test Rig for Characterization of Automotive Suspension Systems*. SAE World Congress 2008, 14-17 April 2008, Detroit, 2008

F. Cheli, M. Gobbi, G. Mastinu, E. Sabbioni *Dynamic model of a light-duty vehicle: validation with experimental data*. Multibody Dynamics 2007 ECCOMAS Thematic Conference, 25-28 June, Milano, 2007

G. Galmarini *Sviluppo di un veicolo per la competizione Shell Eco-Marathon 2006*  
Tesi di Laurea in Ingegneria Meccanica, Relatori: G. Mastinu, M. Gobbi - Politecnico di Milano, Dicembre 2006

P. Villani *Veicoli e carburanti alternativi per la mobilità urbana*  
Venezia Mestre 4 Giugno 2004 [http://www.ecomobility.com/risorse/2004\\_06\\_04\\_mestre.htm](http://www.ecomobility.com/risorse/2004_06_04_mestre.htm)

M. Barbosa, C. Paroli, *Veicolo elettrico polifunzionale per centri urbani*  
Tesi di Laurea in Disegno Industriale, Relatore: Thomas Maldonado, co-rel. P. Villani - Politecnico di Milano, 1991